

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE.....	4
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E LIVELLO DI CONOSCENZA.....	6
4.1 Risultati delle prove di laboratorio	6
4.1.1 Calcestruzzo	6
4.1.2 Acciaio armatura lenta.....	7
4.2 Dettagli costruttivi	7
4.3 Livello di conoscenza e fattore di confidenza	7
4.4 Caratteristiche dei Materiali	8
4.4.1 Calcestruzzi	8
4.4.2 Acciai da armatura lenta.....	9
5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	11
5.1 Profondità della falda.....	11
6. ANALISI DEI CARICHI	12
6.1 Pesi propri.....	12
6.2 Permanenti non strutturali.....	12
6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario).....	13
6.4 Azione di avviamento / frenatura	16
6.5 Azione di serpeggio	16
6.6 Azione del sisma.....	16
6.7 Ritiro del calcestruzzo	19
6.8 Variazione termica.....	19
6.9 Spinta statica del terreno.....	19
6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale	20
6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche	20
7. COMBINAZIONE DEI CARICHI.....	21

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

8. VERIFICHE STRUTTURALI	23
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
9. ANALISI STRUTTURALE	26
9.1 Modellazione strutturale : Scatolare	26
9.2 Analisi dei carichi	28
9.3 Combinazioni.....	31
9.4 Sollecitazioni	34
9.5 Verifiche strutturali.....	37
9.5.1 Verifica piedritti	38
9.5.2 Verifica soletta superiore.....	41
9.5.3 Verifica soletta inferiore.....	44
10.INTERVENTI DI RINFORZO.....	47
11.DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)	48
11.1 Tipo di analisi svolte.....	48
11.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	48
11.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	48

	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2 ^A FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

1. PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi al progetto di fattibilità tecnico – economica del quadruplicamento ferroviario della tratta Capannelle – Ciampino sulla linea Roma - Cassino e del PRG di Ciampino.

Nella presente relazione è riportato il calcolo strutturale del tombino idraulico esistente IN01 al km 0+319.10. L'ubicazione della tratta in questione segue la linea rossa rappresentata in Figura 1.



Figura 1: Tracciato oggetto di quadruplicamento ferroviario – Google Maps

	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

2. DESCRIZIONE

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale dell'opera scatolare IN01 alla progressiva 0+319.10 utilizzabile per attraversamenti ferroviari, avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Geometria del tombino			
Larghezza totale	Ltot	4.60	m
Altezza totale	Htot	4.69	m
Spessore soletta superiore	ss	0.25	m
Spessore piedritti	sp	0.50	m
Spessore soletta inferiore	sf	0.50	m
Luce libera	Lint	3.60	m
Altezza libera media	Hint	3.94	m

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

Geometria del Ricoprimento			
Ballast+Armamento	Hb	0.70	m
Ricoprimento	Hsc	0.00	m
Imperm. più massetto cls sp. 5 cm	Hr	0.05	m

Si trascura a favore di sicurezza la presenza del riempimento interno.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E LIVELLO DI CONOSCENZA

Per conseguire un'adeguata conoscenza delle caratteristiche dei materiali e del loro degrado, ci si è basati sulla documentazione eventualmente già disponibile, su verifiche in situ e su indagini sperimentali.

Nella tabella che segue si riepilogano il tipo e le quantità di indagini previste per il tombino in esame.

Test:	Prove con sclerometro (N. 2 sezioni a manufatto)	Prove con pacometro (N. 2 sezioni a manufatto)	Prelievo provini, confezionamento e invio a laboratorio
Manufatto:			
IN01	N . 6 prove con risultati, su 3 sezioni	N . 6 prove con risultati, 2 per sezione, con risultati	N. 7 totali, su 3 sezioni

4.1 Risultati delle prove di laboratorio

La resistenza di calcestruzzo e acciaio di armatura lenta utilizzata nei calcoli è stata determinata sulla base delle prove di laboratorio eseguite sui campioni di materiali prelevati in situ.

Di seguito si riportano, per tipologia di materiale e di elemento, il numero totale di provini testati e il relativo valore della resistenza ottenuta dal test.

4.1.1 Calcestruzzo

Pk	Rapporto	Sezione	Campion	Tipo di prova	Risulta
0+231	17081	Piedritto lato Capannelle	C2	Rottura a compressione [MPa]	46.93
0+231	17081	Piedritto lato Ciampino	C3	Rottura a compressione [MPa]	30.02
0+231	17081	Estradosso soletta	C6	Rottura a compressione [MPa]	36.14
0+231	17591	Soletta fondazione	C7	Rottura a compressione [MPa]	17.7
0+231	17591	Soletta fondazione	C8	Rottura a compressione [MPa]	15.18

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

4.1.2 Acciaio armatura lenta

Pk	Rapporto	Sezione	Campion	Tipo di prova	Risulta
0+231	17081	Piedritto lato Capannelle	PB1	Tensione di snervamento barra [MPa]	431.3
0+231	17081	Piedritto lato Capannelle	PB2	Tensione di snervamento barra [MPa]	417.2
0+231	17081	Piedritto lato Capannelle	PB3	Tensione di snervamento barra [MPa]	477.8
0+231	17081	Piedritto lato Capannelle	PB4	Tensione di snervamento barra [MPa]	268.5
0+231	17081	Piedritto lato Ciampino	PB5	Tensione di snervamento barra [MPa]	425.3
0+231	17081	Piedritto lato Ciampino	PB6	Tensione di snervamento barra [MPa]	422.2
0+231	17081	Piedritto lato Ciampino	PB7	Tensione di snervamento barra [MPa]	432.9
0+231	17081	Piedritto lato Ciampino	PB8	Tensione di snervamento barra [MPa]	411.4
0+231	17081	Estradosso soletta	PB9	Tensione di snervamento barra [MPa]	267.8
0+231	17081	Estradosso soletta	PB10	Tensione di snervamento barra [MPa]	431.5
0+231	17081	Estradosso soletta	PB11	Tensione di snervamento barra [MPa]	274.9
0+231	17081	Estradosso soletta	PB12	Tensione di snervamento barra [MPa]	492.6
0+231	17591	Soletta fondazione	PB13	Tensione di snervamento barra [MPa]	402.2
0+231	17591	Soletta fondazione	PB14	Tensione di snervamento barra [MPa]	404.5

Nel capitolo “Materiali e azioni agenti”, sulla base delle resistenze dei provini analizzati in laboratorio saranno determinate le resistenze di progetto.

4.2 Dettagli costruttivi

Nella tabella successiva si riepilogano i risultati dei rilievi.

Sezione	Spessore	Armatura longitudinale/verticale			Staffa/orizzontale		
		Diametro	Copriferro	Spaziatura	Diametro	Copriferro	Spaziatura
Piedritto lato Capannelle	500	16	48	250	12	37	200
Piedritto lato Ciampino	500	16	48	250	12	37	200
Sezione	Spessore	Armatura longitudinale			Armatura trasversale		
		Diametro	Copriferro	Spaziatura	Diametro	Copriferro	Spaziatura
Soletta superiore	250	12	40	250	16	50	250
Soletta inferiore	-	-	-	-	-	-	-

4.3 Livello di conoscenza e fattore di confidenza

Le informazioni progettuali disponibili, integrate dalle indagini svolte hanno permesso di raggiungere un **livello di conoscenza LC2**, secondo la definizione contenuta nelle NTC 2018 (LC2, §8.5.4).

Il fattore di confidenza “**FC**” corrispondente a tale livello di conoscenza è, pertanto, pari a **1.20**.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

Il Fattore di confidenza FC viene utilizzato nelle verifiche di sicurezza modificando le resistenze dei materiali secondo i criteri indicati al §C8.5.4.2 della *Circolare*.

4.4 Caratteristiche dei Materiali

I valori delle resistenze dei materiali da utilizzare nelle verifiche delle strutture esistenti sono determinati con l'espressione di seguito riportata.

$$f_d = \frac{f_m}{FC \cdot \gamma_M}$$

dove:

- f_m : è la resistenza media valutata in base ai risultati sperimentali ottenuti da prove su un numero di campioni n ;
- FC : è il fattore di confidenza;
- γ_M : coefficiente di sicurezza del materiale;

4.4.1 Calcestruzzi

Resistenza a compressione di calcolo

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC \cdot \gamma_c}$$

con $\gamma_c = 1,5$

Dati i valori di resistenza sopra riportati si è ottenuto $f_{cd}=16.2 \text{ MPa}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

4.4.2 Acciai da armatura lenta

Resistenza a compressione di calcolo

$$f_{yd} = \frac{f_{ym}}{FC \cdot \gamma_s}$$

con $\gamma_s = 1,15$

Dati i valori di snervamento prima riportati si è ottenuto $f_{yd}=287.8 \text{ Mpa}$.

Calcestruzzo				
Resistenza a compressione cubica media	R_{ck}		29.00	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	$=0.83 R_{ck}$	24.07	MPa
Resistenza cilindrica da usare a flessione	f_{ck}	$=f_{ck}/FC$	20.06	MPa
Fattore di confidenza	FC		1.20	
Resistenza cilindrica media (da usare a flessione)	f_{ck}	$=f_{ck} + 8$	28.06	MPa
Resistenza media a trazione	f_{ctm}	$=0.3 f_{ck}^{2/3}$	2.21	MPa
Resistenza caratteristica a trazione (fratt. 5%)	f_{ctk}	$=0.7 f_{ctm}$	1.55	[MPa]
Resistenza caratteristica a trazione (fratt. 95%)	f_{ctk}	$=1.3 f_{ctm}$	2.88	[MPa]
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctm}	$=1.2 * f_{ctm}$	2.66	MPa
Coefficiente di sicurezza parziale del calcestruzzo	γ_c		1.5	[-]
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	a_{cc}		1	[-]
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	$=a_{cc} f_{ck} / \gamma_c$	13.37	[MPa]
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	$=f_{ctk} / \gamma_c$	1.03	[MPa]
Tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata (rara)	σ_{cti}	$= f_{ctm} / 1.2$	1.85	MPa
Modulo elastico	E_{cm}	$=22000(f_{cm}/10)^{0.3}$	29980.66	MPa
Acciaio				
Tensioni di snervamento (flessione)	f_{yk}		443.5	Mpa
Modulo elastico	E_s		210000	Mpa
Fattore di Confidenza	FC		1.20	
Coefficiente di sicurezza parziale dell'acciaio	γ_s		1.15	
Tensione di snervamento utilizzata	f_{yk}/FC		321.38	Mpa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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 Co	Cmin \leq C $<$ Co	C \geq Co	Cmin \leq C $<$ Co	C \geq Co	Cmin \leq C $<$ Co	C \geq Co	Cmin \leq C $<$ Co
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 riportato nel prospetto seguente:

Classe di esposizione: XA1

Copriferro di progetto: 50 mm

Condizioni ambientali: Aggressive

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

- $\delta_f \leq w_1$ per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 17.01.2018.

Con δ_f apertura delle fessure e w_1 valore limite dell'apertura delle fessure.

