

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA PESCARA – BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA

Opere d'arte maggiore – Ponti e Viadotti Stradali

IV02 Cavalcavia in viadotto Viabilità di accesso fermata Campomarino

SCALA:

-

Relazione di calcolo Pila

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

L I 0 2 0 2 D 7 8 C L I V 0 2 0 0 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	M.Piscitelli	Aprile 2019	G. Giustino 	Aprile 2019	B.M.Bianchi 	Aprile 2019	D. Tiberti Aprile 2019

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Termoli
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Daniele Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10879

File: .docx

n. Elab.:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA</p>					
<p>IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila</p>	<p>COMMESSA LI02</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO IV02 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 2 di 45</p>

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA	6
2.1	SCHEMA STRUTTURALE E DI VINCOLO.....	7
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
4	MATERIALI.....	9
4.1	FONDAZIONI – PALI.....	9
4.2	ELEVAZIONE SOTTOSTRUTTURE.....	10
4.3	ACCIAIO B450C.....	10
4.4	CLASSI DI ESPOSIZIONE E COPRIFERRI	11
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	13
5.1	TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO.....	13
6	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	14
6.1	VITA NOMINALE.....	15
6.2	CLASSE D’USO	15
6.3	PERIODO DI RIFERIMENTO	16
6.4	VALUTAZIONE DEI PARAMETRI DI PERICOLOSITÀ SISMICA	16
6.5	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL TERRENO	17
6.6	PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO E SPETTRO DI PROGETTO.....	18
7	VERIFICHE.....	20
7.1	VERIFICA AGLI SLU: PRESSOFLESSIONE E TAGLIO	20
7.1.1	<i>Verifica a pressoflessione</i>	20
7.1.2	<i>Verifica a taglio</i>	20
7.2	VERIFICA AGLI SLE: LIMITAZIONE DELLE TENSIONI E FESSURAZIONE.....	21
7.2.1	<i>Verifica di fessurazione.....</i>	21
7.2.2	<i>Verifica delle tensioni di esercizio</i>	22
8	MODELLO DI CALCOLO	23

8.1	GENERALITÀ	23
8.2	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO	23
8.3	MODELLO DI CALCOLO STATICO E SISMICO	23
8.4	ANALISI DEI CARICHI	25
8.4.1	<i>Peso proprio elementi strutturali</i>	25
8.4.2	<i>Carichi trasmessi dall'impalcato (scarichi sugli appoggi)</i>	25
8.4.3	<i>Calcolo delle sollecitazioni in testa pali</i>	26
8.5	COMBINAZIONI DI CARICO	28
8.5.1	<i>Gruppi di carico</i>	29
8.5.2	<i>Coefficienti parziali e di combinazione</i>	30
8.5.3	<i>Combinazioni agli SLU</i>	31
8.5.4	<i>Combinazioni agli SLE</i>	31
9	ANALISI E VERIFICHE DELLE PILE	32
9.1	SOLLECITAZIONI BASE PILA	32
9.2	VERIFICHE PILA P1	33
9.3	VERIFICHE PULVINO P1	34
10	ANALISI E VERIFICA DELLE FONDAZIONI	36
10.1	SOLLECITAZIONI INTRADOSSO PLINTO	36
10.2	VERIFICA PLINTO DI FONDAZIONE	38
10.2.1	<i>Verifiche di capacità portante Palo singolo</i>	40
10.2.2	<i>Verifiche capacità portante Pali Di Gruppo</i>	40
10.2.3	<i>Capacità portante laterale dei pali di fondazione</i>	41
10.3	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI IN FONDAZIONE	42
10.4	VERIFICA STRUTTURALE PALI DI FONDAZIONE	43
11	APPOGGI E GIUNTI	44
11.1	APPOGGI PILE	44
11.2	ESCURSIONE DEI GIUNTI	44

IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata
Campomarino) - Relazione di calcolo Pila

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
LI02	02	D 78 CL	IV02 002	A	4 di 45

1 PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici di progetto definitivo del corpo stradale ferroviario, delle opere d'arte e delle opere interferite relative al raddoppio ferroviario della Linea Bari - Pescara nella tratta Termoli - Ripalta, per uno sviluppo complessivo di 24.930,52 km.

L'opera oggetto delle analisi riportate nei paragrafi seguenti rientra fra quelle inserite nella categoria denominata "OPERE PRINCIPALI – PONTI E VIADOTTI".

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

In particolare la presente relazione di calcolo fa riferimento al dimensionamento e verifica delle pile del cavalcavia denominato IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino)

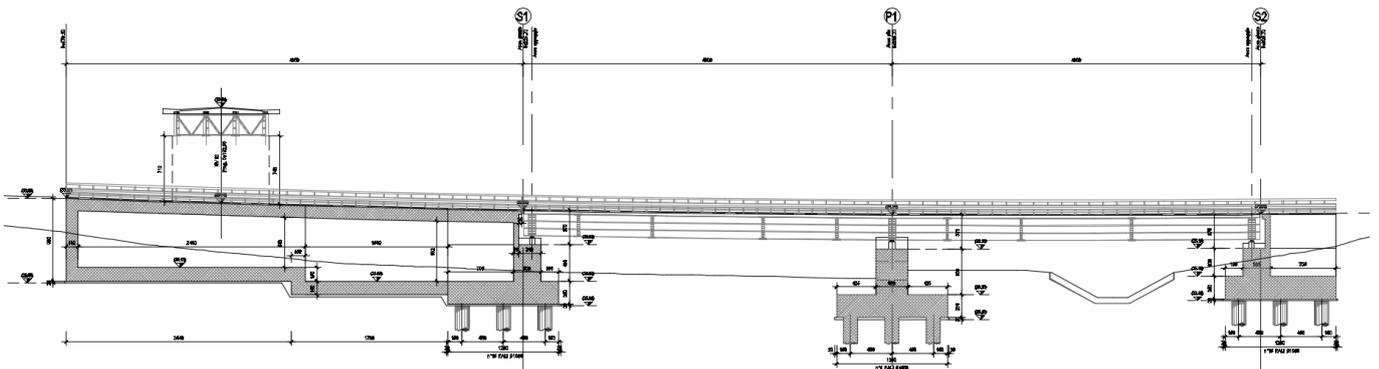


Figura 1 - Profilo longitudinale

2 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

L'impalcato è realizzato in carpenteria metallica, e presenta uno schema statico di trave continua su 3 appoggi con 2 campate da 40 m di luce ciascuna per uno sviluppo complessivo di 78 m tra gli assi appoggi delle spalle.

L'asse presenta un andamento planimetrico curvilineo con raggio di curvatura pari a circa 250 m.

La piattaforma ha una larghezza totale di 18.75 m con carreggiata stradale di larghezza 11.60 m, pista ciclopedonale di 2.50 m e cordoli e marciapiedi per una larghezza complessiva di 4.65 m.

L'impalcato prevede una struttura mista in acciaio-calcestruzzo costituita da quattro travi metalliche ad interasse di 3.50 m, a cui si aggiunge una trave HEB600 a sostegno della pista ciclopedonale.

Le travi sono poi collegate mediante controventi superiori e inferiori e diaframmi verticali posti ad interasse di 5 m. In corrispondenza degli appoggi i traversi hanno sezione piena ad "I".

La soletta in c.a. ha spessore variabile con valore pari a 300 mm nella zona della pavimentazione stradale ed è gettata su predalles prefabbricate di 50 mm di spessore poggiate sulle piattabande superiori delle travi e collegata ad essi mediante connettori tipo "Nelson".

Il presente documento contiene le verifiche strutturali e geotecniche della pila P1.

La pila in esame è caratterizzata da una sezione piena a "saponetta" con larghezza pari a 3.50 m in direzione longitudinale e 5.80 m in direzione trasversale. Il fusto della pila ha un'altezza pari ad 1.65 m, mentre il pulvino ha forma troncopiramidale con altezza media pari a circa 3.6 m.

Le fondazioni sono del tipo indiretto, con plinti su 9 pali $\phi 1500$ di dimensione 12.00 x 12.00 e spessore pari a 2.5 m. Gli interassi dei pali sono pari a 4.50 m sia in direzione longitudinale che in direzione trasversale. La lunghezza dei pali è pari a 22m.

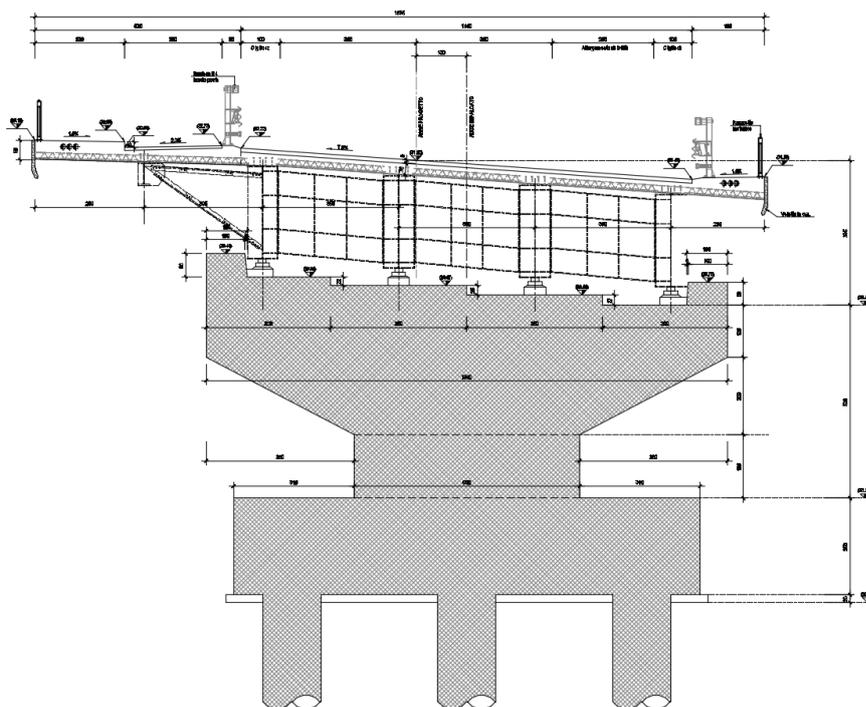


Fig. 1 – Sezione pila in direzione trasversale all'impalcato

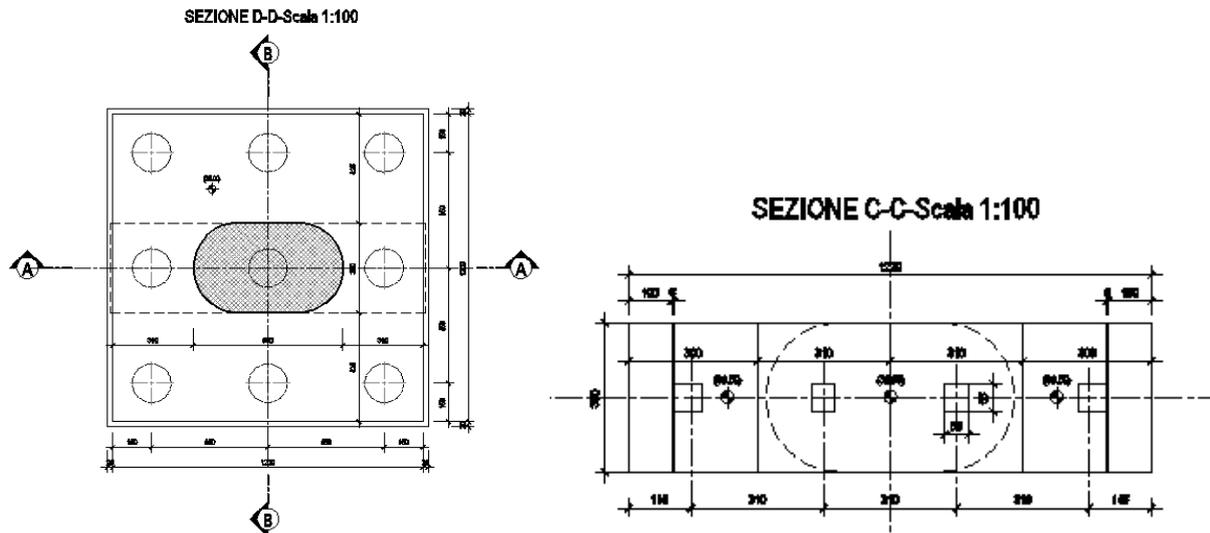


Fig. 2 – Sezioni a quota fondazione e quota appoggi

2.1 Schema strutturale e di vincolo

L'impalcato nel suo complesso si comporta come un sistema di travi, connesse tra loro dai traversi dai controventi inferiori e dalla soletta, con schema statico longitudinale continuo su due campate.

