

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. COORDINAMENTO DI SISTEMA E PFTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE
METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI

BRETELLA DI SIBARI

ELABORATI GENERALI

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE VIADOTTI

SCALA:

-

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

RC2V 00 R 14 RH VI0000 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	CFCSL	Mar. 2023	<i>F. Bisio</i>	Mar. 2023	I. D'Amore	Mar. 2023	Ing. G. Ingrosso Mar. 2023
				<i>F. Bucchi</i>				
				<i>F. Bucchi</i>				

File: RC2V00R14RHVI000002A-relazione di predimensionamento-Sibari.docx

n. Elab.:

ITALFERR S.p.A.
COORDINAMENTO DI SISTEMA
Dott. Ing. GIULIANO INGROSSO
Codice degli Ingegneri: 318046/A/1 - 2009

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	BRETELLA DI SIBARI					
Relazione di predimensionamento strutturale viadotti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2V	00	R14	RHV10000002	A	2 di 29

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
2.1	Normative	6
2.2	Elaborati di riferimento.....	6
3.	MATERIALI	7
3.1	Calcestruzzo per fusto pila e pulvino	7
3.2	Calcestruzzo per fondazioni	7
3.3	Acciaio per barre di armature	7
3.1	Acciaio per carpenteria metallica	7
4.	IPOTESI E CRITERI DI DIMENSIONAMENTO.....	8
4.1	Impalcati.....	8
4.2	Pile.....	9
4.3	Fondazioni	10
5.	MODELLI DI ANALISI E VERIFICA	10
5.1	Modello di analisi	10
5.2	Sistemi di riferimento ed unità di misura	10
6.	CARICHI	11
6.1	Analisi dei carichi	11
6.1.1	<i>Permanenti strutturali e non (G1 e G2)</i>	11
6.1.2	<i>Carichi da traffico verticali (Q1)</i>	11
6.1.2.1	Effetti dinamici	12
6.1.2.2	Disposizione treni di carico.....	12
6.1.3	<i>Carichi da traffico orizzontali</i>	13
6.1.3.1	Forza centrifuga (Q4).....	13
6.1.3.2	Serpeggio.....	13
6.1.3.3	Frenatura ed avviamento (Q3).....	14
6.1.3.4	Forza d'attrito (Q8)	14
6.1.4	<i>Azione del vento (Q5)</i>	14
6.1.5	<i>Azione sismica (E)</i>	16
6.1.5.1	Inquadramento sismico	17
6.1.5.2	Definizione della domanda sismica.....	17
6.1.5.3	Calcolo dell'azione sismica	18
6.2	Combinazioni di carico	19

7.	TIPOLOGICO A	20
7.1	Geometria.....	20
7.2	Riepilogo azioni elementari.....	21
7.3	Sollecitazione base pila	22
7.4	Deformabilità.....	22
7.5	Verifica allo spiccato del fusto	23
7.5.1	<i>Verifica a presso flessione.....</i>	<i>23</i>
8.	TIPOLOGICO B.....	25
8.1	Geometria.....	25
8.2	Riepilogo azioni elementari.....	26
8.3	Sollecitazione base pila	27
8.4	Deformabilità.....	27
8.5	Verifica allo spiccato del fusto	28
8.5.1	<i>Verifica a presso flessione.....</i>	<i>28</i>

1. PREMESSA

Nell'ambito delle risorse previste nel PNRR per gli interventi sulla linea ferroviaria jonica nel territorio della Regione Calabria, è prevista la realizzazione della bretella di Sibari tenendo conto anche della richiesta avanzata formalmente dalla Regione Calabria nell'ambito del Tavolo Tecnico di Ascolto 2021.

La stazione di Sibari costituisce il punto di confluenza delle linee Sibari – Crotone – Catanzaro Lido (cosiddetta linea jonica) e Sibari – Cosenza – Paola. Attualmente non esiste un collegamento diretto fra le linee afferenti a Sibari, pertanto il passaggio da una linea all'altra prevede un'inversione del senso di marcia sui binari di ricevimento della stazione, con conseguente aumento dei tempi di percorrenza.



Figura 1 -Inquadramento Territoriale

La realizzazione di un binario esterno che colleghi direttamente le due linee diramate consente di creare le condizioni per un nuovo modello di servizio in grado di collegare i versanti jonico e tirrenico della Calabria senza soluzione di continuità.