$w_1 = 0.2$ mm

$w_2 = 0.3$ mm

$w_3 = 0.4$ mm

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Si prende a riferimento la relazione geotecnica generale.

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

Terreno di fondazione

DA PK 0 A PK 2+000							
AREA GEOTECNICA	PROFONDITÀ	UNITÀ GEOTECNICA	γ_t [kN/m ³]	c' (kPa)	Φ' (°)	Φ'_{cv} (°)	E'op (kPa)
			di calcolo	di calcolo	di calcolo	di calcolo	di calcolo
1	da 0 m a 15 m	S(L) ₁	17.5	-	35	29	50 000
	da 15 m a 22 m	R _A	13.5	135	43	-	980 000
	oltre 22 m	S(L) ₂	17.5	-	37	30	100 000

Rilevati ferroviari

STRATO	Spess.	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio			Coesione efficace/Coesione non drenata			Modulo di Young operativo	Permeab.
	[m]	γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M1	ϕ'_d M2	(1)c' _k (2)Cu _k	(1)c' _k (2)Cu _k M1	(1)c' _k (2)Cu _k M2	E _{op.}	k.
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
SUB-BALLAST	0.12	20								
SUPER-COMPATTATO	0.30	20	42	42	35.8	0	0	0	60	1x10 ⁻⁹
INERBIMENTO	0.30	19	26	26	21.3	(1)0	(1)0	(1)8	8	1x10 ⁻⁵
RILEVATO	<u>Variab.</u>	20	38	38	32	(1)0	(1)0	(1)0	30	1x10 ⁻⁵
STRATO BONIFICA SCOTICO	DI E <u>Variab.</u>	19	38	38	32	(1)0	(1)0	(1)0	15	1x10 ⁻⁵

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 al di sotto del piano di fondazione dell'opera.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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 kN/m ³
Rilevato:	γ_{ril}	= 20.00 kN/m ³
Ballast + armamento:	$\gamma_{ballast}$	= 18.00 kN/m ³

6.2 Permanenti non strutturali

Il peso dei carichi permanenti in copertura è stato calcolato considerando i differenti spessori di ballast e supercompattato, ciascuno per il suo peso dell'unità di volume:

$$q_{pp} = h_b \gamma_b + h_{sc} \gamma_{sc}$$

dove:

- h_b = spessore del ballast;
- γ_b = peso specifico del ballast;
- H_{sc} = spessore del super compattato;
- γ_b = peso specifico del super compattato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario)

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il peggiore tra il carico verticale dovuto al treno SW/2 pari a 150 kN/m x 1 e il carico verticale dovuto al treno LM71 pari a 250 kN / 1.6 m x 1.1 = 172.0 kN/m uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta di copertura.

Per ponti di categoria A si hanno i seguenti valori del coefficiente di adattamento.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83

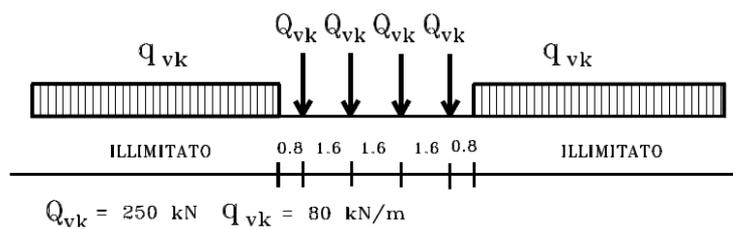
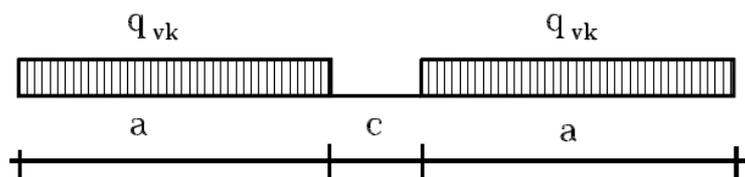


Figura 6.1 – Treno di carico LM71



Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 6.2– Treno di carico SW

	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

Coefficiente di amplificazione dinamica Φ :

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall'applicazione statica dei treni di carico debbono essere incrementati per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Per linee a ridotto standard manutentivo Φ sarà:

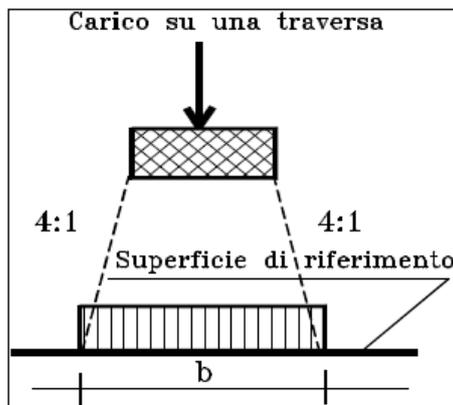
$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Dove:

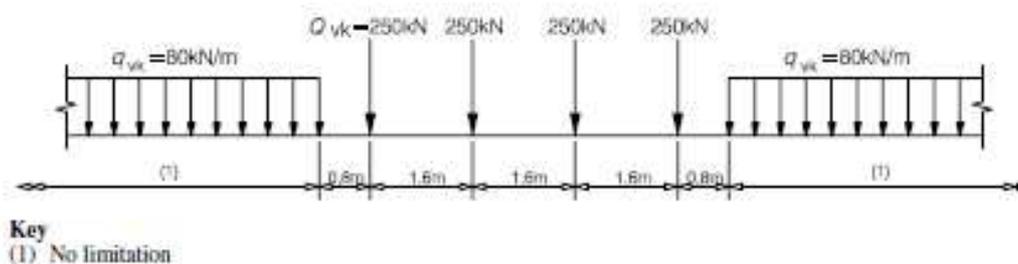
L_Φ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri.

Determinazione delle larghezze di diffusione dei carichi mobili:

La diffusione dei carichi attraverso ballast avviene con pendenza 4:1, attraverso il ricoprimento con angolo di attrito mentre, nella soletta in cls con pendenza 1:1.



Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

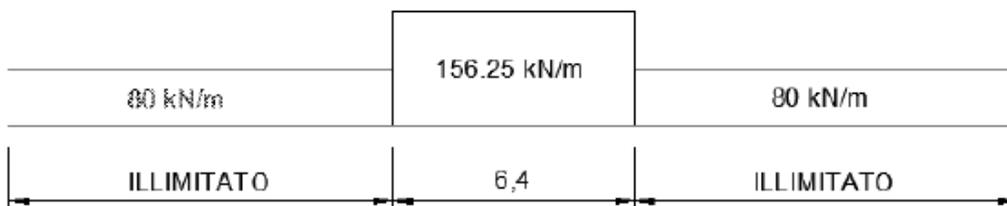


Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

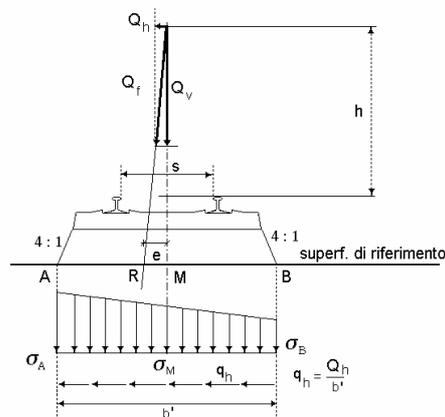
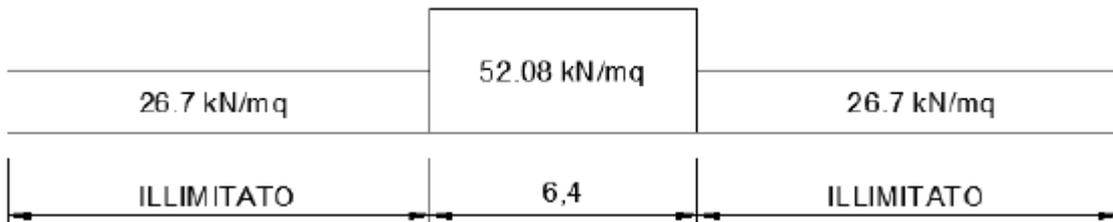
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2 ^a FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

6.4 Azione di avviamento / frenatura

Per ogni treno di carico si associano le azioni di avviamento e frenatura agenti sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze si considerano uniformemente distribuite sulla lunghezza di binario.

I valori caratteristici considerati sono i seguenti:

- Avviamento $Q_{1a,k} = 33 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]}$ per LM71 ed SW2

6.5 Azione di serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a $Q_{sk}=100 \text{ kN}$. Tale valore deve essere moltiplicato per a , (se $a>1$), ma non per il coefficiente F . Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Tale azione viene trascurata in quanto con un modello piano non si possono considerare gli effetti trasversali.

6.6 Azione del sisma

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono utilizzati, a vantaggio di sicurezza, i seguenti valori: $V_N=75$ 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 112.5 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 $V_N = 75$ 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.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^A FASE LATO ROMA					
	QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A	FOGLIO 17 di 49

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
13.6057

LATITUDINE
37.748

Ricerca per comune

REGIONE
Sicilia

PROVINCIA
Palermo

COMUNE
Lercara Friddi

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

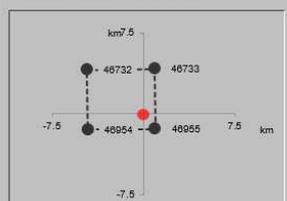
Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

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, la "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 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 style="width: 50px;" type="text" value="68"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input style="width: 50px;" type="text" value="113"/>

Stati limite ultimi - SLU {

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input style="width: 50px;" type="text" value="1068"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input style="width: 50px;" type="text" value="2193"/>

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

--□-- Strategia per costruzioni ordinarie

- - - - - Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: **SLV** info

Risposta sismica locale
 Categoria di sottosuolo: **B** info $S_S = 1.200$ $C_C = 1.345$ 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 ξ (%) **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_0 **1** Regol. in altezza **no** info

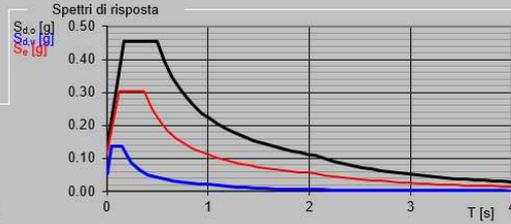
Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q **1** $\eta = 1.000$ info

Elaborazioni

S_{d0} [g]

S_{dV} [g]

S_e [g]



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%.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo **SLV**

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
a_s	0.114 g
F_s	2.652
T_c	0.364 s
S_S	1.200
C_C	1.345
S_T	1.000
q	0.800

Parametri dipendenti	
S	1.200
η	1.250
T_p	0.164 s
T_c	0.492 s
T_0	2.056 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_s \cdot S_T$ (NTC-09 Eq. 3.2.5)
 $\eta = \sqrt{10 \cdot (S + 5)} \geq 0.55; \eta = 1/q$ (NTC-09 Eq. 3.2.6, § 3.2.3.5)
 $T_0 = T_c / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.4)
 $T_c = C_c \cdot T_c^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)
 $T_0 = 4 \cdot 0 \cdot a_s / g + 1.6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-09 Eq. 3.2.4)