Lo schema di vincolo prevede:

- Spalla S1: 2 vincoli fissi (travi intermedie) in direzione longitudinale e trasversale (F) + 2 vincoli scorrevoli (travi esterne) in direzione longitudinale e trasversale (M);
- Pila P1 e Spalla S2: 2 vincoli (travi intermedie) fissi in direzione trasversale e scorrevoli in direzione longitudinale (UL) + 2 vincoli scorrevoli (travi esterne) in direzione trasversale e longitudinale (M);

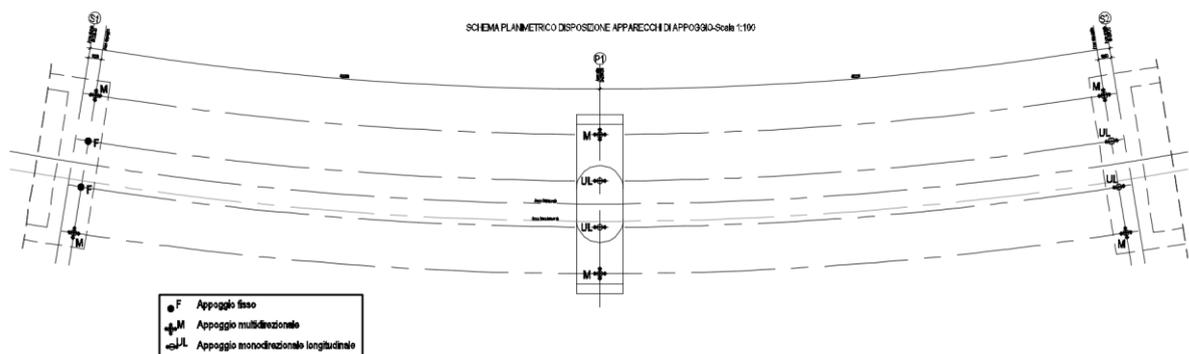


Fig. 3 – Schema appoggi

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A	FOGLIO 8 di 45

3 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell’Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- L. n. 64 del 2/2/1974“Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- L. n. 1086 del 5/11/1971“Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”.
- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08;
- Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.
- Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22-12-17 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- RFI DTC SI SP IFS 001 C– Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- CNR-DT207/2008 Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.
- UNI 11104: Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA</p>					
<p>IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila</p>	<p>COMMESSA L102</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO IV02 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 9 di 45</p>

4 MATERIALI

4.1 Fondazioni – pali

Per le strutture in fondazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC2

C25/30: $f_{ck} \geq 25$ MPa $R_{ck} \geq 30$ MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	30	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	24,90	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	32,90	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	16,60	N/mm ²
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	14,11	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	2,56	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	1,79	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,07	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,19	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	31447	N/mm ²

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

4.2 Elevazione sottostrutture

Per le strutture in elevazione si adotta un calcestruzzo con le caratteristiche riportate di seguito:

Classe d'esposizione: XC4+XS1

C32/40: $f_{ck} \geq 32$ MPa $R_{ck} \geq 40$ MPa

Classe minima di consistenza: S4

In accordo con le norme vigenti, risulta per il materiale in esame:

Resistenza caratteristica cubica a 28 giorni	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica a 28 giorni	$f_{ck} = 0.83 R_{ck}$	33,20	N/mm ²
Valore medio della resistenza cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	41,20	N/mm ²
Resistenza di calcolo breve durata	$f_{cd} \text{ (Breve durata)} = f_{ck} / 1.5$	22,13	N/mm ²
Resistenza di calcolo lunga durata	$f_{cd} \text{ (Lungo durata)} = 0.85 f_{cd}$	18,81	N/mm ²
Resistenza media a trazione assiale	$f_{ctm} = 0.3 (f_{ck})^{2/3}$ [Rck<50/60]	3,10	N/mm ²
Resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk 0,05} = 0.7 f_{ctm}$	2,17	N/mm ²
Resistenza media a trazione per flessione	$f_{cfm} = 1.2 f_{ctm}$	3,72	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / 1.5$	1,45	N/mm ²
Modulo di Young	$E = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$	33643	N/mm ²

4.3 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450$ MPa;

Tensione di progetto: $f_{yk} = 450$ MPa;

Tensione di progetto: $f_{yk} = f_{yd} / \gamma_m$

in cui $\gamma_m = 1.15$ $f_{yd} = 450 / 1.15 = 391.3$ MPa;

Modulo Elastico $E_s = 210'000$ MPa.

4.4 Classi di esposizione e copriferri

Con riferimento alle specifiche di cui alla norma UNI EN 206-1-2006, si definiscono di seguito le classi di esposizione del calcestruzzo delle diverse parti della struttura oggetto dei dimensionamenti di cui al presente documento:

- Pile e spalle: XC4;
- Plinti e pali di fondazione: XC2;

Classe esposizione norma UNI 9658	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto s/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco						
1	X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici, tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/diagelo, o attacco chimico. Calcestruzzi con armatura o inserti metallici in ambiente molto asciutto.	Interni di edifici con umidità relativa molto bassa. Calcestruzzo non armato all'interno di edifici. Calcestruzzo non armato immerso in suolo non aggressivo o in acqua non aggressiva. Calcestruzzo non armato soggetto a cicli di bagnato asciutto ma non soggetto ad abrasione, gelo o attacco chimico.	-	C 12/15	
2 Corrosione indotta da carbonatazione						
Nota - Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi su può considerare che tali condizioni riflettono quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.						
2 a	XC1	Asciutto o permanentemente bagnato.	Interni di edifici con umidità relativa bassa. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con le superfici all'interno di strutture con eccezione delle parti esposte a condensa, o immerse in acqua.	0,60	C 25/30	
2 a	XC2	Bagnato, raramente asciutto.	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	0,60	C 25/30	
5 a	XC3	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici esterne riparatate dalla pioggia, o in interni con umidità da moderata ad alta.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XC4	Ciclicamente asciutto e bagnato.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido. Calcestruzzi a vista in ambienti urbani. Superfici a contatto con l'acqua non comprese nella classe XC2.	0,50	C 32/40	
3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare						
5 a	XD1	Umidità moderata.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in superfici o parti di ponti e viadotti esposti a spruzzi d'acqua contenenti cloruri.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XD2	Bagnato, raramente asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in elementi strutturali totalmente immersi in acqua anche industriale contenente cloruri (Piscine).	0,50	C 32/40	
5 c	XD3	Ciclicamente bagnato e asciutto.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, di elementi strutturali direttamente soggetti agli agenti disgelanti o agli spruzzi contenenti agenti disgelanti. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso, elementi con una superficie immersa in acqua contenente cloruri e l'altra esposta all'aria. Parti di ponti, pavimentazioni e parcheggi per auto.	0,45	C 35/45	

Classe esposizione norma UNI 9658	Classe esposizione norma UNI 11104 UNI EN 206-1	Descrizione dell'ambiente	Esempio	Massimo rapporto s/c	Minima Classe di resistenza	Contenuto minimo in aria (%)
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare						
4 a 5 b	XS1	Esposto alla salsedine marina ma non direttamente in contatto con l'acqua di mare.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali sulle coste o in prossimità.	0,50	C 32/40	
	XS2	Permanentemente sommerso.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso di strutture marine completamente immerse in acqua.	0,45	C 35/45	
	XS3	Zone esposte agli spruzzi o alle maree.	Calcestruzzo armato ordinario o precompresso con elementi strutturali esposti alla battigia o alle zone soggette agli spruzzi ed onde del mare.	0,45	C 35/45	
5 Attacco dei cicli di gelo/diagelo con o senza disgelanti *						
2 b	XF1	Moderata saturazione d'acqua in assenza di agente disgelante.	Superfici verticali di calcestruzzo come facciate e colonne esposte alla pioggia ed al gelo. Superfici non verticali e non soggette alla completa saturazione ma esposte al gelo, alla pioggia o all'acqua.	0,50	C 32/40	
3	XF2	Moderata saturazione d'acqua, in presenza di agente disgelante.	Elementi come parti di ponti che in altro modo sarebbero classificati come XF1 ma che sono esposti direttamente o indirettamente agli agenti disgelanti.	0,50	C 25/30	3,0
2 b	XF3	Elevata saturazione d'acqua, in assenza di agente disgelante.	Superfici orizzontali in edifici dove l'acqua può accumularsi e che possono essere soggetti ai fenomeni di gelo, elementi soggetti a frequenti bagnature ed esposti al gelo.	0,50	C 25/30	3,0
3	XF4	Elevata saturazione d'acqua, con presenza di agente antigelo oppure acqua di mare.	Superfici orizzontali quali strade o pavimentazioni esposte al gelo ed ai sali disgelanti in modo diretto o indiretto, elementi esposti al gelo e soggetti a frequenti bagnature in presenza di agenti disgelanti o di acqua di mare.	0,45	C 28/35	3,0
6 Attacco chimico**						
5 a	XA1	Ambiente chimicamente debolmente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1.	Contentori di fanghi e vasche di decantazione. Contentori e vasche per acque reflue.	0,55	C 28/35	
4 a 5 b	XA2	Ambiente chimicamente moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1.	Elementi strutturali o pareti a contatto di terreni aggressivi.	0,50	C 32/40	
5 c	XA3	Ambiente chimicamente fortemente aggressivo secondo il prospetto 2 della UNI EN 206-1.	Elementi strutturali o pareti a contatto di acque industriali fortemente aggressive. Contentori di foraggi, mangimi e liquame provenienti dall'allevamento animale. Torri di raffreddamento di fumi di gas di scarico industriali.	0,45	C 35/45	
*) Il grado di saturazione della seconda colonna riflette la relativa frequenza con cui si verifica il gelo in condizioni di saturazione: - moderato: occasionalmente gelato in condizione di saturazione; - elevato: alla frequenza di gelo in condizioni di saturazione. **) Da parte di acque del terreno e acque fluenti.						

Classi di esposizione secondo norma UNI – EN 206-2006

La determinazione delle classi di resistenza dei conglomerati dei conglomerati, di cui ai successivi paragrafi, sono state inoltre determinate tenendo conto delle classi minime stabilite dalla stessa norma UNI-EN 206-2006, di cui alla successiva tabella:

	Classi di esposizione																		
	Nessun rischio di corrosione o attacco	Corrosione da carbonatazione					Corrosione da cloruri						Attacco gelo/disgelo				Ambienti chimici aggressivi		
							Acqua marina			Altri cloruri (diversi dall'acqua di mare)									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Rapporto massimo a/c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
Classe di resistenza minima	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	
Contenuto minimo di cemento (kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
Contenuto minimo di aria (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	4,0 ^{a)}	-	-	-	
Altri requisiti												Aggregati in accordo alla EN 12620 con sufficiente resistenza al gelo/disgelo				Cemento resistente ai solfati ^{b)}			
a)	Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni dovrebbero essere verificate conformemente ad un metodo di prova appropriato rispetto ad un calcestruzzo per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo per la relativa classe di esposizione.																		
b)	Qualora la presenza di SO ₂ comporti le classi di esposizione XA2 e XA3, è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati. Se il cemento è classificato a moderata o ad alta resistenza ai solfati, il cemento dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA2 (e in classe di esposizione XA1 se applicabile) e il cemento ad alta resistenza, ai solfati dovrebbe essere utilizzato in classe di esposizione XA3.																		

Classi di resistenza minima del calcestruzzo secondo UNI – EN 206-2006

I copriferri di progetto adottati per le barre di armatura, tengono infine conto inoltre delle prescrizioni di cui alla Tabella C4.1.IV della Circolare n617 del 02-02-09; si è in particolare previsto di adottare i seguenti copriferri minimi espressi in mm

- Pile e spalle: 50 mm
- Plinti di fondazione: 40 mm
- Pali di fondazione: 60 mm

In termini di limiti di apertura delle fessure, alle prescrizioni normative presenti nelle NTC si sostituiscono in tal caso quelle fornite dal documento RFI DTC SICS MA IFS 001 B – 2.5.1.8.3.2.4 (*Manuale di progettazione delle opere civili del 29/12/2016*) secondo cui la verifica nei confronti dello stato limite di apertura delle fessure va effettuata utilizzando le sollecitazioni derivanti dalla combinazione caratteristica (rara).

L'apertura convenzionale delle fessure dovrà risultare:

- $\delta_f \leq w_1 = 0.2 \text{ mm}$ per tutte le strutture in condizioni ambientali aggressive o molto aggressive (così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.3 del DM 14.1.2008), per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- $\delta_f \leq w_2 = 0.3 \text{ mm}$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie.

In definitiva, nel caso in esame, si adotta il limite w_1 sia per pile e spalle che per pali e plinti in quanto i primi ricadono in condizioni ambientali aggressive (classe XC4), mentre i secondi sono elementi a permanente contatto con il terreno.