Per quanto sopra, l'intervento di realizzazione del binario esterno ha una forte valenza commerciale in termini di nuove opportunità di collegamento, principalmente per effetto della riduzione dei tempi di percorrenza nel collegamento fra i maggiori centri interessati.

L'intervento si pone l'obiettivo di creare le condizioni infrastrutturali per un'estensione dei servizi ferroviari dalla linea jonica alla linea tirrenica. In particolare, l'intervento consentirà di:

- ✓ Collegare efficacemente il bacino crotonese con Cosenza, Paola e la linea tirrenica senza perditempo correlati alle inversioni di marcia in stazione di Sibari;
- ✓ Estendere i servizi a mercato, attualmente attestati nella stazione di Sibari, verso Crotona, previa elettrificazione della linea jonica;
- ✓ Favorire l'accessibilità ai servizi ferroviari per un bacino d'utenza delle provincie di Cosenza e Crotona (circa 750.000 abitanti) e lo spostamento di una quota modale da gomma a ferro in modo da decongestionare le principali arterie stradali calabresi;
- ✓ Ridurre i tempi di percorrenza rispetto a servizi che prevedano l'inversione di marcia a Sibari.

La presente relazione è relativa al predimensionamento strutturale dei viadotti ferroviari previsti nell'ambito del PFTE – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica “Bretella di Sibari”.

Questo progetto include lo sviluppo di due viadotti ferroviari, a singolo binario. Il viadotto VI01 è composto da nove campate da 30 m, con impalcato in misto acciaio-cls, e una campata principale da 60 m sopra la strada statale SS106, con impalcato a travata metallica a del tipo a maglia triangolare aperta a passaggio inferiore. Le pile hanno forma sub-rettangolare arrotondata a sezione cava bicellulare. Il viadotto VI02, sopra un canale idraulico, ha un'unica campata da 20 m con impalcato in misto acciaio-cls a travi incorporate.

Dal punto di vista del dimensionamento delle pile, tramite un censimento sulle tipologie strutturali di impalcato e delle varie altezze del fusto pila presenti lungo il VI01, si sono identificate 2 pile tipologiche: una tra due campate da 30 m e l'altra per le pile in contatto con la campata da 60 m.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	BRETELLA DI SIBARI					
Relazione di predimensionamento strutturale viadotti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2V	00	R14	RHV10000002	A	6 di 29

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative

Sono state prese a riferimento le seguenti Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento:

- [1] *Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 17 Gennaio 2018 – Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;*
- [2] *Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 Gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018;*
- [3] *RFI DTC SI PS MA IFS 001 F - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture (30 Dicembre 2022);*
- [4] *RFI DTC SI CS MA IFS 001 F - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale (30 Dicembre 2022);*
- [5] *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° 776/2019 della Commissione del 16 Maggio 2019.*

2.2 Elaborati di riferimento

Vengono presi a riferimento tutti gli elaborati grafici progettuali di pertinenza.

3. MATERIALI

3.1 Calcestruzzo per fusto pila e pulvino

Classe C32/40

$R_{ck} = 40.00 \text{ MPa}$ Resistenza caratteristica cubica

$f_{ck} = 0.83 R_{ck} = 32.00 \text{ MPa}$ Resistenza caratteristica cilindrica

3.2 Calcestruzzo per fondazioni

Classe C25/30

$R_{ck} = 30.00 \text{ MPa}$ Resistenza caratteristica cubica

$f_{ck} = 0.83 R_{ck} = 25.00 \text{ MPa}$ Resistenza caratteristica cilindrica

3.3 Acciaio per barre di armature

B450C

3.1 Acciaio per carpenteria metallica

Acciaio S355JO, secondo UNI EN 10025 per profilati e lamiera.

Acciaio S355J2, secondo UNI EN 10025 per travi ed elementi saldati.

4. IPOTESI E CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

4.1 Impalcati

Nella definizione delle opere d'arte ferroviarie si sono utilizzate tipologie consolidate, in particolare, con riferimento al Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 E) sono state adottati per le tipologie ricorrenti gli impalcati tipologici contenuti nell'allegato C - Disegni Tipologici e Particolari Costruttivi. Per quelle opere di natura "eccezionale", non riconducibili a tipologie standard, si è fatto riferimento a soluzioni strutturali sviluppate in progetti similari.