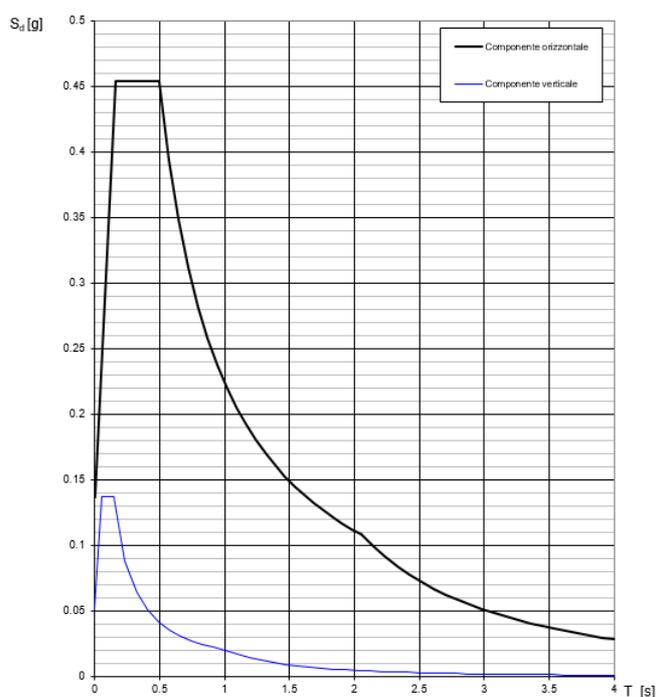
$0 \leq T < T_0$ $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s \left[\frac{T}{T_0} + 1 \left(1 - \frac{T}{T_0} \right) \right]$
 $T_0 \leq T < T_c$ $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s$
 $T_c \leq T < T_p$ $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s \left(\frac{T_c}{T} \right)$
 $T_p \leq T$ $S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot E_s \left(\frac{T_c T_0}{T} \right)$

Lezopetra di progetto $S_d(T)$ per lo verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuta dalle espressioni dello spettro sismico $S_d(T)$ moltiplicando con U_0 , dove U_0 è il fattore di struttura. (NTC-09 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_e [g]
0.000	0.157
0.164	0.453
0.492	0.453
0.567	0.394
0.441	0.348
0.716	0.312
0.790	0.283
0.865	0.258
0.939	0.233
1.013	0.220
1.088	0.205
1.162	0.192
1.237	0.180
1.311	0.170
1.386	0.161
1.460	0.153
1.535	0.145
1.609	0.139
1.684	0.132
1.758	0.127
1.833	0.122
1.907	0.117
1.982	0.112
2.056	0.109
2.149	0.099
2.241	0.091
2.334	0.084
2.426	0.078
2.519	0.072
2.611	0.067
2.704	0.063
2.797	0.059
2.889	0.055
2.982	0.052
3.074	0.049
3.167	0.046
3.259	0.043
3.352	0.041
3.445	0.039
3.537	0.037
3.630	0.035
3.722	0.033
3.815	0.032
3.907	0.030
4.000	0.029

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



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	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° , 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 a 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.

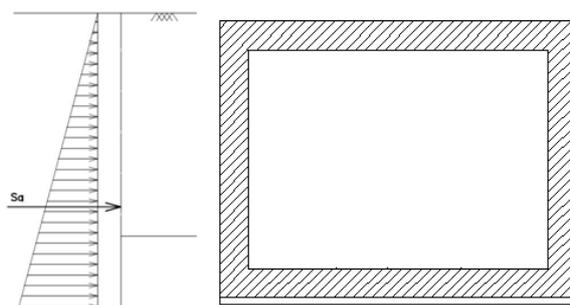


Figura 6.3 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

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

	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale

Per considerare la presenza di un sovraccarico da traffico gravante a tergo, si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a $S=k_0 \cdot q \cdot H$, con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

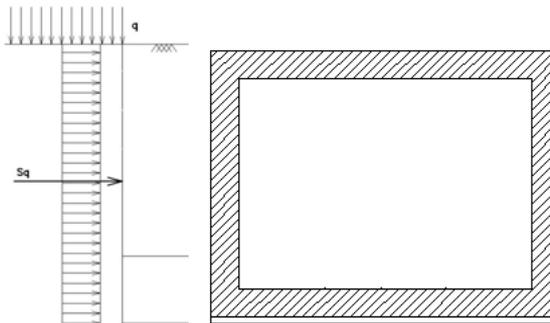


Figura 6.4– Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

6.11 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 $H/2$.

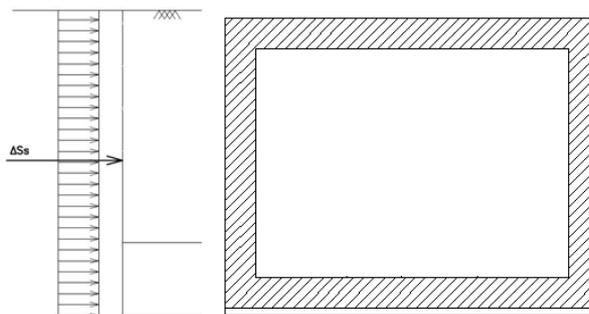


Figura 6.5– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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 (Φ, α , 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 ψ delle tabelle seguenti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{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 ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_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 ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

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

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_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 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	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 ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione ψ delle azioni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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":

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

Nelle espressioni precedenti i simboli hanno i seguenti significati:

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

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

A_{st} 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;

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

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$ 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;

α 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.

	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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:

$$\sigma_c < 0.55f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.40f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.75f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

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

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2 ^a FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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.

Il calcolo della struttura è stato effettuato considerando una striscia di calcolo pari ad 1m disposta ortogonalmente all'asse longitudinale dello scatolare. In caso di obliquità \emptyset dello scatolare rispetto alla linea ferroviaria il calcolo è stato eseguito analizzando sempre una striscia di larghezza unitaria, assumendo però come luce di calcolo quella misurata in parallelo alla linea ferroviaria tra gli assi dei piedritti valutati lungo lo "spessore corrente" (spessore corrente=spessore piedritto/cos \emptyset). In tal caso le stesse verifiche di resistenza sono state condotte con riferimento allo spessore corrente.

Convenzione assi

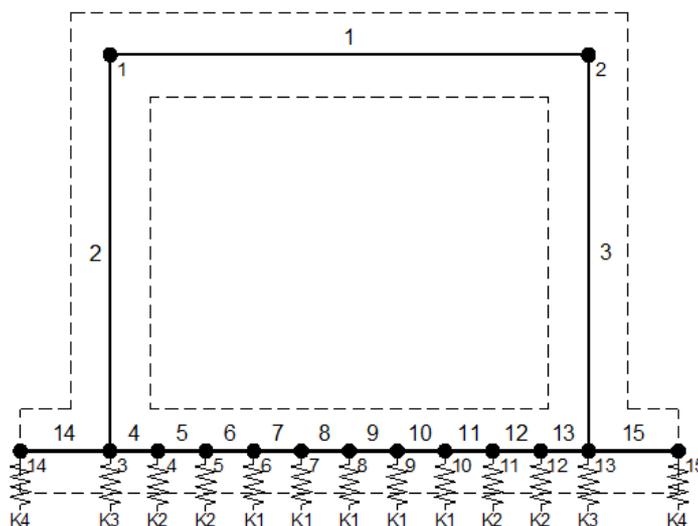
x = asse trasversale dello scatolare

y = asse longitudinale dello scatolare

z = asse verticale dello scatolare

9.1 Modellazione strutturale : Scatolare

Il modello di calcolo attraverso il quale viene discretizzata la struttura è quello di telaio chiuso. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione vengono inserite molle alla Winkler.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

La soletta inferiore viene divisa in elementi per poter schematizzare, tramite molle applicate, l'interazione terreno- struttura.

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

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 Kw pari a 2500 kN/m³. Tale valore viene valutato tramite la teoria di Bowles, note le dimensioni della fondazione dell'opera e il modulo elastico del terreno di fondazione:

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

Dove:

E	modulo elastico del terreno
v	coefficiente di Poisson
B	larghezza della fondazione
L	lato maggiore della fondazione
Ct	fattore di forma (Bowles, 1960)
Kw	coefficiente di sottofondo alla Winkler

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle:

Interasse molle	i	(0.50/2 + 3.60 + 0.50/2) / 10 =	0.41 m
Molle centrali	K1	8605 · 0.41 =	3 528 kN/m
Molle intermedie	K2	1.5 · 8605 · 0.41 =	5 292 kN/m
Molle laterali	K3	2.0 · 8605 · (0.41/2 + 0.50/2) =	7 831 kN/m
Molle rivolto	K4	-	0 kN/m

La rigidezza delle molle in corrispondenza dei piedritti è stata aumentata, seguendo le indicazioni riportate nella letteratura tecnica, al fine di tenere in conto l'irrigidimento apportato dai piedritti al solettone di fondo.

9.2 Analisi dei carichi

Geometria

Caratteristiche materiali e terreno

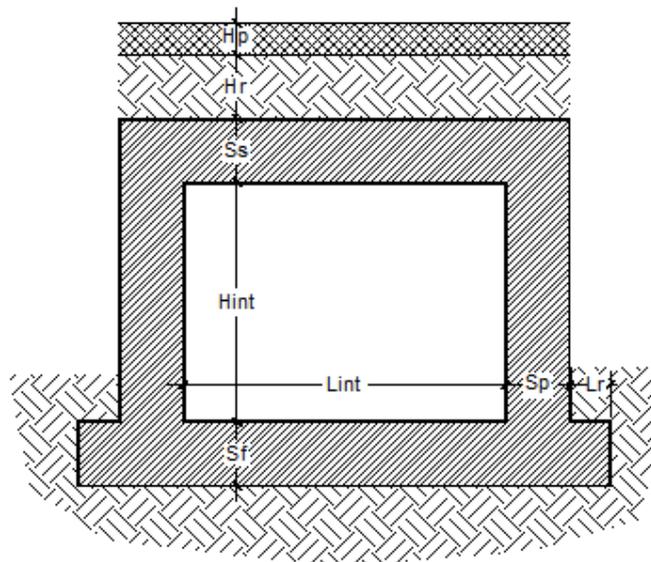
Calcestruzzo armato - Peso specifico	Y		25	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo			C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R _{ck}		37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f _{ck}	0.83 · 37 =	30.7	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E		33000	N/mm ²
Ballast - Peso specifico	Y _b		18	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	Y		20	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ		38	°
Terreno di riempimento laterale - Peso specifico	Y		20	kN/m ³
Terreno di riempimento laterale - Angolo di attrito	φ		38	°
Terreno di fondazione	K _w		8605	kN/m ³
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione				aggressive

Ricoprimento

Spessore ballast+armamento	H _b		0.70	m
Spessore medio traversina+binario	H _t		0.40	m
Spessore ballast sotto la traversina			0.30	m
Spessore del rinterro	H _r		0.00	m