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A	FOGLIO 13 di 45

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Si rimanda alla relazione geotecnica allegata al progetto per la trattazione completa dei parametri geologico e geotecnici e per la definizione della curva di portanza dei pali.

5.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche :

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo si riporta la descrizione e la valutazione dell'azione sismica secondo le specifiche del D.M. 14 gennaio 2008 nonché la valutazione delle sollecitazioni di verifica e di dimensionamento dei vari elementi strutturali secondo il criterio della Gerarchia delle Resistenze.

L'opera in questione rientra in particolare nell'ambito del Progetto di Raddoppio della tratta Ferroviaria "Linea Pescara - Bari - Raddoppio Termoli - Lesina", che si sviluppa per circa 25Km, attraversando il territorio di diverse località tra cui Termoli(CB), Campomarino(CB), Campomarino – Santa Monica (CB), Marina di Chieuti / Chieuti (FG), Serracapriola- Loc.SS16 (FG).

In considerazione della variabilità dei parametri di pericolosità sismica con la localizzazione geografica del sito, ed allo scopo di individuare dei tratti omogenei nell'ambito dei quali assumere costanti detti parametri, si è provveduto a suddividere il tracciato in quattro sottozone simiche, a seguito di un esame generale del livello pericolosità sismica dell'area che evidenzia un graduale incremento dell'intensità sismica da nord verso sud; nella fattispecie le zone sismiche "omogenee" individuate, sono quelle di seguito elencate:

Tabella 1: Tabella di riepilogo località di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche per il progetto delle opere

Progr. Inizio	Progr. Fine	Località di Riferimento Azioni Sismiche	Zona sismica Locale
0	5.250,00	Campomarino(CB)	S1
5.250,00	10.000,00	Campomarino - Santa Monica (CB)	S2
10.000,00	18.650,00	Marina di Chieuti /Chieuti (FG)	S3
18.650,00	24.200,00	Serracapriola- Loc.SS16 (FG)	S4

Il viadotto stradale oggetto della presente relazione è posto in prossimità della progressiva di tracciato 7+350 e ricade pertanto nella zona sismica S2 nell'ambito sismico individuato come "Campomarino – Santamonica (CB)".

ZONA SISMICA	S2
LATITUDINE	41.94
LONGITUDINE	15.07
COMUNE	Campomarino – Santamonica
PROVINCIA	CAMPOBASSO

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_O valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica per la zona sismica di riferimento in cui ricade l'opera.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

6.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per la definizione della Vita Nominale da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria si rimanda al *“MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 B.*

Tabella 2 Vita Nominale in funzione del tipo di costruzione

TIPO DI COSTRUZIONE ⁽¹⁾	Vita Nominale [V_N] ⁽¹⁾
OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE ESISTENTI OPERE NUOVE SU INFRASTRUTTURE FERROVIARIE PROGETTATE CON LE NORME VIGENTI PRIMA DEL DM 14/01/2008 A VELOCITÀ CONVENZIONALE ($V < 250$ Km/h)	50
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ($V < 250$ km/h)	75
ALTRE OPERE NUOVE A VELOCITÀ ($V \geq 250$ Km/h)	100
OPERE DI GRANDI DIMENSIONI: PONTI E VIADOTTI CON CAMPATE DI LUCE MAGGIORE DI 150 m	≥ 100 ⁽²⁾

(1) - La medesima V_N si applica anche ad apparecchi di appoggio, coprigiunti e impermeabilizzazione delle stesse opere.
(2) - Da definirsi per il singolo progetto a cura di RFI.

Tenendo conto delle indicazioni precedenti le strutture di progetto avranno vita nominale $V_N = 75$.

6.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
- **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, *“Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”*, e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per la definizione della Classe di uso da assegnare ad ogni singolo manufatto facente parte di una infrastruttura ferroviaria esistente si rimanda al *“MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” - RFI DTC SI PS MA IFS 001 B.*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

Tabella 3 Classe d'uso Coeff. d'uso in funzione del tipo di costruzione per l'infrastruttura ferroviaria

TIPO DI COSTRUZIONE	Classe d'uso	Coefficiente d'uso [C _U]
GRANDI STAZIONI	C IV	2,0
OPERE D'ARTE DEL SISTEMA DI GRANDE VIABILITÀ FERROVIARIA	C III	1,5
ALTRE OPERE D'ARTE	C II	1,0

Facendo riferimento all'Allegato 5 della specifica alla pagina 151 del "MANUALE DI PROGETTAZIONE DI PONTI E STRUTTURE" - RFI DTC SICS MA IFS 001 B si ricade in classe d'uso tipo **Classe III con coefficiente d'uso C_U=1,5**.

6.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :
 $V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1.50 = 112.5$ anni (periodo di riferimento).

6.4 Valutazione dei parametri di pericolosità sismica

Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{V_R} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = - \frac{C_u \cdot V_s}{\ln(1 - P_{V_s})}$$

da cui si ottiene la seguente Tabella:

Tabella 4 Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato

	STATO LIMITE	probabilità di superamento PVR	Valori in anni del periodo di ritorno T _R
	SLO - Stato Limite di Operatività	81%	68
SLE	SLD - Stato Limite di Danno	63%	113
	SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%	1068
SLU	SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%	2193

Per il sito in esame, in base ai parametri precedentemente adottati si ha:

STATO LIMITE	SLV
CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	C
CATEGORIA TOPOGRAFICA	T1
VITA NOMINALE V_N	75
CLASSE D'USO	C III
COEFFICIENTE D'USO C_U	1.5
VITA DI RIFERIMENTO V_R	112.5

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

6.5 Caratterizzazione sismica del terreno

Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2008.

Amplificazione Stratigrafica e Topografica

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2008 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_S \cdot S_T$ e di C_C in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle Tab.18 e 19 che sono riportate di seguito:

Tabella 5 Tabella delle espressioni per S_S e C_C

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Tabella 6 Valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S_T

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Nel caso in esame:

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO
 CATEGORIA TOPOGRAFICA

C
 T1

6.6 Parametri sismici di calcolo e spettro di progetto

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudo statico, si eseguirà un calcolo elastico assumendo un fattore di struttura unitario

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.168 g
F_o	2.547
T_c	0.367 s
S_s	1.444
C_D	1.462
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.444
η	1.000
T_B	0.179 s
T_C	0.536 s
T_D	2.271 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

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

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

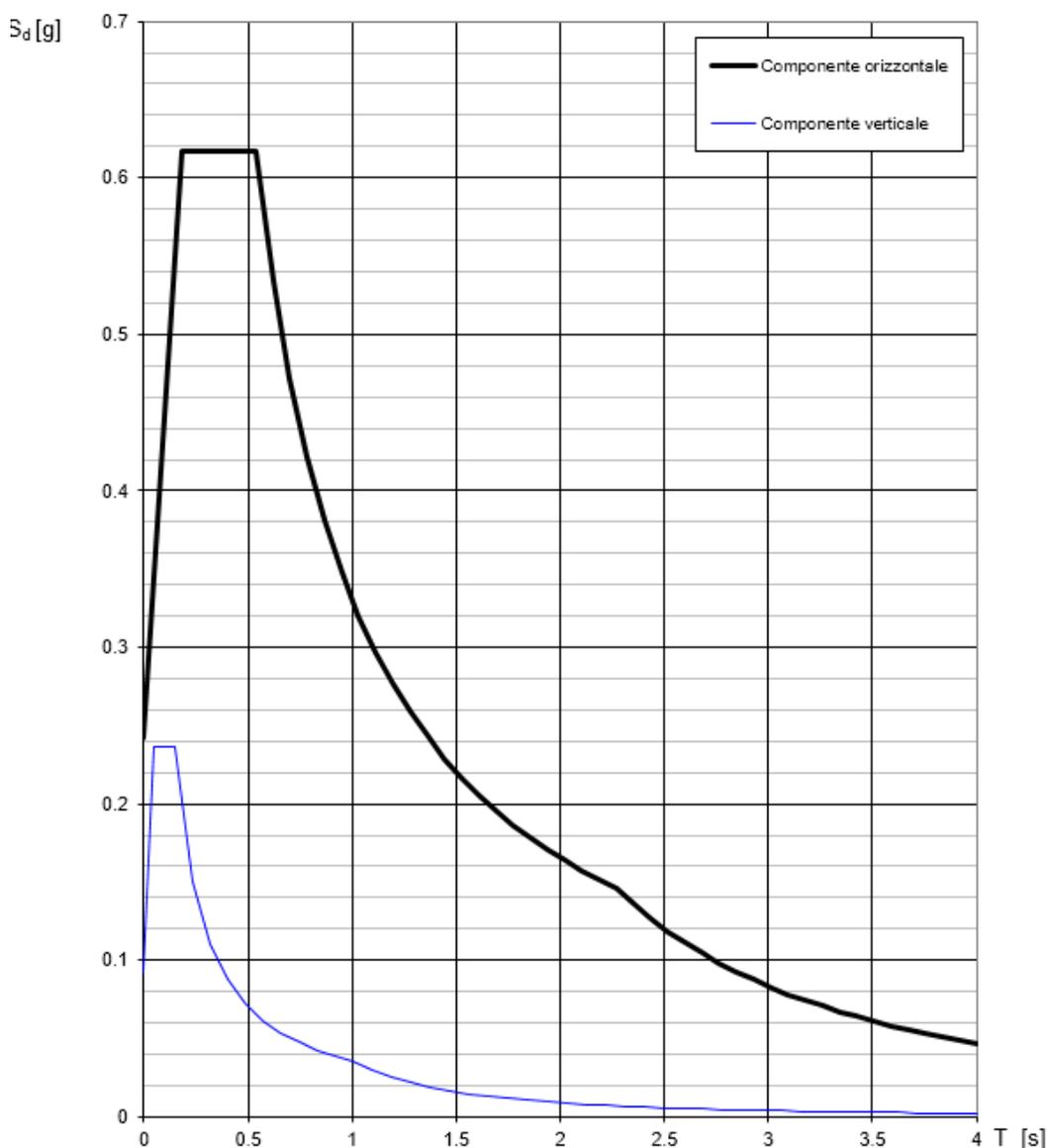
Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.242
T_B	0.179	0.617
T_C	0.536	0.617
	0.619	0.534
	0.701	0.471
	0.784	0.422
	0.867	0.382
	0.949	0.348
	1.032	0.321
	1.114	0.297
	1.197	0.276
	1.280	0.258
	1.362	0.243
	1.445	0.229
	1.527	0.217
	1.610	0.205
	1.693	0.195
	1.775	0.186
	1.858	0.178
	1.940	0.170
	2.023	0.163
	2.106	0.157
	2.188	0.151
T_D	2.271	0.146
	2.353	0.136
	2.436	0.127
	2.518	0.118
	2.600	0.111
	2.683	0.104
	2.765	0.098
	2.847	0.093
	2.930	0.088
	3.012	0.083
	3.094	0.078
	3.177	0.074
	3.259	0.071
	3.341	0.067
	3.424	0.064
	3.506	0.061
	3.588	0.058
	3.671	0.056
	3.753	0.053
	3.835	0.051
	3.918	0.049
	4.000	0.047

Gli spettri di risposta di progetto allo SLV in direzione orizzontale (con $q = 1.0$) e verticale (con $q = 1.0$) sono rappresentati nella figura seguente.

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



Combinazione degli effetti dell'azione sismica

In accordo con il paragrafo 7.3.5. del D.M. 14.01.2008, gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati secondo le seguenti espressioni:

- Sisma in direzione longitudinale "X" $1.0 E_X + 0.3 E_Y + 0.3 E_Z$
- Sisma in direzione trasversale "Y" $0.3 E_X + 1.0 E_Y + 0.3 E_Z$
- Sisma in direzione verticale "Z" $0.3 E_X + 0.3 E_Y + 1.0 E_Z$

Per ciascuna delle precedenti relazioni, gli effetti del sisma sono stati combinati facendo variare opportunamente il segno delle singole sollecitazioni al fine di massimizzare gli sforzi nella struttura.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA</p>					
<p>IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila</p>	<p>COMMESSA L102</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO IV02 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 20 di 45</p>

7 VERIFICHE

Nelle pagine che seguono si riportano le verifiche strutturali previste dalla Normativa di riferimento allo SLU e allo SLE.

7.1 Verifica agli SLU: Pressoflessione e Taglio

Le verifiche a pressoflessione vengono condotte confrontando le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando il corrispondente fattore di sicurezza (CS) come rapporto tra la sollecitazione resistente e la massima agente.

7.1.1 Verifica a pressoflessione

Le verifiche flessionali allo SLU sono state eseguite adottando le seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura sono state dedotte a partire dalle deformazioni utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione.

Per quanto attiene la legge σ - ϵ del calcestruzzo si è utilizzata una curva parabola-rettangolo, considerando solo la porzione compressa e con $\epsilon_{c2}=0,2\%$ ed $\epsilon_{cu}=0,35\%$.