Nel viadotto VI01, per le campate da 30 m l'impalcato è misto con due travi metalliche e soletta in cls, mentre per la campata da 60 m l'impalcato è a travata metallica a semplice binario del tipo a maglia triangolare aperta a passaggio inferiore. Nel viadotto VI02, l'unica campata, da 20 m, è in misto acciaio-cls a travi incorporate.

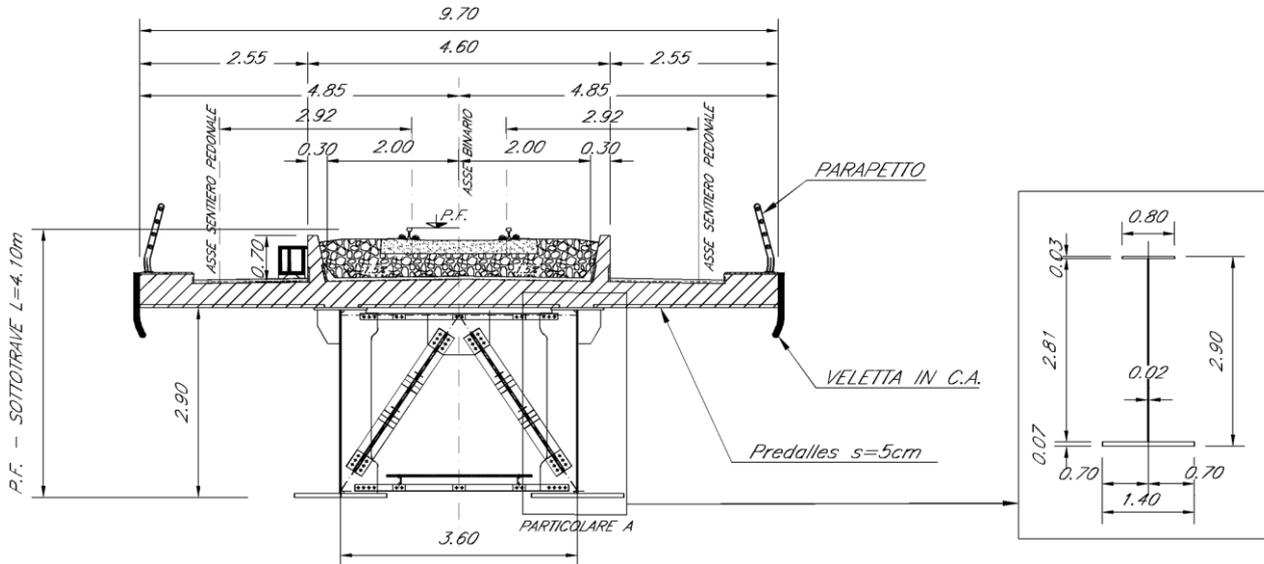


Figura 2 – Sezione trasversale impalcato per campate da 30 m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	BRETELLA DI SIBARI					
Relazione di predimensionamento strutturale viadotti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2V	00	R14	RHV10000002	A	10 di 29

Tipo pila	Viadotto	Pile	Binario	Impalcato	H pila [m]
A	VI01	P1, P2 e P5-P9	SB	Misto 30 m	4.60 - 7.10
B	VI01	P3 e P4	SB	Misto 30 m + Reticolare 60 m	6.10 e 7.40

4.3 Fondazioni

Le opere di fondazione sono dettagliate negli elaborati geotecnici.

5. MODELLI DI ANALISI E VERIFICA

5.1 Modello di analisi

Le sollecitazioni di verifica della pila sono state determinate a partire dai valori delle risultanti delle azioni trasmesse dagli impalcato alla quota degli apparecchi di appoggio, alle quali sono state combinate le azioni determinate dalle azioni indotte dalle forze di inerzia e dal peso proprio delle sottostrutture.

Il modello a mensola della struttura è stato implementato in un foglio di calcolo appositamente realizzato per la valutazione delle azioni agenti sulle singole parti della struttura, quali fusto pila e plinto.