Geometria

Spessore soletta superiore	S _s		0.25	m
Spessore soletta di fondazione	S _f		0.50	m
Spessore piedritti	S _p		0.50	m
Altezza netta	H _{int}		3.94	m
Larghezza netta	L _{int}		3.60	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L _r		0.00	m



Tab. 4: Geometria del modello

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

Azioni elementari applicate

Carichi permanenti (Condizione *PERM*)

Soletta superiore			
Peso ballast	Ps	$0.70 \cdot 18 =$	12.60 kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	$0.00 \cdot 20 =$	0.00 kN/m ²
Totale		$(Pr+Ps)*r$	14.14 kN/m²
Risvolti soletta inferiore			
Peso ballast	Ps	-	0.00 kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	-	0.00 kN/m ²
Totale			0.00 kN/m²

Carichi accidentali sulla copertura LM71 (Condizioni *ACC-M71* e *ACC-T71*)

Coefficiente dinamico			
Lunghezza caratteristica per coeff. din.	L_0	$= 1.3 \cdot 1/3 \cdot (4.07 + 4.10 + 4.07)$	5.30 m
Coefficiente dinamico	Φ_3	$= 1.35$ se $L_{int} \leq 8$ m e $H_{int} \leq 5$ m	1.35
Qvk			
Coefficiente di adattamento	α		1.10
Larghezza traversa	Lt		2.40 m
Impronta di carico y	Ld1	$2.40 + 2 \times (0.30/4 + 0.00 \times \tan(38^\circ) + 0.25/2) =$	3.00 m
Impronta di carico x	Ld2	$0.8 + 1.6 + 1.6 + 1.6 + 0.8 =$	6.40 m
Carico Qvk (totale)			80 kN
Carico Qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.35 \cdot 80 / (3.00 \cdot 6.40) =$	6.19 kN/m²
qvk			
Carico qvk			80 kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.35 \cdot 80 / 3.00 =$	39.60 kN/m²

Carichi accidentali sulla copertura SW/2 (Condizioni *ACC-MSW* e *ACC-TSW*)

Coefficiente di adattamento	α		1.00
Carico qvk			150 kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.35 \cdot 150 / 3.00 =$	67.50 kN/m²

Per il calcolo della lunghezza caratteristica si fa riferimento a:

Caso 5.3 pag. 41 di 481 Manuale Parte II - Sezione II - Ponti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2 ^A FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

Avviamento e frenatura (Condizione AVV)

$$Q_{1ak} (= \alpha \cdot 33 / Ld1) \quad \alpha \cdot 33 / 3.00 = \quad \mathbf{12.10 \text{ kN/m}^2}$$

Azione termica (Condizione TERM)

Variazione termica uniforme	ΔT_U		15 °
Variazione termica a farfalla	ΔT_F		5 °
Variazione termica uniforme di calcolo	ΔT_{U*}	15 / 2 =	7.50 °
Variazione termica a farfalla di calcolo	ΔT_{F*}	5 / 2 =	2.50 °

Ritiro (Condizione RITIRO)

$$\text{Ritiro applicato alla sol. Superiore} \quad \Delta T_R \quad \mathbf{0 \text{ °}}$$

Spinta del terreno (Condizioni SPTSX e SPTDX)

K01	1 - sen (38°) =	0.384
K02	1 - sen (38°) =	0.384
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1 0.384 · 14.00 =	4.84 kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	p2 0.384 · (14.00 + 20 · 0.25/2) =	6.34 kN/m²
Spinta in asse sol. inf.	p3 0.384 · [14.00 + 20 · (0.25+3.94+0.50)/2] =	39.51 kN/m²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4 0.384 · [14.00 + 20 · (0.25+3.94+0.50)] =	41.43 kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	F1 (4.84+6.34)/2 · 0.25/2	0.70 kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2 (39.51+41.43)/2 · 0.50/2	10.12 kN/m

Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)

$$\text{Spinta dovuta al q1} \quad p \quad 0.384 \cdot 1.1 \cdot 80 / (3.00 \cdot 6.40) = \quad \mathbf{1.76 \text{ kN/m}^2}$$

Spinta del carico accidentale SW/2 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)

$$\text{Spinta dovuta al q1} \quad p \quad 0.384 \cdot 1 \cdot 150 / (3.00 \cdot 6.40) = \quad \mathbf{3.00 \text{ kN/m}^2}$$

Sisma orizzontale (Condizione SISMAH)

Stato limite	Salvaguardia della vita - SLU -	SLV
Vita nominale	V_N	75 anni
Classe d'uso		III
Coefficiente C_U	C_U	1.5
Periodo di riferimento	V_R	112.5 anni
Accelerazione orizzontale	a_g/g	0.207
Amplificazione spettrale	F_o	2.538
Categoria sottosuolo	A, B, C, D, E	B
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S_s	1.190
Coeff. Amplificazione topografica	S_t	1
Coefficiente S	$S = S_s \cdot S_t$	1.190
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g = a_g/g \cdot S$	0.246
Fattore di struttura	q	1.00
Coeff. sismico orizzontale	$k_h = a_{max}/g$	0.246
Coeff. sismico verticale	$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$	0.123

$$\text{Carico accidentale totale gravante sulla cop.} \quad 1.1 \cdot 1000 / (3.00 \cdot 6.40) \cdot 4.60 + 1.1 \cdot 80 / 3.00 \cdot 4.60 = \quad \mathbf{21.1 \text{ kN/m}}$$

$$\text{Forza orizz. sulla sol. di cop.} \quad F_{Hs} \quad 0.246 \cdot (0.25 \cdot 25 + 14.14 + 0.2 \cdot 21.1 / 4.10) / 1.00 = \quad \mathbf{5.27 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Forza orizz. sui piedritti} \quad F_{Hp} \quad 0.246 \cdot (0.50 \cdot 25) / 1.00 = \quad \mathbf{3.08 \text{ kN/m}^2}$$

Sisma verticale (Condizione SISMAV)

$$\text{Forza vert. sulla sol. di cop.} \quad F_{Vs} \quad 0.123 \cdot (0.25 \cdot 25 + 14.14 + 0.2 \cdot 21.1 / 4.10) / 1.00 = \quad \mathbf{2.64 \text{ kN/m}^2}$$

Spinta del terreno in fase sismica (Condizione SPSPDX)

$$\text{Risultante della spinta sismica} \quad \Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.246 \cdot 20 \cdot 5.39^2 \quad \mathbf{143.1 \text{ kN/m}}$$

$$\text{Pressione risultante} \quad \Delta p_E = \Delta S_E / H = 143.1 / 4.32 \quad \mathbf{33.17 \text{ kN/m}^2}$$

9.3 Combinazioni

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPQSX71	SPQDX71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPQSXSX	SPQDXSX
01	01S1-11M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
02	02S1-11T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
03	03S1-12M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
04	04S1-12T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
05	05S1-13M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
06	06S1-13T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
07	07S1-14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
08	08S1-15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
09	09S1-16S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	1.45	0	0
10	10S1-17S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45	1.45
11	11S1-18S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	1.45	0	1.45
12	12S1-19S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0	1.45	1.45
13	13S1-20S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0	0	1.45
14	14S1-21M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
15	15S1-21T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
16	16S1-22M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
17	17S1-22T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
18	18S1-23M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
19	19S1-23T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
20	20S1-24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
21	21S1-25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
22	22S1-26S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0
23	23S1-27S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
24	24S1-28S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
25	25S1-29S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
26	26S1-30S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45
27	27S1T11M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
28	28S1T11T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
29	29S1T12M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
30	30S1T12T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
31	31S1T13M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
32	32S1T13T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
33	33S1T14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
34	34S1T15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0.00	0.00	0.00
35	35S1T16S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	0
36	36S1T17S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16
37	37S1T18S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16
38	38S1T19S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16
39	39S1T20S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16
40	40S1T21M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
41	41S1T21T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
42	42S1T22M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
43	43S1T22T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
44	44S1T23M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
45	45S1T23T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
46	46S1T24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
47	47S1T25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0.00	0.00	0.00
48	48S1T26S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	0
49	49S1T27S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
50	50S1T28S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
51	51S1T29S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
52	52S1T30S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16
53	53S3-11M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
54	54S3-11T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
55	55S3-12M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
56	56S3-12T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
57	57S3-13M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
58	58S3-13T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0
59	59S3-14S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	0
60	60S3-15S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	1.45
61	61S3-16S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	1.45
62	62S3-21M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
63	63S3-21T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
64	64S3-22M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
65	65S3-22T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
66	66S3-23M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0
67	67S3-23T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPOQSX71	SPQDX71	TERM	RIIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPOQSXSW	SPQDXSW	
68	68S3-24S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	0
69	69S3-25S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.16	1.16
70	70S3-26S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	1.16
71	71SSS1--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	0.3	1	0	0	0
72	72SSS2--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	-0.3	1	0	0	0
73	73SSS3--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	1	0.3	0	0	0
74	74SSS4--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	-1	0.3	0	0	0
75	75SSS5--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	0.3	1	0	0	0
76	76SSS6--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	-0.3	1	0	0	0
77	77SSS7--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	0
78	78SSS8--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	0
79	79SSS9S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	0.3	1	0.2	0	0.2
80	80SSS10S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
81	81SSS11S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
82	82SSS12S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
83	83SSS13S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
84	84SSS14S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
85	85SSS15S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
86	86SSS16S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
87	87R3-11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
88	88R3-11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
89	89R3-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
90	90R3-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
91	91R3-13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
92	92R3-13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
93	93R3-14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0
94	94R3-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
95	95R3-16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0.8
96	96R3-21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
97	97R3-21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
98	98R3-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
99	99R3-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
100	100R3-23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
101	101R3-23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
102	102R3-24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0
103	103R3-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
104	104R3-26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8
105	105RIT11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
106	106RIT11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
107	107RIT12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
108	108RIT12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
109	109RIT13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
110	110RIT13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
111	111RIT14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0
112	112RIT15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
113	113RIT16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0.8
114	114RIT21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
115	115RIT21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
116	116RIT22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
117	117RIT22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
118	118RIT23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
119	119RIT23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
120	120RIT24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
121	121RIT25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
122	122RIT26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8

dove:

- PERM** : carichi permanenti
- PERM-G2** : carichi permanenti non strutturali
- ACC-M71** : carichi da traffico concentrato LM71 (disposizione per massimizzare il momento)
- ACC-T71** : carichi da traffico concentrato LM71(disposizione per massimizzare il taglio)
- ACC-SW** : carichi da traffico concentrato SW/2
- AVV** : avviamento
- SPTSx** : spinta del terreno sulla parete sx

	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA					
	QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A	FOGLIO 33 di 49

- SPTD_x** : spinta del terreno sulla parete dx
SPQS_{x71} : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete sx
SPQD_{x71} : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete dx
TERM : termica
RITIRO : ritiro
SISMAH : azione sismica
SISDX : incremento sismico della spinta del terreno
SPQS_{xSW} : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete sx
SPQD_{xSW} : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete dx

	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

9.4 Sollecitazioni

Nella successiva figura vengono rappresentate le sezioni dimensionate e verificate dello scatolare.