Per quanto riguarda l'acciaio si è assunto un diagramma bilineare elastico-perfettamente elastico finito con $\epsilon_{cu}=1,0\%$.

7.1.2 Verifica a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1992-1-1:2005, per elementi con armatura a taglio verticali.

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

- $V_{Rd,c} = \max \left\{ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d; (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$, resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio
- $V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \vartheta$, valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento
- $V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$, valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA</p>					
<p>IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila</p>	<p>COMMESSA L102</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO IV02 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 21 di 45</p>

- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$ con d in mm
- $\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$
- A_{s1} 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
- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$
- $k_1 = 0,15$
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$
- $v = 0,5$ per calcestruzzi fino a C70/85
- $1 \leq \cot\theta \leq 2,5$
- A_{sw} è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio
- s è il passo delle staffe
- f_{ywd} è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio
- $v_1 = v$ è il coefficiente di riduzione della resistenza del calcestruzzo fessurato per taglio
- α_{cw} è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

7.2 Verifica agli SLE: Limitazione delle Tensioni e Fessurazione

Il controllo delle tensioni nei materiali viene effettuato supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare.

7.2.1 Verifica di fessurazione

In accordo con quanto riportato al paragrafo 4, si adotta il limite $w_1 = 0.2$ mm per tutti gli elementi strutturali analizzati nella presente relazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A	FOGLIO 22 di 45

7.2.2 Verifica delle tensioni di esercizio

In accordo con la normativa ferroviaria, che pone limiti tensionali più severi rispetto a quanto prescritto dal D.M. 14/01/2008, la massima tensione di compressione del cls deve rispettare la limitazione:

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

La massima tensione di trazione dell'acciaio deve rispettare la limitazione:

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA</p>					
<p>IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila</p>	<p>COMMESSA L102</p>	<p>LOTTO 02</p>	<p>CODIFICA D 78 CL</p>	<p>DOCUMENTO IV02 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 23 di 45</p>

8 MODELLO DI CALCOLO

8.1 Generalità

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del MIDAS/CIVIL 2019. Il software è stato impiegato per la modellazione dell'intera opera, finalizzata all'analisi strutturale. Dal modello sono state dedotte, per le combinazioni di calcolo statiche e sismiche descritte in precedenza, le sollecitazioni complessive agenti sull'impalcato al fine di procedere con le verifiche di sicurezza previste dalle normative di riferimento riportate nella specifica relazione di calcolo e pertanto non contenute nel presente documento. Dallo stesso modello sono state poi ricavate le sollecitazioni agenti sulle sottostrutture necessarie ai fini delle verifiche geotecniche del sistema terreno-fondazione e delle verifiche strutturali delle sottostrutture.

8.2 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Nell'ambito del presente paragrafo si riporta una descrizione delle caratteristiche dei software utilizzati per l'effettuazione delle analisi e verifiche strutturali esposte ai precedenti paragrafi.

Nello specifico, l'analisi del comportamento globale delle strutture d'impalcato è stato effettuato con l'ausilio del software MIDAS/CIVIL 2019, distribuito in Italia dalla CSPFea (Padova), di cui si possiede regolare licenza, identificata nello specifico da Key Serial Number n° 4192BE703400F0F1 intestata a PROGIN SPA – CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI.

Per l'esecuzione di verifiche di sezioni in cemento armato si è invece utilizzato il software PresFle+, prodotto e distribuito dalla Concrete srl (Padova), di cui si possiede regolare licenza, identificata nello specifico da chiave USB n° 4552054, intestata a PROGIN SPA - CENTRO DIREZIONALE DI NAPOLI ISOLA F4 - 80143 NAPOLI.

Infine si è ricorso a fogli di calcolo elettronici auto-prodotti, per l'automatizzazione di ulteriori verifiche effettuate quali elementi in acciaio e/o elementi strutturali secondari.

8.3 Modello di calcolo statico e sismico

Il viadotto è stato modellato con elementi monodimensionali rappresentativi rispettivamente:

- delle travi longitudinali a sezione composta;
- dei traversi reticolari di campata;
- dei traversi pieni di testata.
- dei controventi di piano
- delle pile

Elementi di trave simulanti la soletta sono stati disposti in direzione trasversale per modellare correttamente la ripartizione trasversale dei carichi accidentali.

Gli assi di riferimento sono:

- x = asse longitudinale impalcato
- y = asse trasversale impalcato
- z = asse verticale impalcato

L'origine del modello numerico è stata assunta in corrispondenza della Spalla 1 (spalla sx).

Nelle figure seguenti sono rappresentate alcune viste del modello utilizzato.

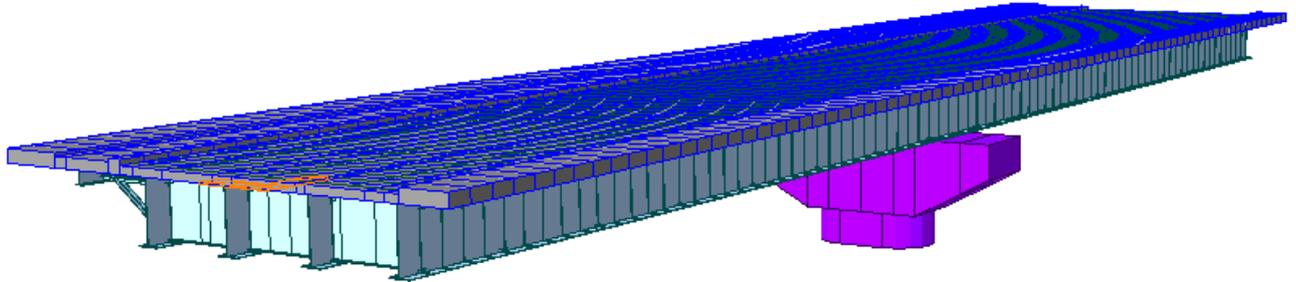


Figura 2 - Modello FEM vista estrusa

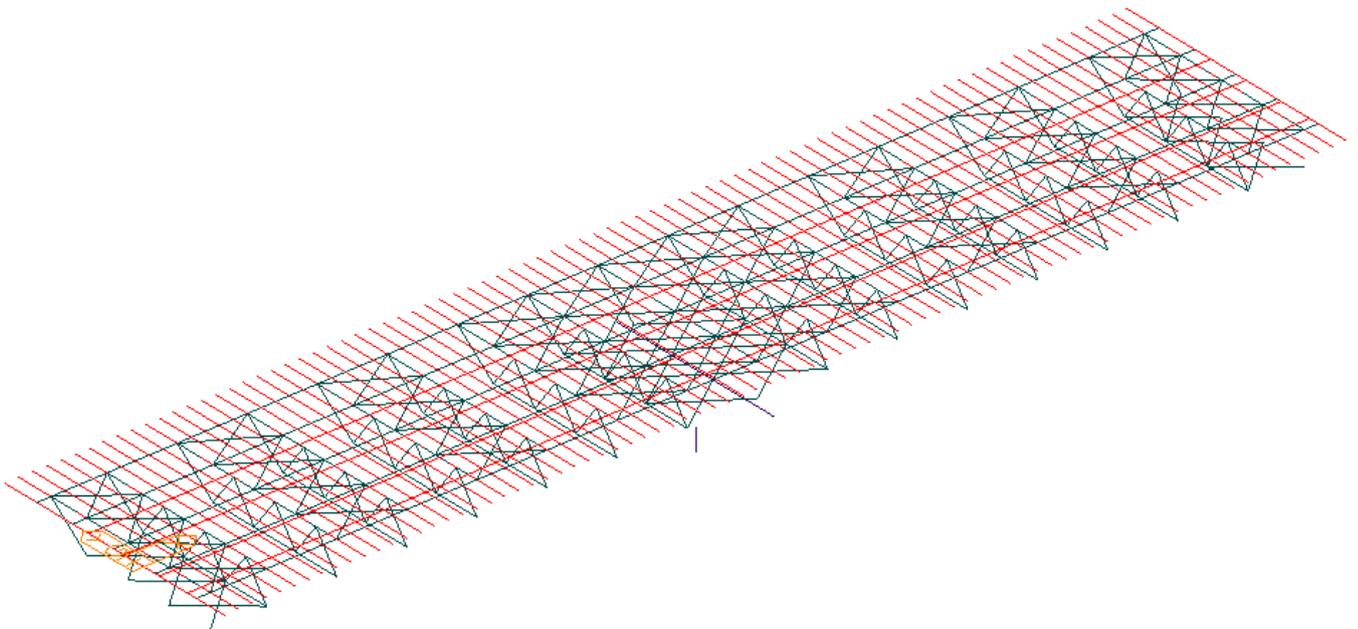


Figura 3 - Modello FEM vista wireframe

Nel modello sono utilizzati le seguenti condizioni di vincolo:

- bracci rigidi tra l'asse delle travi e intradosso;
- elastic link tra intradosso trave e pulvini simulanti gli appoggi fissi o scorrevoli in considerazione dello schema di vincolo riportato al paragrafo 2.1;
- elastic link rigidi tra estradosso pulvino e testa pila;
- vincoli fissi (incastri) alla base delle pile;

L'analisi sismica è stata condotta mediante analisi dinamica modale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

8.4 Analisi dei carichi

8.4.1 Peso proprio elementi strutturali

I pesi degli elementi strutturali sono dedotti utilizzando un peso di volume del calcestruzzo pari a 25 kN/m³.

8.4.2 Carichi trasmessi dall'impalcato (scarichi sugli appoggi)

Nelle tabelle seguenti si riportano gli scarichi derivanti dall'impalcato ed applicati a quota testa pila, i valori delle risultanti delle azioni trasmesse dagli impalcato agli apparecchi di appoggio di estremità sono indicati con:

- T_L = risultante delle azioni orizzontali dirette lungo l'asse longitudinale dell'impalcato (taglio longitudinale);
- T_T = risultante delle azioni orizzontali dirette lungo l'asse trasversale dell'impalcato (taglio trasversale);
- N = risultante delle azioni verticali (sforzo normale);
- M_T = risultante delle azioni flettenti che provocano flessione nel piano ortogonale all'asse longitudinale dell'impalcato (momento trasversale);
- M_L = risultante delle azioni flettenti che provocano flessione nel piano parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato (momento longitudinale).

Pila P1

Load	PILA 1																			
	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)				
ULS_A1_Gr1	5	M	0	0	3661	6	UL	0	-251	5633	7	UL	0	-255	6318	8	M	0	0	10192
ULS_A1_Gr2a	5	M	0	0	3164	6	UL	0	-247	4679	7	UL	0	-247	5351	8	M	0	0	8942
ULS_A1_Gr2b	5	M	0	0	3122	6	UL	0	-321	4656	7	UL	0	-327	5354	8	M	0	0	8958
ULS_A1 Q5c	5	M	0	0	2971	6	UL	0	-418	4639	7	UL	0	-425	5460	8	M	0	0	9426
ULS_A1_Gr1	5	M	0	0	2449	6	UL	0	0	3514	7	UL	0	0	4236	8	M	0	0	8234
ULS_A1_Gr2a	5	M	0	0	2623	6	UL	0	4	3528	7	UL	0	9	4160	8	M	0	0	7862
ULS_A1_Gr2b	5	M	0	0	2581	6	UL	0	-70	3505	7	UL	0	-72	4163	8	M	0	0	7879
ULS_A1 Q5c	5	M	0	0	2609	6	UL	0	0	3516	7	UL	0	0	4151	8	M	0	0	7851
ULS_A1 Qf	5	M	0	0	2439	6	UL	0	-134	3501	7	UL	0	-119	4366	8	M	0	0	8852
ULS_A1 Q5s	5	M	0	0	2660	6	UL	0	-223	3484	7	UL	0	-199	4178	8	M	0	0	7931
ULS_A1_Gr1_Gfav	5	M	0	0	2917	6	UL	0	-251	4660	7	UL	0	-255	5173	8	M	0	0	8032
ULS_A1_Gr2a_Gfav	5	M	0	0	2419	6	UL	0	-247	3705	7	UL	0	-247	4205	8	M	0	0	6781
ULS_A1_Gr2b_Gfav	5	M	0	0	2378	6	UL	0	-321	3682	7	UL	0	-327	4208	8	M	0	0	6798
ULS_A1 Q5c_Gfav	5	M	0	0	2227	6	UL	0	-418	3665	7	UL	0	-425	4314	8	M	0	0	7266
ULS_A1_Gr1_Gfav	5	M	0	0	1705	6	UL	0	0	2541	7	UL	0	0	3090	8	M	0	0	6074
ULS_A1_Gr2a_Gfav	5	M	0	0	1879	6	UL	0	4	2554	7	UL	0	9	3014	8	M	0	0	5702
ULS_A1_Gr2b_Gfav	5	M	0	0	1837	6	UL	0	-70	2531	7	UL	0	-72	3017	8	M	0	0	5719
ULS_A1 Q5c_Gfav	5	M	0	0	1865	6	UL	0	0	2542	7	UL	0	0	3005	8	M	0	0	5691
ULS_A1 Qf_Gfav	5	M	0	0	1695	6	UL	0	-134	2527	7	UL	0	-119	3220	8	M	0	0	6692
ULS_A1 Q5s_Gfav	5	M	0	0	1916	6	UL	0	-223	2510	7	UL	0	-199	3032	8	M	0	0	5771
SLV-Ex+0.3Ey+0.3Ez	5	M	0	0	3560	6	UL	0	1140	3637	7	UL	0	1129	3781	8	M	0	0	6848
SLV-0.3Ex+Ey+0.3Ez	5	M	0	0	3347	6	UL	0	3043	3258	7	UL	0	3147	3598	8	M	0	0	7002
SLS_RA_Gr1_Gfav	5	M	0	0	2670	6	UL	0	-167	4116	7	UL	0	-170	4609	8	M	0	0	7428
SLS_RA_Gr2a_Gfav	5	M	0	0	2302	6	UL	0	-164	3408	7	UL	0	-164	3893	8	M	0	0	6502
SLS_RA_Gr2b_Gfav	5	M	0	0	2271	6	UL	0	-219	3391	7	UL	0	-224	3894	8	M	0	0	6514
SLS_RA Q5c_Gfav	5	M	0	0	2165	6	UL	0	-279	3381	7	UL	0	-284	3971	8	M	0	0	6855
SLS_RA_Gr1_Gfav	5	M	0	0	1764	6	UL	0	0	2543	7	UL	0	0	3070	8	M	0	0	5986
SLS_RA_Gr2a_Gfav	5	M	0	0	1893	6	UL	0	3	2553	7	UL	0	6	3014	8	M	0	0	5711
SLS_RA_Gr2b_Gfav	5	M	0	0	1862	6	UL	0	-52	2536	7	UL	0	-53	3016	8	M	0	0	5723
SLS_RA Q5c_Gfav	5	M	0	0	1882	6	UL	0	0	2544	7	UL	0	0	3007	8	M	0	0	5702