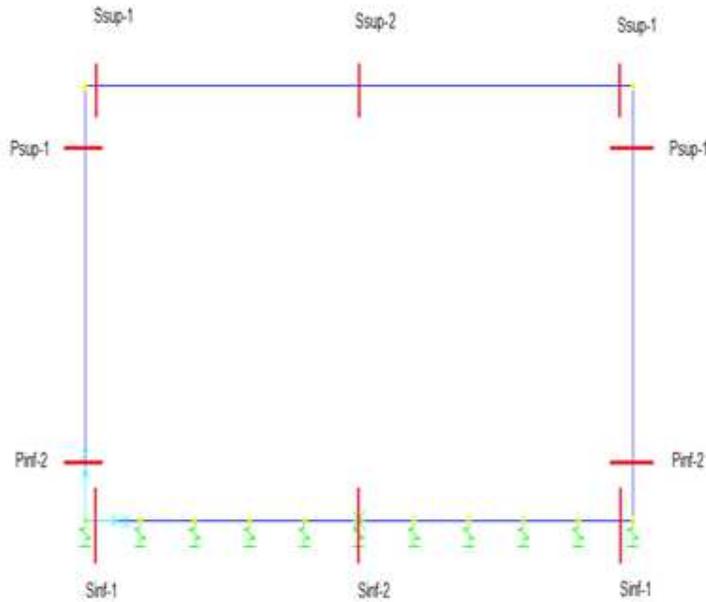


Figura 9.1 - Sezioni di verifica

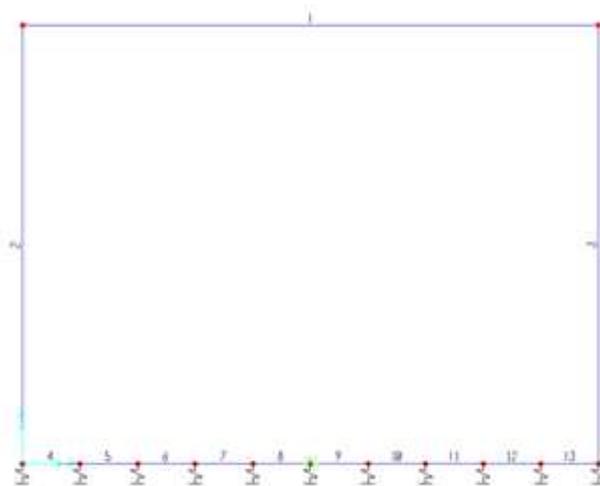


Figura 9.2 - Nomenclatura frame

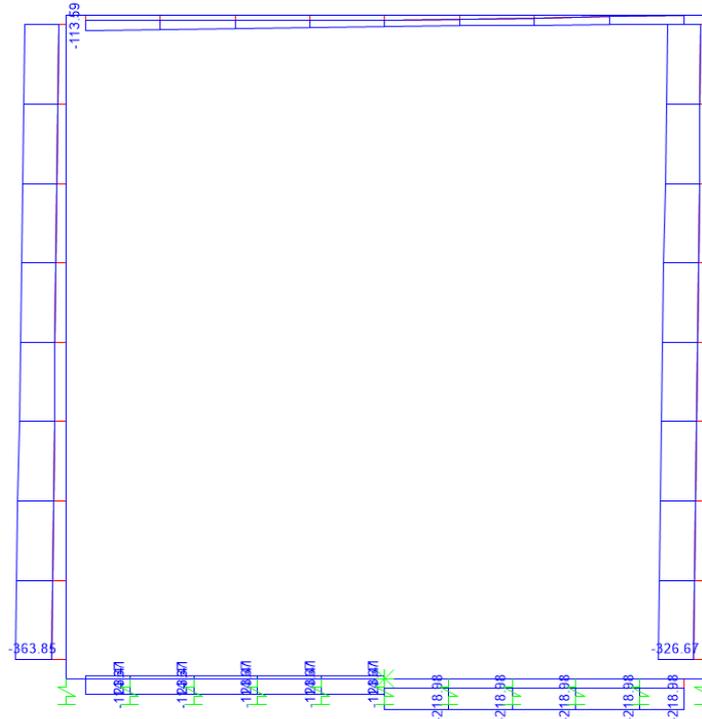


Figura 9.3 - Sforzo Normale – Inviluppo SLU

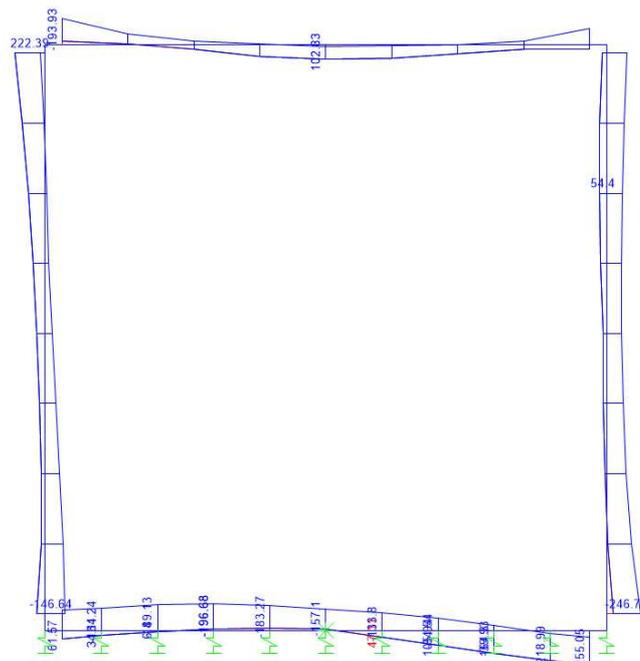


Figura 9.4 - Momento flettente – Inviluppo SLU

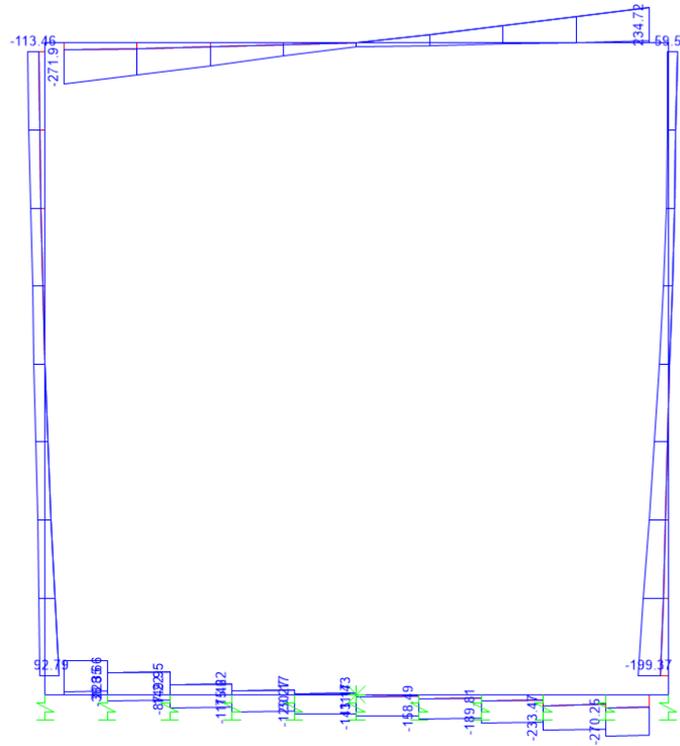


Figura 9.5 - Taglio – Involuppo SLU

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

9.5 Verifiche strutturali

Si riepilogano, per comodità, le armature rilevate.

Sezione	Spessore	Armatura longitudinale/verticale			Staffa/orizzontale		
		Diametro	Copriferro	Spaziatura	Diametro	Copriferro	Spaziatura
Piedritto lato Capannelle	500	16	48	250	12	37	200
Piedritto lato Ciampino	500	16	48	250	12	37	200
Sezione	Spessore	Armatura longitudinale			Armatura trasversale		
		Diametro	Copriferro	Spaziatura	Diametro	Copriferro	Spaziatura
Soletta superiore	250	12	40	250	16	50	250
Soletta inferiore	-	-	-	-	-	-	-

9.5.1 Verifica piedritti

- Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicc)

Acciaio	
Tipo	ESISTENTE
Tensione car. di snervamento	$f_{ym} = 397.2$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 288$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00137$

Calcestruzzo	
Tipo	ESISTENTE
R_{cm}	29.2 N/mm ²
f_{cm}	24.24 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{ctd}	13.5 N/mm ²
f_{cc}	13.5 N/mm ²

copriferro	37	mm
staffe	0	mm
armat. sec	12	mm
FC	1.2	

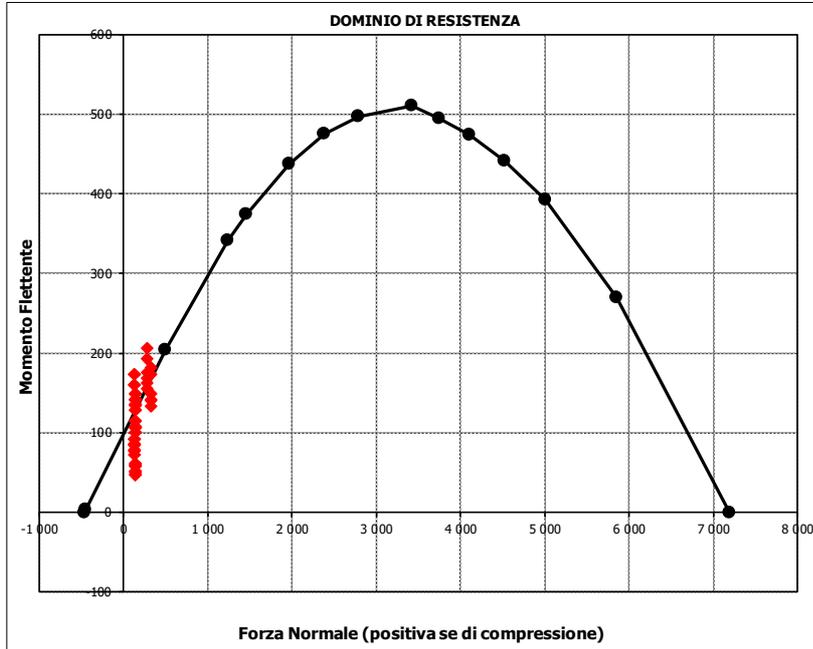
Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione h	50 cm
Base della sezione b	100 cm
Copri ferro d'	5.7 cm
Altezza utile della sezione d	44.3 cm

Armatura tesa		
N° ferri	Diametro	Area
4	16	8.04 cm ²
		0.00 cm ²
		0.00 cm ²
8.04 cm²		

Armatura compressa		
N° ferri	Diametro	Area
4	16	8.04 cm ²
		0.00 cm ²
		0.00 cm ²
8.04 cm²		

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	Fr_3St_09s	327 133
(Nmin)	Fr_3St_72s	70 236
(Mmax)	Fr_3St_83s	98 247
(Mmin)	Fr_3St_33s	137 48