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

PILA 1																
Load	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	Node	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)
SLS_RA_Qf_Gfav	5 M	0	0	1774	6 UL	0	-89	2535	7 UL	0	-80	3151	8 M	0	0	6373
SLS_RA_Q5s_Gfav	5 M	0	0	1922	6 UL	0	-148	2523	7 UL	0	-133	3025	8 M	0	0	5759
SLS_FR_Gr1	5 M	0	0	2310	6 UL	0	0	3429	7 UL	0	0	3904	8 M	0	0	6653
SLS_FR_Gr1	5 M	0	0	1826	6 UL	0	0	2544	7 UL	0	0	3056	8 M	0	0	5936
SLS_FR_Q5s	5 M	0	0	1931	6 UL	0	-30	2544	7 UL	0	-27	3015	8 M	0	0	5739
SLS_FR_Qf	5 M	0	0	1819	6 UL	0	0	2550	7 UL	0	0	3110	8 M	0	0	6202
SLS_QP	5 M	0	0	1933	6 UL	0	0	2549	7 UL	0	0	3012	8 M	0	0	5735

8.4.3 Calcolo delle sollecitazioni in testa pali

Per ricavare le sollecitazioni agenti nei pali di fondazione è stato considerato un modello di plinto rigido, in cui l'azione assiale nei pali viene valutata assumendo una rotazione rigida del plinto (palo impedito di ruotare in testa), tenendo poi conto, in maniera approssimata mediante la definizione di un apposito coefficiente, degli effetti flessionali sui pali dovuti ai carichi trasmessi dalla spalla, come mostrato nelle immagini riportate alla pagina successiva.

Lo sforzo normale nei pali è quindi calcolato come segue:

$$N_i = \frac{N_{Ed}}{n} \pm \frac{(M_{Ed})d_i}{\sum_i d_i^2}$$

Per quanto riguarda le sollecitazioni orizzontali in testa palo, si assume che le azioni di taglio di ripartiscano uniformemente tra i pali, risultando

$$T(x, y) = \frac{\sqrt{H_l^2 + H_t^2}}{n}$$

dove H_l, H_t sono le forze orizzontali longitudinale e trasversale agenti al baricentro della palificata.

Il momento agente a quota testa pali è direttamente proporzionale al taglio mediante un coefficiente α (espresso in metri):

$$M_i(V_{Ed}) = \alpha \frac{V_{Ed}}{n}$$

Il coefficiente α dipende principalmente dalle caratteristiche di rigidità relative palo-terreno e, generalmente, fornisce un valore delo momento sollecitante conservativo. Fissato il diametro del palo, α dipende quindi dalla rigidità del terreno. Per l'opera in esame sono quindi definiti i seguenti valori:

D_{palo} [m]	α [m]
1.5	2.35

Si rimanda alla relazione geotecnica per maggiori dettagli relativi al calcolo di tale parametro.

Le azioni derivanti da questo modello sono quindi confrontate con la curve di capacità portante dei pali di fondazione riportata nella relazione geotecnica.

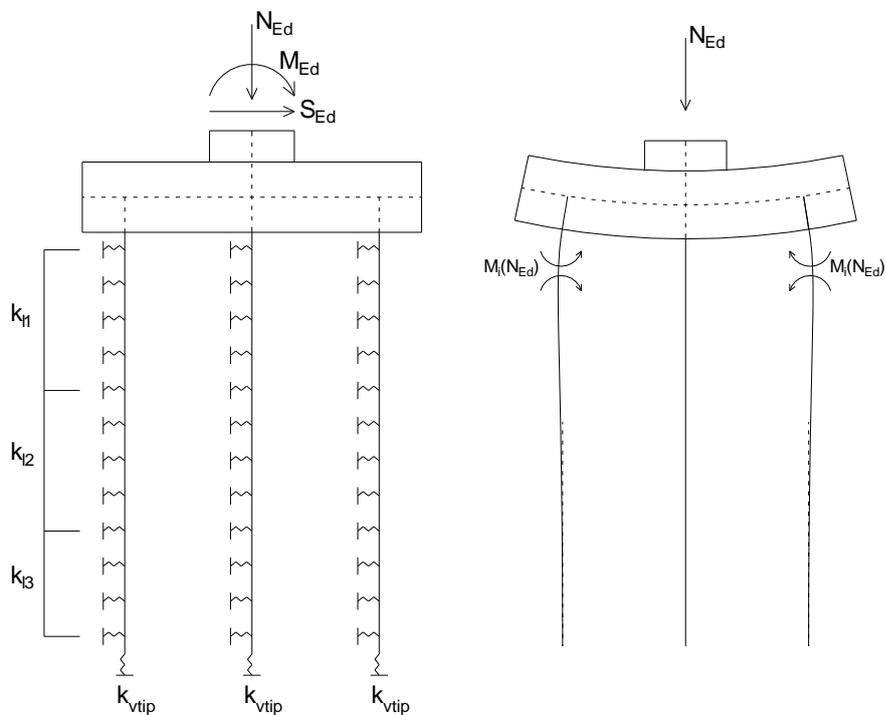


Figura 1 – Modello del plinto su pali ed effetto flessionale su pali dovuto al carico assiale agente sul plinto (a destra)

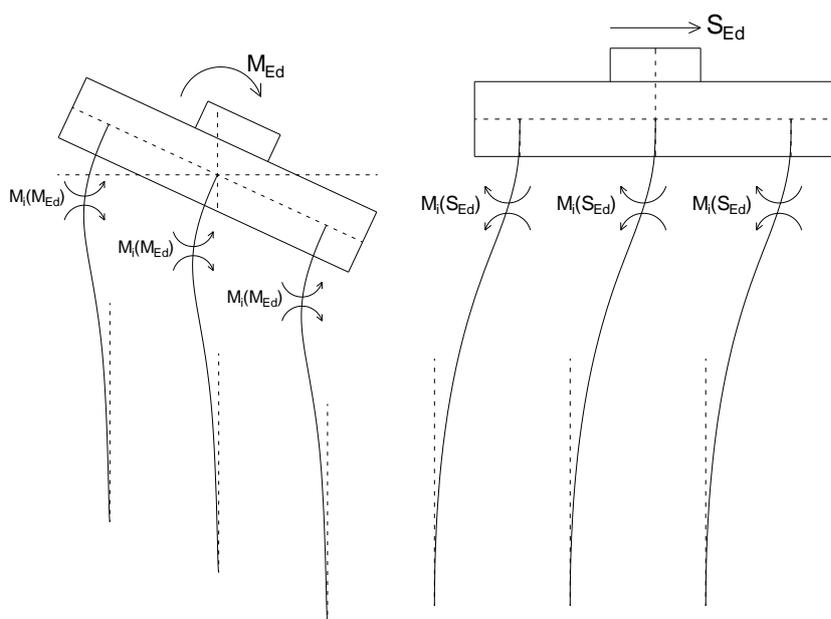


Figura 2 – Effetto flessionale sui pali dovuti al momento flettente (a sinistra) e al taglio (a destra) agenti sul plinto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA LI02	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A	FOGLIO 28 di 45

8.5 COMBINAZIONI DI CARICO

Si riportano di seguito le combinazioni di carico utilizzate nei calcoli. Ai fini delle verifiche agli stati limite, in accordo con le NTC08, si definiscono le seguenti combinazioni di:

- Combinazione FONDAMENTALE, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{G3} G_3 + \gamma_P P + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \Psi_{02} \gamma_{Q2} Q_{k2} + \Psi_{03} \gamma_{Q3} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione RARA, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + G_3 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} Q_{k2} + \Psi_{03} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione FREQUENTE, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + G_3 + P + \Psi_{11} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione QUASI PERMANENTE, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + G_3 + P + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione SISMICA, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica:

$$E + G_1 + G_3 + P + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \Psi_{23} Q_{k3} + \dots$$

Nelle combinazioni per le verifiche allo stato limite di esercizio (SLE), ovvero quelle rare, frequenti e quasi permanenti, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 . Le verifiche agli stati limite ultimi sono eseguite facendo riferimento allo stato limite ultimo di tipo strutturale STR ovvero per il raggiungimento della resistenza ultima negli elementi strutturali.

Come anticipato precedentemente gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_i \Psi_{2i} \times Q_{ki}$$

Il valore assunto per il coefficiente Ψ_{2i} per i carichi mobili è pari a $\Psi_{2i} = 0.0$.

Le combinazioni allo stato limite ultimo SLU fanno riferimento in questa relazione al solo gruppo denominato STR poiché le verifiche riguardano solo l'impalcato.

I coefficienti di combinazione γ_G , γ_Q e ψ sono riepilogati nei paragrafi seguenti.

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

8.5.1 Gruppi di carico

Nella tabella seguente, in accordo a quanto specificato in tabella 5.1.3.12 del D.M.14/01/2008., sono esplicitati i gruppi di carico considerati per i carichi accidentali da traffico.

Tabella 7 – Valori caratteristici delle azioni da traffico

<i>Carichi sulla carreggiata</i>						<i>Carichi su marciapiedi e piste ciclabili</i>
Gruppo di azioni	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura q_3	Forza centrifuga q_4	
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione $2,5 \text{ kN/m}^2$
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$			Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(*) Ponti di 3^a categoria
 (**) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)
 (***) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

Coerentemente nel seguito si fa riferimento ai gruppi di azioni da traffico 1, 2a e 2b.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

8.5.2 Coefficienti parziali e di combinazione

Si utilizzano i coefficienti parziali di sicurezza e i coefficienti di combinazione di seguito riportati.

Tabella 8 – Coefficienti parziali di sicurezza agli SLU

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

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 9 – Coefficienti di combinazione

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
Vento q_5	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
Neve q_5	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Temperatura	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	T_k	0,6	0,6	0,5

8.5.3 Combinazioni agli SLU

Di seguito si esplicitano i coefficienti utilizzati per le singole combinazioni di carico rilevanti per le verifiche strutturali dell'impalcato agli SLU.

Combinazione		G1	G2	E1	E2	E3	Gr.1	Gr.2a	Gr.2b	Q5	Q6	Q7	Q8
A1 STR	Gr.1	1.35	1.35	0	1.2	0.72	1.35	0	0	0.9	0	0	0
	Gr.2a	1.35	1.35	0	1.2	0.72	0	1.35	0	0.9	0	0	0
	Gr.2b	1.35	1.35	0	1.2	0.72	0	0	1.35	0.9	0	0	0
	Q5	1.35	1.35	0	1.2	0.72	0	0	1	1.5	0	0	0
SISMA	SLV Z	1	1	0	1	0.5	0		0	0	1	0	0
ECCEZIONALE	-	1	1	0	1	0.5	0		0	0	0	0	1

8.5.4 Combinazioni agli SLE

Di seguito si esplicitano i coefficienti utilizzati per le singole combinazioni di carico rilevanti per le verifiche dell'impalcato agli SLE.