Caratteristiche di sollecitazione				
Comb.	Nsd	Msd		
01S1-11M	144	100	53S3-11M	134 153
02S1-11T	144	100	54S3-11T	134 153
03S1-12M	144	107	55S3-12M	134 160
04S1-12T	144	107	56S3-12T	134 160
05S1-13M	140	134	57S3-13M	130 187
06S1-13T	140	134	58S3-13T	130 187
07S1-14-	137	51	59S3-14S	316 186
08S1-15-	133	77	60S3-15S	316 195
09S1-16S	327	133	61S3-16S	311 227
10S1-17S	327	141	62S3-21M	134 161
11S1-18S	322	174	63S3-21T	134 161
12S1-19S	137	52	64S3-22M	134 168
13S1-20S	132	84	65S3-22T	134 168
14S1-21M	144	108	66S3-23M	130 193
15S1-21T	144	108	67S3-23T	130 193
16S1-22M	144	115	68S3-24S	316 194
17S1-22T	144	115	69S3-25S	316 202
18S1-23M	140	142	70S3-26S	311 232
19S1-23T	140	142	71SSS1--	73 237
20S1-24-	137	58	72SSS2--	70 236
21S1-25-	133	85	73SSS3--	95 113
22S1-26S	327	141	74SSS4--	84 111
23S1-27S	322	149	75SSS5--	73 241
24S1-28S	322	182	76SSS6--	70 241
25S1-29S	137	60	77SSS7--	95 118
26S1-30S	132	92	78SSS8--	84 116
27S1T11M	134	129	79SSS9S	98 242
28S1T11T	134	129	80SSS10S	95 242
29S1T12M	134	136	81SSS11S	120 119
30S1T12T	134	136	82SSS12S	109 117
31S1T13M	131	161	83SSS13S	98 247
32S1T13T	131	161	84SSS14S	95 246
33S1T14-	137	48	85SSS15S	120 123
34S1T15-	133	73	86SSS16S	109 121
35S1T16S	280	155		
36S1T17S	280	163		
37S1T18S	276	193		
38S1T19S	137	49		
39S1T20S	132	78		
40S1T21M	134	142		
41S1T21T	134	142		
42S1T22M	134	149		
43S1T22T	134	149		
44S1T23M	131	174		
45S1T23T	131	174		
46S1T24-	137	61		
47S1T25-	133	86		
48S1T26S	280	168		
49S1T27S	280	176		
50S1T28S	276	206		
51S1T29S	137	62		
52S1T30S	132	92		



• Verifica a pressoflessione sommità (Pied-Sommità)

Acciaio	
Tipo	ESISTENTE
Tensione car. di snervamento	$f_{ym} = 397.2$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 288$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00137$

Calcestruzzo	
Tipo	ESISTENTE
R_{cm}	29.2 N/mm ²
f_{cm}	24.24 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	13.5 N/mm ²
f_{cc}	13.5 N/mm ²

copriferro	45	mm
staffe	0	mm
armat. sec.	14	mm

FC **1.2**

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 6.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 43.3$ cm

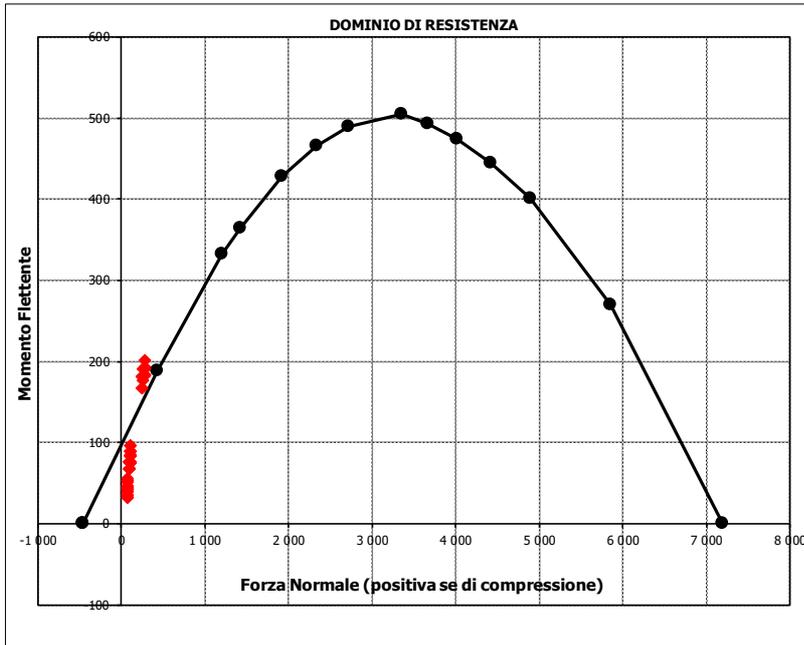
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_2St_61S	294	222
(Nmin)	Fr_2St_74S	54	50
(Mmax)	Fr_2St_61S	294	222
(Mmin)	Fr_2St_46S	67	33

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	96	76	53S3-11M	107	97
02S1-11T	96	76	54S3-11T	107	97
03S1-12M	96	76	55S3-12M	107	97
04S1-12T	96	76	56S3-12T	107	97
05S1-13M	100	84	57S3-13M	111	105
06S1-13T	100	84	58S3-13T	111	105
07S1-14-	67	44	59S3-14S	289	212
08S1-15-	71	52	60S3-15S	289	213
09S1-16S	279	191	61S3-16S	294	222
10S1-17S	279	192	62S3-21M	107	88
11S1-18S	283	201	63S3-21T	107	88
12S1-19S	67	44	64S3-22M	107	89
13S1-20S	72	54	65S3-22T	107	89
14S1-21M	96	67	66S3-23M	111	96
15S1-21T	96	67	67S3-23T	111	96
16S1-22M	96	68	68S3-24S	289	204
17S1-22T	96	68	69S3-25S	289	204
18S1-23M	100	76	70S3-26S	294	213
19S1-23T	100	76	71SSS1--	79	90
20S1-24-	67	35	72SSS2--	76	88
21S1-25-	71	43	73SSS3--	65	57
22S1-26S	279	183	74SSS4--	54	50
23S1-27S	279	183	75SSS5--	79	86
24S1-28S	283	193	76SSS6--	76	84
25S1-29S	67	35	77SSS7--	65	52
26S1-30S	72	45	78SSS8--	54	45
27S1T11M	99	89	79SSS9S	104	107
28S1T11T	99	89	80SSS10S	101	105
29S1T12M	99	89	81SSS11S	90	73
30S1T12T	99	89	82SSS12S	79	66
31S1T13M	103	97	83SSS13S	104	102
32S1T13T	103	97	84SSS14S	101	100
33S1T14-	67	47	85SSS15S	90	68
34S1T15-	71	54	86SSS16S	79	61
35S1T16S	245	181			
36S1T17S	245	182			
37S1T18S	249	191			
38S1T19S	67	47			
39S1T20S	72	56			
40S1T21M	99	75			
41S1T21T	99	75			
42S1T22M	99	75			
43S1T22T	99	75			
44S1T23M	103	83			
45S1T23T	103	83			
46S1T24-	67	33			
47S1T25-	71	40			
48S1T26S	245	167			
49S1T27S	245	168			
50S1T28S	249	176			
51S1T29S	67	33			
52S1T30S	72	41			



- 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		Sollecitazioni		Piedritto	
Tipo	ESISTENTE	V_{Ed}	kN		199
R_{cm}	29.2 N/mm ²	N_{Ed}	kN		0
f_{cm}	24.2 N/mm ²	Armatura a taglio			
γ_c	1.5	Diametro	mm		12
α_{cc}	1	Numero barre			0
f_{cd}	16.2 N/mm ²	A_{sw}	cm ²		0.00
Acciaio		Passo s	cm		40
f_{tk}	ESISTENTE N/mm ²	Angolo α	°		90
f_{ym}	397.2 N/mm ²	Armatura longitudinale			
γ_s	1.15	n_1			4
f_{yd}	288 N/mm ²	\varnothing_1	mm		16
FC 1.2		n_2			-
		\varnothing_2	mm		-
		Asl	cm ²		8.04
		Sezione			
		b_w	cm		100
		H	cm		50
		c	cm		5.7
		d	cm		44.3
		k	N/mm ²		1.67
		v_{min}	N/mm ²		0.37
		ρ			0.0018
		σ_{cp}	N/mm ²		0.00
		α_c			1.00
		Resistenza senza armatura a taglio			
		V_{Rd}	kN		165

9.5.2 Verifica soletta superiore

- Verifica a pressoflessione appoggio (Solsup-App)

Acciaio	
Tipo	ESISTENTE
Tensione car. di snervamento	$f_{ym} = 397.2$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 288$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00137$

Calcestruzzo	
Tipo	ESISTENTE
R_{cm}	29.2 N/mm ²
f_{cm}	24.24 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	13.5 N/mm ²
f_{cc}	13.5 N/mm ²

copriferro	40	mm
staffe	0	mm
armat. sec.	12	mm

FC **1.2**

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 25$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 6$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 19$ cm

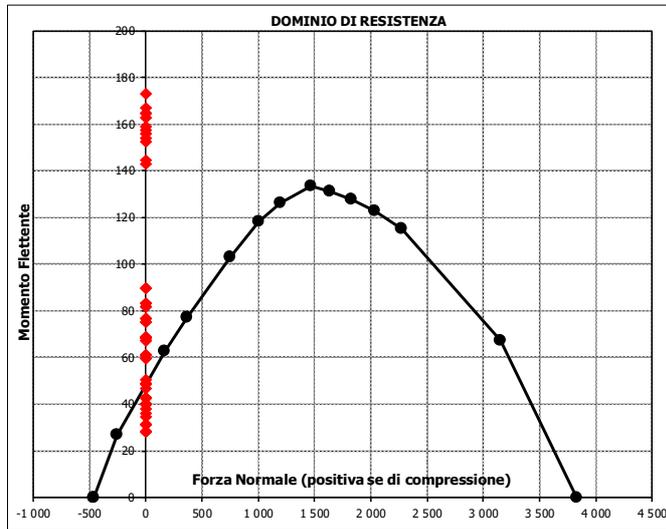
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm ²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm ²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_1St_01S	0	68
(Nmin)	Fr_1St_01S	0	68
(Mmax)	Fr_1St_61S	0	194
(Mmin)	Fr_1St_46S	0	28

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	68	53S3-11M	0	89
02S1-11T	0	68	54S3-11T	0	89
03S1-12M	0	70	55S3-12M	0	91
04S1-12T	0	70	56S3-12T	0	91
05S1-13M	0	77	57S3-13M	0	98
06S1-13T	0	77	58S3-13T	0	98
07S1-14-	0	40	59S3-14S	0	184
08S1-15-	0	47	60S3-15S	0	185
09S1-16S	0	163	61S3-16S	0	194
10S1-17S	0	165	62S3-21M	0	80
11S1-18S	0	173	63S3-21T	0	80
12S1-19S	0	40	64S3-22M	0	82
13S1-20S	0	49	65S3-22T	0	82
14S1-21M	0	60	66S3-23M	0	88
15S1-21T	0	60	67S3-23T	0	88
16S1-22M	0	61	68S3-24S	0	175
17S1-22T	0	61	69S3-25S	0	176
18S1-23M	0	68	70S3-26S	0	184
19S1-23T	0	68	71SSS1--	0	86
20S1-24-	0	31	72SSS2--	0	84
21S1-25-	0	38	73SSS3--	0	52
22S1-26S	0	154	74SSS4--	0	46
23S1-27S	0	156	75SSS5--	0	81
24S1-28S	0	165	76SSS6--	0	79
25S1-29S	0	31	77SSS7--	0	47
26S1-30S	0	40	78SSS8--	0	41
27S1T11M	0	82	79SSS9S	0	99
28S1T11T	0	82	80SSS10S	0	97
29S1T12M	0	83	81SSS11S	0	65
30S1T12T	0	83	82SSS12S	0	60
31S1T13M	0	90	83SSS13S	0	94
32S1T13T	0	90	84SSS14S	0	93
33S1T14-	0	43	85SSS15S	0	60
34S1T15-	0	49	86SSS16S	0	55
35S1T16S	0	157			
36S1T17S	0	159			
37S1T18S	0	167			
38S1T19S	0	43			
39S1T20S	0	51			
40S1T21M	0	67			
41S1T21T	0	67			
42S1T22M	0	69			
43S1T22T	0	69			
44S1T23M	0	75			
45S1T23T	0	75			
46S1T24-	0	28			
47S1T25-	0	35			
48S1T26S	0	143			
49S1T27S	0	145			
50S1T28S	0	152			
51S1T29S	0	28			
52S1T30S	0	36			



• Verifica a pressoflessione campata (Solsup-Camp)

Acciaio		ESISTENTE	
Tipo			
Tensione car. di snervamento	$f_{ym} = 397.2$	N/mm ²	
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$		
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 288$	N/mm ²	
Modulo elastico	$E_s = 210000$	N/mm ²	
	$\epsilon_{yd} = 0.00137$		

Calcestruzzo		ESISTENTE	
Tipo			
R _{cm}	29.2	N/mm ²	
f _{cm}	24.24	N/mm ²	
γ _c	1.5		
f _{cd}	13.5	N/mm ²	
f _{cc}	13.5	N/mm ²	

copriferro	40	mm
staffe	0	mm
armat. sec.	12	mm

FC = 1.2

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione h	25 cm
Base della sezione b	100 cm
Copriferro d'	6.0 cm
Altezza utile della sezione d	19 cm

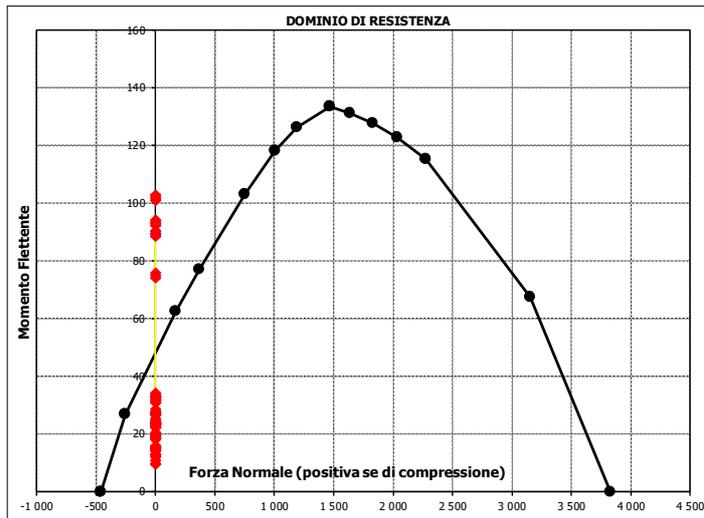
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax) Fr_1St_01S1-11M_2.05	0	24	
(Nmin) Fr_1St_01S1-11M_2.05	0	24	
(Mmax) Fr_1St_22S1-26S_2.05	0	103	
(Mmin) Fr_1St_72SSS2--_2.05	0	10	

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	24	53S3-11M	0	24
02S1-11T	0	24	54S3-11T	0	24
03S1-12M	0	22	55S3-12M	0	22
04S1-12T	0	22	56S3-12T	0	22
05S1-13M	0	23	57S3-13M	0	23
06S1-13T	0	23	58S3-13T	0	23
07S1-14-	0	15	59S3-14S	0	94
08S1-15-	0	16	60S3-15S	0	92
09S1-16S	0	94	61S3-16S	0	93
10S1-17S	0	92	62S3-21M	0	33
11S1-18S	0	93	63S3-21T	0	33
12S1-19S	0	15	64S3-22M	0	31
13S1-20S	0	16	65S3-22T	0	31
14S1-21M	0	33	66S3-23M	0	32
15S1-21T	0	33	67S3-23T	0	32
16S1-22M	0	31	68S3-24S	0	103
17S1-22T	0	31	69S3-25S	0	101
18S1-23M	0	32	70S3-26S	0	102
19S1-23T	0	32	71SSS1--	0	11
20S1-24-	0	24	72SSS2--	0	10
21S1-25-	0	25	73SSS3--	0	14
22S1-26S	0	103	74SSS4--	0	10
23S1-27S	0	101	75SSS5--	0	16
24S1-28S	0	102	76SSS6--	0	14
25S1-29S	0	24	77SSS7--	0	19
26S1-30S	0	25	78SSS8--	0	15
27S1T11M	0	19	79SSS9S	0	20
28S1T11T	0	19	80SSS10S	0	19
29S1T12M	0	18	81SSS11S	0	24
30S1T12T	0	18	82SSS12S	0	20
31S1T13M	0	19	83SSS13S	0	25
32S1T13T	0	19	84SSS14S	0	24
33S1T14-	0	12	85SSS15S	0	29
34S1T15-	0	13	86SSS16S	0	24
35S1T16S	0	76			
36S1T17S	0	74			
37S1T18S	0	75			
38S1T19S	0	12			
39S1T20S	0	13			
40S1T21M	0	34			
41S1T21T	0	34			
42S1T22M	0	33			
43S1T22T	0	33			
44S1T23M	0	33			
45S1T23T	0	33			
46S1T24-	0	27			
47S1T25-	0	28			
48S1T26S	0	90			
49S1T27S	0	89			
50S1T28S	0	89			
51S1T29S	0	27			
52S1T30S	0	27			



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se $V_{Ed} < VRd1$ la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se $V_{Ed} < VRd2$ la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo			Sollecitazioni		Soletta sup	
Tipo	ESISTENTE		V_{Ed}	kN	272	
R_{cm}	29.2	N/mm ²	N_{Ed}	kN	0	
f_{cm}	24.2	N/mm ²				
γ_c	1.5					
α_{cc}	1					
f_{cd}	16.2	N/mm ²				
Acciaio			Armatura a taglio			
f_{tk}	ESISTENTE	N/mm ²	Diametro	mm	12	
f_{ym}	397.2	N/mm ²	Numero barre		0	
γ_s	1.15		A_{sw}	cm ²	0.00	
f_{yd}	288	N/mm ²	Passo s	cm	40	
FC	1.2		Angolo α	°	90	
			Armatura longitudinale			
			n_1		4	
			\varnothing_1	mm	16	
			n_2		-	
			\varnothing_2	mm	-	
			Asl	cm ²	8.04	
			Sezione			
			b_w	cm	100	
			H	cm	25	
			c	cm	6	
			d	cm	19	
			k	N/mm ²	2.00	
			v_{min}	N/mm ²	0.49	
			ρ		0.0042	
			σ_{cp}	N/mm ²	0.00	
			α_c		1.00	
			Resistenza senza armatura a taglio			
			V_{Rd}	kN	99	

9.5.3 Verifica soletta inferiore

- Verifica a pressoflessione appoggio (Solinf-App)

Acciaio	
Tipo	ESISTENTE
Tensione car. di snervamento	$f_{ym} = 397.2$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 288$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00137$

Calcestruzzo	
Tipo	ESISTENTE
R_{cm}	29.2 N/mm ²
f_{cm}	24.24 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	13.5 N/mm ²
f_{cc}	13.5 N/mm ²

copriferro	40	mm
staffe	0	mm
armat. sec	12	mm
FC	1.2	

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 6$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 44$ cm

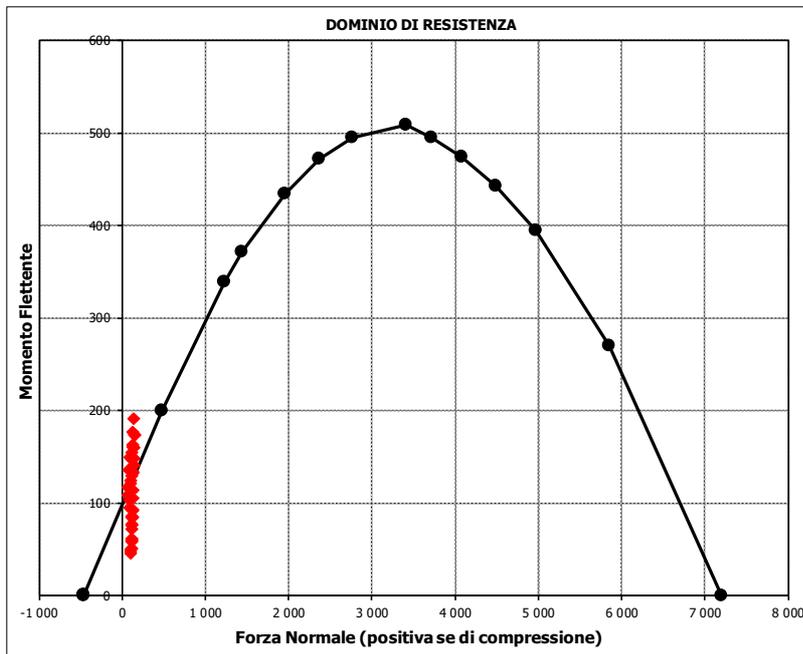
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			8.04 cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_13St_76	219	252
(Nmin)	Fr_13St_09	69	109
(Mmax)	Fr_13St_83	217	255
(Mmin)	Fr_13St_33	103	46