Combinazione		G1	G2	E1	E2	E3	Gr.1	Gr.2a	Gr.2b	Q5
RARA	Gr.1	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0.6
	Gr.2a	1	1	0	1	0.6	0	1	0	0.6
	Gr.2b	1	1	0	1	0.6	0	0	1	0.6
FREQUENTE	Gr.2a	1	1	0	1	0.5	0	1	0	0
	Gr.2b	1	1	0	1	0.5	0	0	1	0
QUASI PERMANENTE	-	1	1	0	1	0.5	0	0	0	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

9 ANALISI E VERIFICHE DELLE PILE

Di seguito si riportano le sollecitazioni nelle pile e le verifiche di sicurezza a presso-flessione e a taglio effettuate mediante post-processore implementato nel software di calcolo utilizzato.

Come mostrato nel seguito le verifiche delle pile risultano soddisfatte avendo assunto come armatura massima alla base della pila:

- Armatura Longitudinale: $60\Phi 24$ lungo il perimetro + $60\Phi 20$ (fuori calcolo) di registro interno collegato a quello esterno con legature.
- Armatura Trasversale: Staffe $\Phi 16/20$ (4 braccia resistenti).

9.1 Sollecitazioni base Pila

Nelle tabelle seguenti si riportano le sollecitazioni a base pila restituite dalle analisi svolte per ciascuna delle combinazioni di calcolo esaminate. In particolare si è indicato con:

- V_L = risultante delle azioni orizzontali dirette lungo l'asse longitudinale dell'impalcato (taglio longitudinale);
- V_T = risultante delle azioni orizzontali dirette lungo l'asse trasversale dell'impalcato (taglio trasversale);
- N = risultante delle azioni verticali (sforzo normale);
- M_T = risultante delle azioni flettenti che provocano flessione nel piano ortogonale all'asse longitudinale dell'impalcato (momento trasversale);
- M_L = risultante delle azioni flettenti che provocano flessione nel piano parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato (momento longitudinale).

Pila P1

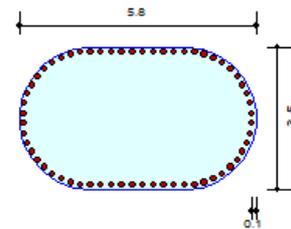
Element	Load	N (kN)	VL (kN)	VT (kN)	ML (kN*m)	MT (kN*m)
11254	ULS_A1_Gr1(max)	26240	0	40	0	24956
11254	ULS_A1_Gr1(min)	31109	0	145	0	41806
11254	ULS_A1_Gr1_Gfav(max)	19420	0	10	0	17719
11254	ULS_A1_Gr1_Gfav(min)	24289	0	196	0	34568
11254	ULS_A1_Gr2a(max)	25888	0	9	0	25766
11254	ULS_A1_Gr2a(min)	28410	0	114	0	34245
11254	ULS_A1_Gr2a_Gfav(max)	19068	0	60	0	18528
11254	ULS_A1_Gr2a_Gfav(min)	21590	0	165	0	27008
11254	ULS_A1_Gr2b(max)	25843	0	137	0	26717
11254	ULS_A1_Gr2b(min)	28366	0	242	0	35197
11254	ULS_A1_Gr2b_Gfav(max)	19023	0	187	0	19480
11254	ULS_A1_Gr2b_Gfav(min)	21546	0	293	0	27959
11254	ULS_A1_Q5c_Gfav(max)	19431	0	337	0	23522
11254	ULS_A1_Q5c_Gfav(min)	21954	0	443	0	32001
11254	SLV-0.3Ex+Ey+0.3Ez	16322	0	6008	0	24941
11254	SLV-Ex+0.3Ey+0.3Ez	15125	0	2806	0	6927
11254	SLS_RA_Gr1(max)	19233	0	72	0	17885
11254	SLS_RA_Gr1(min)	22839	0	65	0	30366
11254	SLS_RA_Gr2a(max)	18972	0	35	0	18485
11254	SLS_RA_Gr2a(min)	20841	0	43	0	24766
11254	SLS_RA_Gr2b(max)	18939	0	59	0	19190
11254	SLS_RA_Gr2b(min)	20808	0	137	0	25471
11254	SLS_FR_Gr1(all)	21256	0	318	0	25656
11254	SLS_FR_Gr1(max)	19388	0	318	0	19375
11254	SLS_FR_Gr1(min)	21256	0	239	0	25656
11254	SLS_QP	18953	0	259	0	18804

9.2 Verifiche Pila P1

Nella scheda seguente sono riportate le verifiche strutturali delle pile.

Design Condition

Design Code	Eurocode2-2:05		
Unit System	kN, m		
Member Number	11254 (PM), 11254 (Shear)		
Material Data	fck = 32000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa		
Column Height	1.65 m		
Section Property	Fusto pila pieno (No : 43)		
Rebar Pattern	Pos 1	Pos 2	Pos 3
Layer 1	10-P24	20-P24	--
Total Rebar Area Ast = 0.02712 m ² (Rhost = 0.0015)			



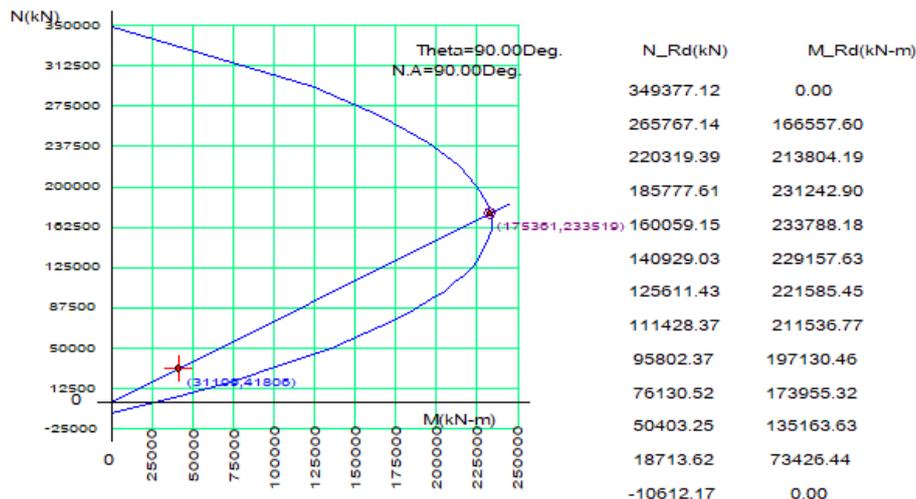
Applied Loads

Load Combination	8- AT (I) Point		
N _{Ed}	= 31108.7 kN,	M _{Edy}	= 0.00000,
		M _{Edz}	= -4.2e+004,
		M _{Ed}	= 41805.6 kN-m

Axial Forces and Moments Resistance Check

Concentric Max. Axial Load	N _{Rdmax}	= 3.5e+005 kN	
Axial Load Ratio	N _{Ed} /N _{Rd}	= 31108.7 / 1.8e+005	= 0.177 < 1.000 O.K
Moment Ratio	M _{Edy} /M _{Rdy}	= 0.00000 / 0.00000	= 0.000 < 1.000 O.K
	M _{Edz} /M _{Rdz}	= -4.2e+004 / 2.3e+005	= 0.179 < 1.000 O.K
	M _{Ed} /M _{Rd}	= 41805.6 / 2.3e+005	= 0.179 < 1.000 O.K

P-M Interaction Diagram



Shear Force Resistance Check

Applied Shear Resistance	V_{Edy}	= 6007.89,	V_{Edz}	= 0.00000 kN (Load Combination 21)
Shear Resistance (Y-Direction)	V_{Rdcy}	= 4850.80,	V_{Rdsy}	= 8382.34 kN (4.0-P16 @200)
Shear Resistance (Z-Direction)	V_{Rdcz}	= 5512.53,	V_{Rdsz}	= 5489.99 kN (4.0-P16 @200)
Shear Ratio	V_{Ed}/V_{Rd}	= 6007.89 / 8382.34		= 0.717 < 1.000 O.K

Stress Check

Allowable Stress(sa)	S_a	= 17600.0,		
Stress(s)	S	= 3489.94,		
Stress Ratio(s/sa)	S/S_a	= 3489.94 / 17600.0		= 0.198 < 1.000 O.K

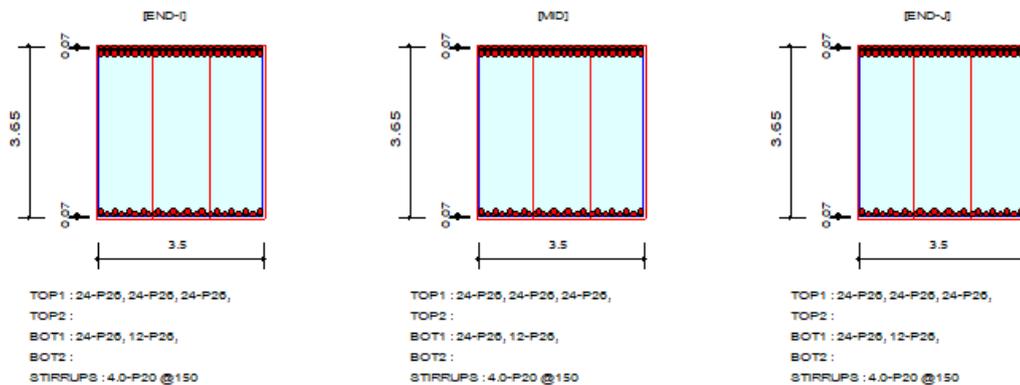
9.3 Verifiche Pulvino P1

Nella scheda seguente sono riportate le verifiche strutturali del pulvino (sezione di attacco pila-pulvino)

Design Information

Design Code	: Eurocode2-2:05
Unit System	: kN, m
Material Data	: $f_{ck} = 32000$, $f_{yk} = 450000$, $f_{yw} = 450000$ KPa
Beam Span	: 1.15 m
Section Property	: Pulvino testa (No : 42)

Section Diagram



Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
Negative Moment (M _{Ed})	37516.76	34241.10	27812.72
(-) Load Combination No.	8-	8-	8-
Factored Strength (M _{Rd})	50855.89	50855.89	50855.89
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.7377	0.6733	0.5469
Positive Moment (M _{Ed})	506.03	616.35	671.50
(+) Load Combination No.	5+	5+	5+
Factored Strength (M _{Rd})	26111.04	26111.04	26111.04
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.0194	0.0236	0.0257
Using Rebar Top (A _{s_top})	0.0382	0.0382	0.0382
Using Rebar Bot (A _{s_bot})	0.0191	0.0191	0.0191

Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	8-	8-	8-
Factored Shear Force (V _{Ed})	11464.89	11322.34	11037.24
Shear Strength by Conc.(V _{Rdc})	3941.54	3941.54	3941.54
Shear Strength by Rebar.(V _{Rds})	18029.80	18029.80	18029.80
Using Shear Reinf. (A _{sw})	0.0013	0.0013	0.0013
Using Stirrups Spacing	4.0-P20 @150	4.0-P20 @150	4.0-P20 @150
Check Ratio	0.6359	0.6280	0.6122

Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	26-	26-	23-	23-	23-	23-
Stress(s)	2811.91	32423.44	2802.31	32312.83	2275.93	26243.26
Allowable Stress(sa)	3023.81	337500.00	3023.81	337500.00	3023.81	337500.00
Stress Ratio(s/sa)	0.9299	0.0961	0.9267	0.0957	0.7527	0.0778

Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	26-	23-	23-
Crack Width(w)	0.000	0.000	0.000
Allowable Crack Width(wa)	0.000	0.000	0.000
Check Ratio(w/wa)	0.1488	0.1483	0.1205

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

10 ANALISI E VERIFICA DELLE FONDAZIONI

Nei seguenti paragrafi sono riportate le verifiche strutturali e geotecniche del sistema fondazionale.

10.1 Sollecitazioni intradosso plinto

Le sollecitazioni ad intradosso plinto sono state ottenute a partire dalle sollecitazioni agenti a base pila derivanti dal modello di calcolo, e riportate al paragrafo 9.1, tenendo conto del peso del plinto di fondazione e dell'eccentricità tra le due sezioni (spessore del plinto). In condizioni sismiche si è tenuto conto dell'inerzia del plinto.

Tabella 10 – Sollecitazioni a quota intradosso plinto

Load	N (kN)	VL (kN)	VT (kN)	ML (kN*m)	MT (kN*m)
ULS_A1_Gr1(max)	38390	0	40	0	25051
ULS_A1_Gr1(min)	43259	0	145	0	42146
ULS_A1_Gr1_Gfav(max)	28420	0	10	0	17743
ULS_A1_Gr1_Gfav(min)	33289	0	196	0	35028
ULS_A1_Gr2a(max)	38038	0	9	0	25787
ULS_A1_Gr2a(min)	40560	0	114	0	34514
ULS_A1_Gr2a_Gfav(max)	28068	0	60	0	18669
ULS_A1_Gr2a_Gfav(min)	30590	0	165	0	27396
ULS_A1_Gr2b(max)	37993	0	137	0	27039
ULS_A1_Gr2b(min)	40516	0	242	0	35766
ULS_A1_Gr2b_Gfav(max)	28023	0	187	0	19921
ULS_A1_Gr2b_Gfav(min)	30546	0	293	0	28648
ULS_A1_Q5c_Gfav(max)	28431	0	337	0	24315
ULS_A1_Q5c_Gfav(min)	30954	0	443	0	33042
SLV-0.3Ex+Ey+0.3Ez	25322	655	8191	2359	46930
SLV-Ex+0.3Ey+0.3Ez	24125	2183	3461	7863	15884
SLS_RA_Gr1(max)	28233	0	72	0	18054
SLS_RA_Gr1(min)	31839	0	65	0	30519
SLS_RA_Gr2a(max)	27972	0	35	0	18568
SLS_RA_Gr2a(min)	29841	0	43	0	24866
SLS_RA_Gr2b(max)	27939	0	59	0	19329
SLS_RA_Gr2b(min)	29808	0	137	0	25793
SLS_FR_Gr1(all)	30256	0	318	0	26403
SLS_FR_Gr1(max)	28388	0	318	0	20122
SLS_FR_Gr1(min)	30256	0	239	0	26219
SLS_QP	27953	0	259	0	19412

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

Si riportano nel seguito le coordinate dei pali di fondazione e per ogni combinazione di carico, le sollecitazioni nei pali:

Comb./PileN.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
z	-4.50	-4.50	-4.50	0.00	0.00	0.00	4.50	4.50	4.50
y	-4.50	-4.50	-4.50	0.00	0.00	0.00	4.50	4.50	4.50
z²	20.25	20.25	20.25	0.00	0.00	0.00	20.25	20.25	20.25
y²	20.25	20.25	20.25	0.00	0.00	0.00	20.25	20.25	20.25
W_y	-27.00	-27.00	-27.00	0.00	0.00	0.00	27.00	27.00	27.00
W_z	-27.00	-27.00	-27.00	0.00	0.00	0.00	27.00	27.00	27.00

Tabella 11 – Numero di pali e coordinate rispetto al baricentro del plinto

Piles Axial Forces for Combinations									
Load	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ULS_A1_Gr1(max)	3338	3338	3338	4266	4266	4266	5193	5193	5193
ULS_A1_Gr1(min)	3246	3246	3246	4807	4807	4807	6367	6367	6367
ULS_A1_Gr1_Gfav(max)	2501	2501	2501	3158	3158	3158	3815	3815	3815
ULS_A1_Gr1_Gfav(min)	2401	2401	2401	3699	3699	3699	4996	4996	4996
ULS_A1_Gr2a(max)	3271	3271	3271	4226	4226	4226	5182	5182	5182
ULS_A1_Gr2a(min)	3228	3228	3228	4507	4507	4507	5785	5785	5785
ULS_A1_Gr2a_Gfav(max)	2427	2427	2427	3119	3119	3119	3810	3810	3810
ULS_A1_Gr2a_Gfav(min)	2384	2384	2384	3399	3399	3399	4414	4414	4414
ULS_A1_Gr2b(max)	3220	3220	3220	4221	4221	4221	5223	5223	5223
ULS_A1_Gr2b(min)	3177	3177	3177	4502	4502	4502	5826	5826	5826
ULS_A1_Gr2b_Gfav(max)	2376	2376	2376	3114	3114	3114	3851	3851	3851
ULS_A1_Gr2b_Gfav(min)	2333	2333	2333	3394	3394	3394	4455	4455	4455
ULS_A1_Q5c_Gfav(max)	2258	2258	2258	3159	3159	3159	4060	4060	4060
ULS_A1_Q5c_Gfav(min)	2216	2216	2216	3439	3439	3439	4663	4663	4663
SLV-0.3Ex+Ey+0.3Ez	988	988	988	2814	2814	2814	4639	4639	4639
SLV-Ex+0.3Ey+0.3Ez	1801	1801	1801	2681	2681	2681	3560	3560	3560
SLS_RA_Gr1(max)	2468	2468	2468	3137	3137	3137	3806	3806	3806
SLS_RA_Gr1(min)	2407	2407	2407	3538	3538	3538	4668	4668	4668
SLS_RA_Gr2a(max)	2420	2420	2420	3108	3108	3108	3796	3796	3796
SLS_RA_Gr2a(min)	2395	2395	2395	3316	3316	3316	4237	4237	4237
SLS_RA_Gr2b(max)	2388	2388	2388	3104	3104	3104	3820	3820	3820
SLS_RA_Gr2b(min)	2357	2357	2357	3312	3312	3312	4267	4267	4267
SLS_FR_Gr1(all)	2384	2384	2384	3362	3362	3362	4340	4340	4340
SLS_FR_Gr1(max)	2409	2409	2409	3154	3154	3154	3899	3899	3899
SLS_FR_Gr1(min)	2391	2391	2391	3362	3362	3362	4333	4333	4333
SLS_QP	2387	2387	2387	3106	3106	3106	3825	3825	3825

Tabella 12 – Sforzi assiali testa pali

Load	N_{min}	N_{max}	V_{max}	αM	M_{max}
	[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[kNm]
ULS_A1_Gr1(max)	3338	5193	4	2.4	11
ULS_A1_Gr1(min)	3246	6367	16	2.4	38
ULS_A1_Gr1_Gfav(max)	2501	3815	1	2.4	3
ULS_A1_Gr1_Gfav(min)	2401	4996	22	2.4	51
ULS_A1_Gr2a(max)	3271	5182	1	2.4	2
ULS_A1_Gr2a(min)	3228	5785	13	2.4	30
ULS_A1_Gr2a_Gfav(max)	2427	3810	7	2.4	16
ULS_A1_Gr2a_Gfav(min)	2384	4414	18	2.4	43
ULS_A1_Gr2b(max)	3220	5223	15	2.4	36
ULS_A1_Gr2b(min)	3177	5826	27	2.4	63
ULS_A1_Gr2b_Gfav(max)	2376	3851	21	2.4	49
ULS_A1_Gr2b_Gfav(min)	2333	4455	33	2.4	77
ULS_A1_Q5c_Gfav(max)	2258	4060	37	2.4	88
ULS_A1_Q5c_Gfav(min)	2216	4663	49	2.4	116
SLV-0.3Ex+Ey+0.3Ez	988	4639	913	2.4	2147
SLV-Ex+0.3Ey+0.3Ez	1801	3560	455	2.4	1069
SLS_RA_Gr1(max)	2468	3806	8	2.4	19
SLS_RA_Gr1(min)	2407	4668	7	2.4	17
SLS_RA_Gr2a(max)	2420	3796	4	2.4	9
SLS_RA_Gr2a(min)	2395	4237	5	2.4	11
SLS_RA_Gr2b(max)	2388	3820	7	2.4	15
SLS_RA_Gr2b(min)	2357	4267	15	2.4	36
SLS_FR_Gr1(all)	2384	4340	35	2.4	83
SLS_FR_Gr1(max)	2409	3899	35	2.4	83
SLS_FR_Gr1(min)	2391	4333	27	2.4	63
SLS_QP	2387	3825	29	2.4	68
	988	6367	913		2147

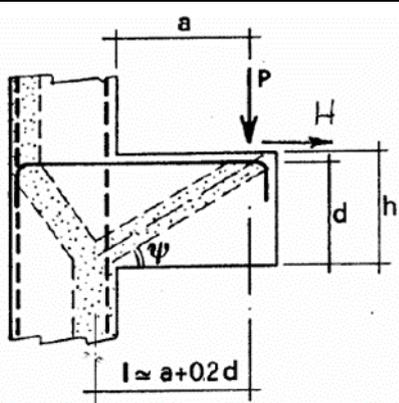
Tabella 13 – Sollecitazione nei pali (N,V,M)

10.2 Verifica plinto di fondazione

Il tacco anteriore del plinto di fondazione è stato verificato ipotizzando un meccanismo di tirante puntone.

La verifica è stata eseguita in corrispondenza del palo più sollecitato (generalmente quello di spigolo).

VERIFICA MENSOLE TOZZE - MECCANISMO TIRANTE PUNTONE secondo Circ 617-09/ C4.1.2.1.5



P, H : Carichi Esterni di Progetto (P_{ED}, H_{ED})
Pr: Portanza mensola in termini di resistenza dell'armatura metallica

$$P_R = P_{Rs} = \left(A_s f_{yd} - H_{Ed} \right) \frac{1}{\lambda} \quad \lambda = ctg\psi \approx l / (0,9d).$$

Pr : Portanza mensola in termini di resistenza della Biella compressa

CONDIZIONI DI VERIFICA

$$P_{Rc} = 0,4 b d f_{cd} \frac{c}{1 + \lambda^2} \geq P_{Rs} \quad P_{Rc} \geq P_{Rs} \quad P_R \geq P_{Ed}$$

Dati di progetto

Ldiff(m)	4.50	m	Lunghezza di diffusione
b(m)=	1.00	m	dimensione trasversale di verifica mensola
N _{Ed} (KN) =	6367	KN	Sforzo normale massimo pali
P _{Ed} (KN) =	1415	KN	Carico complessivo VERTICALE diffuso
H _{Ed} (KN) =	0	KN	Carico complessivo ORIZZONTALE sulla fascia di dimensione b
a(m) =	1.30	m	distanza P da incastro
h(m) =	2.00	m	spessore mensola
d(m) =	0.10	m	copriferro riferito al baricentro delle armature complessive in trazione
d(m) =	1.90	m	altezza utile
l(m) =	1.68	m	a+0,2d
l =	0.98		$\lambda = ctg\psi \cong l / (0,9d)$.

Tipi di mensola (Valutazione coefficiente c): sbalzi di piastre (no staffatura)

c(m) = 1.00

Caratteristiche Materiali

fcd =	14.1	MPa	Calcestruzzo
fyd =	391.3	MPa	Acciaio

Caratteristiche Armature di Progetto

Registro tipo	R1				
n° R1=	1	f1(mm) =	26.0	p1(cm) =	20.0
Af i (mm ²) =	530.93	nb tot 1=	5.0	Af TOT (mm ²) =	2654.64
				Af CAL(mm ²) =	2654.64
Registro tipo	R2				
n° R2=	1	f2(mm) =	26.0	p2(cm) =	20.0
Af i (mm ²) =	530.93	nb tot 2 =	5.0	Af TOT (mm ²) =	2654.64
				Af CAL(mm ²) =	2654.64

Verifiche di resistenza

Y=	0.794	rad	=	45.51	°
P _{Rs} =	2114.6	KN		PRs>PEd- Verifica Soddisfatta	
P _{RC} =	5456.7	KN		PRc>PRs - Verifica Soddisfatta	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

10.2.1 Verifiche di capacità portante Palo singolo

In accordo con le curve di capacità portante ottenute per il viadotto in esame, nelle seguenti tabelle si riporta le lunghezze dei pali utilizzate per le pile del viadotto in esame. In particolari il dimensionamento è stato effettuato per la **pila** soggetta a sollecitazioni maggiori. Agli SLE si è verificato che il rapporto tra la resistenza laterale e il carico assiale in combinazione caratteristica risulti maggiore di 1.25, come prescritto dalla normativa ferroviaria.

FONDAZIONE			SFORZI NEI PALI SLU			SFORZI NEI PALI SLE			
D _{pali}	n _{pali}	L _{pali}	Combinazione	N _{min}	Q _{d,c}	Combinazione	N _{min}	Q _{l,k}	Q _l /N _{min}
[m]	[m]	[m]		[kN]	[kN]		[kN]	[kN]	[-]
1.5	9	22	ULS_A1_Gr1(min)	6367	7923	RARA.2a.max.N(max)	4668	8950	1.92

Tabella 14 – Verifica della portanza verticale dei pali di fondazione

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica.

10.2.2 Verifiche capacità portante Pali Di Gruppo

La valutazione del carico limite verticale di una palificata è eseguito con la seguente relazione:

$$Q_{d,Gruppo} = N \cdot E \cdot Q_{d, \text{singolo palo}}$$

La resistenza a carico verticale della palificata è data dal prodotto della resistenza del palo singolo ($Q_{d, \text{singolo palo}}$) per il numero N di pali del gruppo e per il fattore E di efficienza della palificata. In particolare l'efficienza è valutata con la formulazione empirica di Converse Labarre.