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd			

01S1-11M	89	94	53S3-11M	107	149
02S1-11T	89	94	54S3-11T	107	149
03S1-12M	122	105	55S3-12M	140	159
04S1-12T	122	105	56S3-12T	140	159
05S1-13M	130	132	57S3-13M	148	186
06S1-13T	130	132	58S3-13T	148	186
07S1-14	106	49	59S3-14S	87	163
08S1-15	114	76	60S3-15S	125	175
09S1-16S	69	109	61S3-16S	135	208
10S1-17S	107	121	62S3-21M	111	157
11S1-18S	117	154	63S3-21T	111	157
12S1-19S	111	51	64S3-22M	142	167
13S1-20S	121	84	65S3-22T	142	167
14S1-21M	93	103	66S3-23M	150	193
15S1-21T	93	103	67S3-23T	150	193
16S1-22M	126	114	68S3-24S	91	171
17S1-22T	126	114	69S3-25S	126	183
18S1-23M	134	140	70S3-26S	136	213
19S1-23T	134	140	71SSS1--	216	247
20S1-24	110	58	72SSS2--	217	247
21S1-25	118	85	73SSS3--	122	115
22S1-26S	73	117	74SSS4--	123	114
23S1-27S	111	130	75SSS5--	219	252
24S1-28S	121	163	76SSS6--	219	252
25S1-29S	115	60	77SSS7--	124	120
26S1-30S	125	92	78SSS8--	125	119
27S1T11M	99	124	79SSS9S	215	250
28S1T11T	99	124	80SSS10S	215	250
29S1T12M	130	134	81SSS11S	120	118
30S1T12T	130	134	82SSS12S	121	118
31S1T13M	138	159	83SSS13S	217	255
32S1T13T	138	159	84SSS14S	217	255
33S1T14	103	46	85SSS15S	122	123
34S1T15	111	71	86SSS16S	123	122
35S1T16S	83	135			
36S1T17S	118	147			
37S1T18S	128	177			
38S1T19S	107	48			
39S1T20S	117	78			
40S1T21M	105	138			
41S1T21T	105	138			
42S1T22M	137	148			
43S1T22T	137	148			
44S1T23M	145	173			
45S1T23T	145	173			
46S1T24	110	60			
47S1T25	118	85			
48S1T26S	89	149			
49S1T27S	125	161			
50S1T28S	134	191			
51S1T29S	114	62			
52S1T30S	123	92			



• Verifica a pressoflessione campata (Solinf-Camp)

Acciaio	
Tipo	ESISTENTE
Tensione car. di snervamento	$f_{ym} = 397.2$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 288$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 210000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00137$

Calcestruzzo	
Tipo	ESISTENTE
R_{cm}	29.2 N/mm ²
f_{cm}	24.24 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	13.5 N/mm ²
f_{cc}	13.5 N/mm ²

copriferro	40	mm
staffe	0	mm
armat. sec.	12	mm

FC = 1.2

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 50$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 6$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 44$ cm

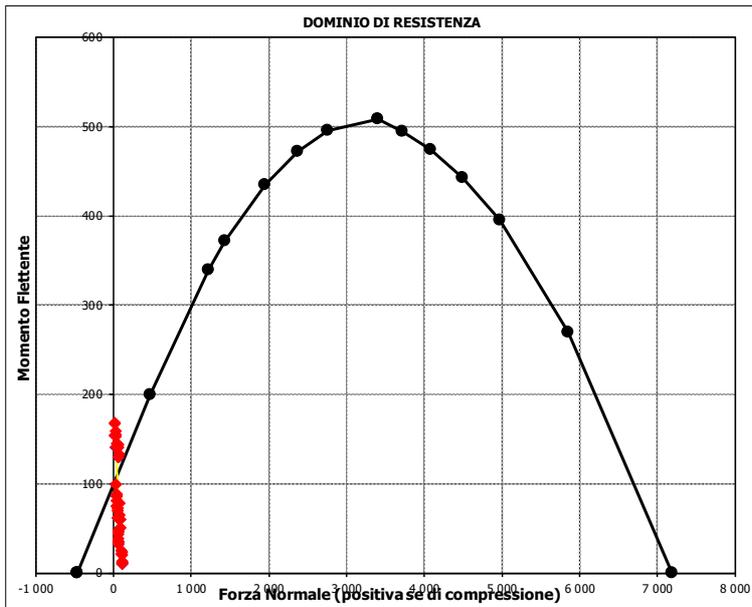
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		8.04	cm²

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
4	16	8.04	cm ²
		0.00	cm ²
		0.00	cm ²
		8.04	cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	Fr_6St_25	115	12
(Nmin)	Fr_6St_79	-23	124
(Mmax)	Fr_6St_61	4	197
(Mmin)	Fr_6St_51	114	10

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	53	70	53S3-11M	35	99
02S1-11T	53	70	54S3-11T	35	99
03S1-12M	86	59	55S3-12M	68	89
04S1-12T	86	59	56S3-12T	68	89
05S1-13M	44	82	57S3-13M	26	111
06S1-13T	44	82	58S3-13T	26	111
07S1-14-	106	22	59S3-14S	15	182
08S1-15-	64	44	60S3-15S	53	170
09S1-16S	33	153	61S3-16S	4	197
10S1-17S	71	141	62S3-21M	39	91
11S1-18S	22	167	63S3-21T	39	91
12S1-19S	111	20	64S3-22M	71	81
13S1-20S	62	47	65S3-22T	71	81
14S1-21M	57	62	66S3-23M	31	102
15S1-21T	57	62	67S3-23T	31	102
16S1-22M	90	51	68S3-24S	19	174
17S1-22T	90	51	69S3-25S	54	163
18S1-23M	48	73	70S3-26S	9	187
19S1-23T	48	73	71SSS1--	-20	112
20S1-24-	110	14	72SSS2--	-20	111
21S1-25-	68	36	73SSS3--	19	61
22S1-26S	37	145	74SSS4--	20	56
23S1-27S	75	133	75SSS5--	-18	108
24S1-28S	26	159	76SSS6--	-18	106
25S1-29S	115	12	77SSS7--	21	56
26S1-30S	66	39	78SSS8--	22	51
27S1T11M	41	88	79SSS9S	-23	124
28S1T11T	41	88	80SSS10S	-23	123
29S1T12M	73	78	81SSS11S	16	73
30S1T12T	73	78	82SSS12S	17	68
31S1T13M	33	99	83SSS13S	-21	119
32S1T13T	33	99	84SSS14S	-21	118
33S1T14-	103	25	85SSS15S	18	68
34S1T15-	63	46	86SSS16S	19	63
35S1T16S	25	155			
36S1T17S	61	144			
37S1T18S	16	168			
38S1T19S	107	24			
39S1T20S	62	48			
40S1T21M	48	75			
41S1T21T	48	75			
42S1T22M	80	65			
43S1T22T	80	65			
44S1T23M	40	86			
45S1T23T	40	86			
46S1T24-	110	11			
47S1T25-	70	32			
48S1T26S	32	141			
49S1T27S	67	130			
50S1T28S	22	154			
51S1T29S	114	10			
52S1T30S	69	34			



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	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			Sollecitazioni		Soletta inf	
Tipo	ESISTENTE		V_{Ed}	kN		270
R_{cm}	29.2	N/mm ²	N_{Ed}	kN		0
f_{cm}	24.2	N/mm ²	Armatura a taglio			
γ_c	1.5		Diametro	mm		12
α_{cc}	1		Numero barre			0
f_{cd}	16.2	N/mm ²	A_{sw}	cm ²		0.00
Acciaio			Passo s	cm		40
f_{tk}	ESISTENTE	N/mm ²	Angolo α	°		90
f_{ym}	397.2	N/mm ²	Armatura longitudinale			
γ_s	1.15		n_1			4
f_{yd}	288	N/mm ²	\varnothing_1	mm		16
FC			n_2			-
	1.2		\varnothing_2	mm		-
			Asl	cm ²		8.04
			Sezione			
			b_w	cm		100
			H	cm		50
			c	cm		6
			d	cm		44
			k	N/mm ²		1.67
			v_{min}	N/mm ²		0.37
			ρ			0.0018
			σ_{cp}	N/mm ²		0.00
			α_c			1.00
			Resistenza senza armatura a taglio			
			V_{Rd}	kN		164

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

10. INTERVENTI DI RINFORZO

Dalle verifiche riportate al capitolo precedente è emerso che la struttura scatolare non è in grado di resistere alle azioni statiche e sismiche dovute al passaggio del traffico ferroviario nel rispetto degli stati limite imposti dalla NTC2018.

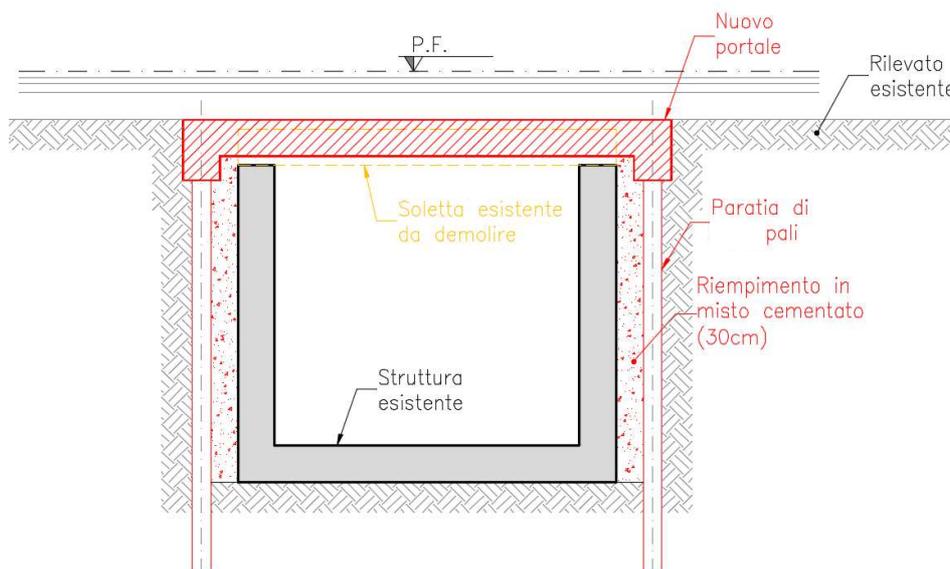
Nel seguito sarà brevemente descritto l'intervento proposto per garantire la sicurezza strutturale dell'attraversamento ferroviario in corrispondenza della progressiva in oggetto.

Si prevede la realizzazione di un portale ferroviario costituito da due paratie di pali collegate in testa da un solettone.

Più in dettaglio, in direzione trasversale all'asse ferroviario saranno realizzate due paratie di pali a tergo dei piedritti della struttura scatolare esistente. Tale paratie saranno dimensionate per resistere alle azioni sismiche e statiche dovute al passaggio dei convogli ferroviari. I due cordoli della paratia saranno collegati in testa da un solettone che sarà dimensionato per svolgere due funzioni principali: 1) fungere da impalcato per il sostegno del carico ferroviario direttamente gravante su esso; 2) rappresentare un puntone per le paratie in maniera tale da ridurre le sollecitazioni e gli spostamenti attesi sulle stesse.

Prima della realizzazione del solettone di collegamento delle paratie, sarà demolita la soletta superiore dello scatolare esistente ove interferente. Questa operazione potrà essere effettuata in tutta sicurezza poiché, dopo l'esecuzione delle paratie a tergo dei piedritti, lo scatolare esistente non avrà alcuna funzione statica.

Segue un'immagine rappresentativa dell'intervento appena descritto.



	QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO-CAPANNELLE E PRG CIAMPINO 2^ FASE LATO ROMA QUADRUPPLICAMENTO LINEA					
	IN02 – Tombino idraulico Relazione di calcolo struttura esistente	COMMESSA NR45	LOTTO 11R29	CODIFICA CL	DOCUMENTO IN0100002	REV. A

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

11.1 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.

11.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo

Titolo: SAP2000

Versione: 21.2.0

Produttore: CSI Computers and Structures, Inc.

11.3 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.