Nel seguito si riportano le verifiche eseguite per la pila in esame

L _{pali}	R _d = Q _d	PORTANZA PALI DI GRUPPO								
		Dametro	interasse	n. pali x fila	m. n. fila	Φ	E efficienza	N _{max,SLU}	Q _{d Gruppo}	FS
[m]	[kN]	[m]	[m]	[-]	[-]	[°]	[-]	[kN]	[kN]	[-]
22	7923	1.5	4.5	4	3	18.43	0.71	6367	67487	10.60

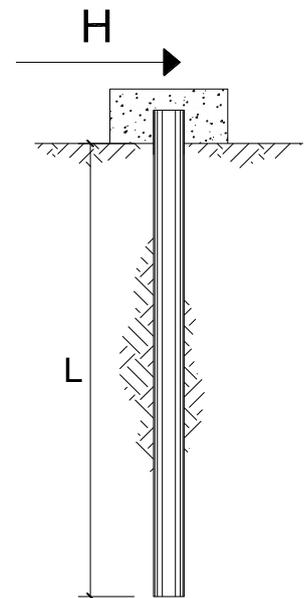
Le verifiche risultano soddisfatte.

10.2.3 Capacità portante laterale dei pali di fondazione

Per i pali di fondazione da realizzare nei terreni non suscettibili ai fenomeni di liquefazione, le verifiche di capacità portante laterale dei pali di fondazione vengono eseguite secondo la consolidata metodologia di Broms (1964) per terreni incoerenti sotto falda attraverso un apposito foglio di calcolo. Per tutti i pali si configura l'ipotesi di palo lungo. Le verifiche, riportate nelle pagine seguenti, risultano soddisfatte assumendo cautelativamente un angolo d'attrito $\varphi=30^\circ$. Le armature in testa al palo utilizzate per il calcolo del momento resistente (M_y) sono riportate al paragrafo delle verifiche strutturali dei pali di fondazione.

Nel seguito si riportano le verifiche eseguite per la pile in esame **Pila P03**:

CARICO LIMITE ORIZZONTALE DI UN PALO IN TERRENI INCOERENTI PALI CON ROTAZIONE IN TESTA IMPEDITA



TEORIA DI BASE:

(Broms, 1964)

coefficienti parziali		A		M	R	
Metodo di calcolo		permanenti	variabili	γ_φ	γ_T	
		γ_G	γ_Q			
SLU	A1+M1+R1	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.00
	A2+M1+R2	<input type="radio"/>	1.00	1.30	1.00	1.60
	A1+M1+R3	<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.00	1.30
	SISMA	<input checked="" type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.30
DM88		<input type="radio"/>	1.00	1.00	1.00	1.00
definiti dal progettista		<input type="radio"/>	1.30	1.50	1.25	1.00

n	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	T.A.	prog.						
ξ_3	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40	1.00	1.00	1.45
ξ_4	1.70	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21	1.00	1.00	1.00

Palo corto:
$$H = 1.5k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2$$

Palo intermedio:
$$H = \frac{1}{2} k_p \gamma d^3 \left(\frac{L}{d} \right)^2 + \frac{M_y}{L}$$

Palo lungo:
$$H = k_p \gamma d^3 \sqrt[3]{\left(3.676 \frac{M_y}{k_p \gamma d^4} \right)^2}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

DATI DI INPUT:

Lunghezza del palo	L =	25.00	(m)		
Diametro del palo	d =	1.50	(m)		
Momento di plasticizzazione della sezione	$M_y =$	4751.72	(kN m)		
Angolo di attrito del terreno	$\varphi'_{med} =$	30.00	(°)	$\varphi'_{min} =$	30.00 (°)
Angolo di attrito di calcolo del terreno	$\varphi'_{med,d} =$	30.00	(°)	$\varphi'_{min,d} =$	30.00 (°)
Coeff. di spinta passiva ($k_p = (1 + \sin\Phi') / (1 - \sin\Phi')$)	$k_{p_{med}} =$	3.00	(-)	$k_{p_{min}} =$	3.00 (-)
Peso di unità di volume (con falda $\gamma = \gamma'$)	$\gamma =$	10.00	(kN/m ³)		
Azione Tagliante (V):	V =	820.8	(kN)		
Carico Assiale variabile (Q):	Q =	0	(kN)		

Palo corto:

$$H1_{med} = 42187.50 \quad (kN) \qquad H1_{min} = 42187.50 \quad (kN)$$

Palo intermedio:

$$H2_{med} = 14252.57 \quad (kN) \qquad H2_{min} = 14252.57 \quad (kN)$$

Palo lungo:

$$H3_{med} = 2394.54 \quad (kN) \qquad H3_{min} = 2394.54 \quad (kN)$$

$$H_{med} = 2394.54 \quad (kN) \quad \text{palo lungo} \qquad H_{min} = 2394.54 \quad (kN) \quad \text{palo lungo}$$

$$H_k = \text{Min}(H_{med}/\xi_3 ; R_{min}/\xi_4) = 1408.55 \quad (kN)$$

$$H_d = H_k / \gamma_T = 1083.50 \quad (kN)$$

$$F_d = G \cdot \gamma_G + Q \cdot \gamma_Q = 820.80 \quad (kN)$$

$$FS = H_d / F_d = 1.32$$

$$FS \text{ (gruppo)} = 1.06$$

Si fa notare che per tener conto degli effetti di gruppo è stato considerato un coefficiente riduttivo del carico limite pari a 0,8 (coefficiente di gruppo).

10.3 Valutazione dei cedimenti in fondazione

Per la valutazione dei cedimenti in fondazione si rimanda alla relazione geotecnica di calcolo per le fondazioni dei viadotti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

10.4 Verifica strutturale pali di fondazione

Le verifiche strutturali sono state condotte per il palo più sollecitato. I pali saranno armati longitudinalmente con un unico strato di $60\phi 26$ a doppie. Inoltre si prevede una spirale $\phi 12/10$ (2 bracci resistenti). Tale armatura costituisce la prima gabbia di armatura del palo e si estende per almeno 12 metri a partire dalla testa del palo. Le successive gabbie di armatura potranno essere realizzate con un'armatura longitudinale e trasversale pari alla metà di quella verificata.

Palo	Sezione di verifica	Armatura	
	D [m]	Armatura longitudinale	Taglio
$\phi 1500$	1.5	2x30 $\phi 26$	Spirale $\phi 12/10$

Tabella 15 – Verifica dei pali di fondazione

PALO - Verifiche allo SLU						
Combinazioni		N kN	M kNm	V kN	C.S. (NRd, MRd)	C.S. (VRd)
Max N	SLV-0.3Ex+Ey+0.3Ez	988	2147	913	3.27	1.9
Min N	ULS_A1_Gr1(min)	6367	38	16	5.08	>10
Max VL	SLV-0.3Ex+Ey+0.3Ez	4639	2147	913	3.61	1.9

PALO - Verifiche allo SLE							
Combinazioni		N	M	V	σ_c	σ_s	Wk
		kN	kNm	kN	Mpa	Mpa	mm
RARA	SLS_RA_Gr2b(min)	2357	36	15	-1.1	-16.8	0.000
	SLS_RA_Gr1(min)	4668	17	7	-2.1	-31.8	0.000
FREQ	SLS_FR_Gr1(all)	2384	83	35	-1.2	-18.3	0.000
	SLS_FR_Gr1(all)	4340	83	35	-2.1	-31.5	0.000
QP	SLS_QP	2387	68	29	-1.2	-17.9	0.000
	SLS_QP	3825	68	29	-1.8	-23.7	0.000

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A	FOGLIO 44 di 45

11 APPOGGI E GIUNTI

11.1 Appoggi Pile

Gli apparecchi d'appoggio fissi devono essere dimensionati con il criterio della GR (NTC p.to 7.9.5.4.1). Essi devono quindi essere in grado di trasmettere, mantenendo la piena funzionalità, forze orizzontali tali da produrre, nella o nelle sezioni critiche alla base della pila, un momento flettente pari a: $\gamma_{Rd} M_{Rd}$, dove M_{Rd} è il momento resistente della o delle sezioni critiche. Questa verifica può essere eseguita in modo indipendente per le due direzioni dell'azione sismica. Le forze determinate come sopra possono risultare superiori a quelle che si ottengono dall'analisi ponendo $q = 1$; in tal caso per il progetto degli apparecchi è consentito adottare queste ultime.

Per le tabelle degli scarichi si rimanda alla relazione impalcato.

11.2 Escursione dei giunti

In accordo con il p.to 2.5.2.1.5.1 del RFI DTC SICS PS MA IFS 001 A, per ponti e viadotti costituiti da una serie di travi semplicemente appoggiate di uguale luce, l'entità dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi di appoggio può essere valutata come segue:

$$E_L = k_1 \cdot (E_1 + E_2 + E_3) = k_1 \cdot (2D_t + 4d_{Ed} \cdot k_2 + 2d_{eg})$$

dove:

- E_1 è lo spostamento dovuto alla variazione termica uniforme;
- E_2 è lo spostamento dovuto alla risposta della struttura all'azione sismica;
- E_3 è lo spostamento dovuto all'azione sismica fra le fondazioni non collegate;
- $k_1 = 0.45$ è un coefficiente che tiene conto della non contemporaneità dei valori massimi corrispondenti a ciascun evento singolo;
- $k_2 = 0.55$ è un coefficiente legato alla probabilità di moto in controfase di due pile adiacenti;
- d_{Ed} è lo spostamento relativo totale tra le parti, pari allo spostamento d_E prodotto dall'azione sismica di progetto, calcolato come indicato nel paragrafo 7.3.3.3 del D.M. 14/01/2008: $d_E = \pm \mu_d \cdot d_{Ee}$. dove d_{Ee} è lo spostamento corrispondente al periodo di vibrazione della pila ricavato dallo spettro elastico in termini di spostamento e $\mu_D = q$ per $T_1 \geq T_C$ oppure $\mu_D = 1 + (q-1) \cdot T_C / T_1$ per $T_1 < T_C$ e con la limitazione $\mu_D \leq 5q-4$ (q è il fattore di struttura). Nel caso delle spale. Data la loro elevata rigidezza si assume $d_{Ee}=0$
- d_{eg} è lo spostamento relativo tra le parti dovuto agli spostamenti relativi del terreno, da valutare secondo il paragrafo 3.2.3.3 del D.M. 14/01/2008. Il valore di spostamento assoluto orizzontale massimo del suolo (d_g) di un punto può calcolarsi secondo l'espressione seguente:

$$d_g = 0.025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C T_D$$

dove a_g , S , T_C , T_D sono le grandezze definite al paragrafo 6.6. Nel caso in esame si suppone in via cautelativa che tale spostamento assoluto coincida con lo spostamento relativo tra due punti, ossia si sta valutando lo spostamento relativo della fondazione in esame rispetto ad un punto fermo.

Di seguito è riportato il calcolo per le sottostrutture in esame:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA Lotti 2 e 3 – RADDOPPOI TERMOLI-RIPALTA					
	IV02 Cavalcavia in viadotto (Viabilità accesso fermata Campomarino) - Relazione di calcolo Pila	COMMESSA L102	LOTTO 02	CODIFICA D 78 CL	DOCUMENTO IV02 002	REV. A

E1 - Termica				
L _{imp}	α	ΔT	D _t	E1=2 Dt
m		°	mm	mm
80.0	0.00001	25.0	20.000	40

E3 - sismica fondaz.	
d _{Eg}	E ₃ = 2 d _{Eg}
mm	mm
72.4	144.84

E2 - Sismica struttura						ESCURSIONE GIUNTI			
PILA	H _{pila}	T ₁	d _{Ed}	k ₂	E ₂ = 4 d _{Ed} k ₂	E _L	E ₀	E _i	E _L
	m	s	mm		mm	mm	mm	mm	mm
P01	5.30	0.18	3.34	0.55	7.35	86.5	160	144.8	160

Per garantire infine un minimo di escursione in funzione della sismicità del sito, il valore E_L dovrà essere assunto non minore di:

Per valori di a_g(SLV) < 0.25g : $E_L \geq \max(0.10m; 2.3 \cdot L/1000 + 0.073)$ = E_{Lmin} **257.0** mm
 ove: L= Lunghezza del ponte (m)

Pertanto:

ESCURSIONE DEI GIUNTI (δ_{Giu}) δ_{GIU}= ± E_L/2 + 10mm = ± **138.5** mm

CORSA APPOGGI δ_{APP}= MAX(E_L/2+ E_L/8, E_L/2+ 15mm) **160.6** mm

AMPIEZZA DEI VARCHI (v) V ≥ E_L/2 + V₀ = **148.5** mm

ove: V₀ = 20 mm