5.2 Sistemi di riferimento ed unità di misura

- Asse X parallelo all'asse longitudinale dell'impalcato, positivo nel senso dei Pk crescenti.
- Asse Y parallelo all'asse trasversale dell'impalcato.
- Asse Z verticale, positivo verso il basso.
- [Lunghezze] m
- [Forze] kN

6. CARICHI

6.1 Analisi dei carichi

6.1.1 *Permanenti strutturali e non (G1 e G2)*

I pesi degli elementi strutturali sono calcolati utilizzando un peso di volume del calcestruzzo pari a 25.0 kN/m^3 , e dell'acciaio pari a 78.5 kN/m^3 .

Risulta:

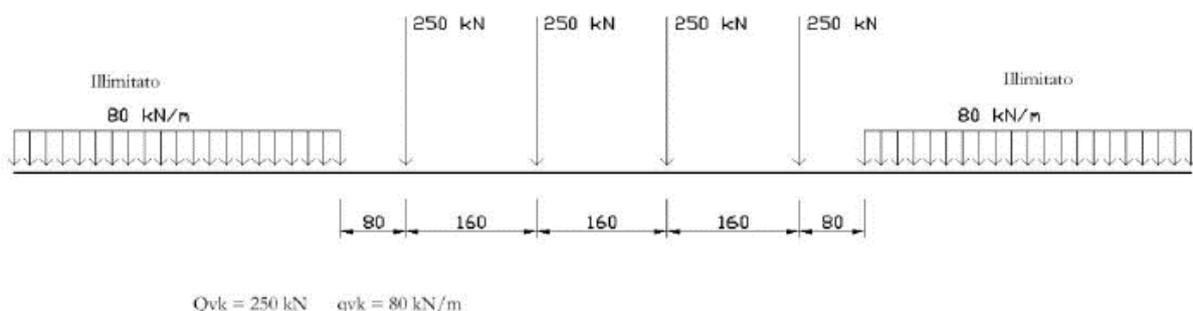
- ✓ Impalcato per campate da 30 m: $G1 = 150 \text{ kN/m}$; $G2 = 85 \text{ kN/m}$.
- ✓ Impalcato per campata da 60 m: $G1 = 105 \text{ kN/m}$; $G2 = 160 \text{ kN/m}$.

6.1.2 *Carichi da traffico verticali (Q1)*

L'opera è stata progettata considerando le sollecitazioni dovute al carico da traffico ferroviario, considerando i modelli LM71 e/o SW/2. Si riportano di seguito le caratteristiche dei modelli di traffico presi in esame.

➤ *Modello di carico LM71*

Sia le istruzioni RFI che le NTC 2018 (par. 5.2.2.2.1.1), definiscono questo modello di carico tramite carichi concentrati e carichi distribuiti, riferiti all'asse dei binari.



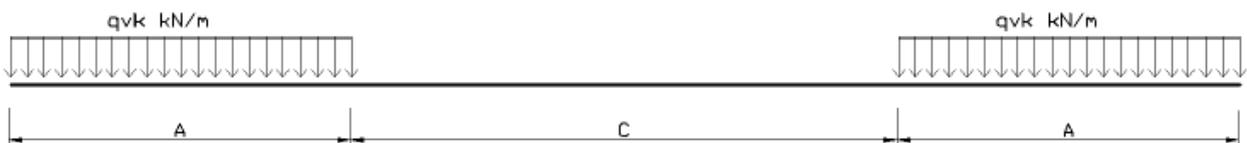
Carichi concentrati: quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1,60 m;

Carico distribuito: 80 kN/m in entrambe le direzioni, a partire da 0,8 m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

Per questo modello di carico è prevista un'eccentricità del carico rispetto all'asse del binario pari a $s/18 = 1.435 / 18 = 0.08 \text{ m}$.

➤ *Modello di carico SW/2*

Sia le istruzioni RFI che le NTC 2018 (par. 5.2.2.2.1.2), definiscono questo modello di carico tramite solo carichi distribuiti.



SW/2

Carico distribuito	Q_{vk}	150	kN/m
Lunghezza	A	25	m
Lunghezza	C	7	m

In questo modello di carico non è prevista alcuna eccentricità del carico ferroviario. Le azioni di entrambi i modelli dovranno essere moltiplicate per un coefficiente di adattamento definito dalla seguente tabella (tab. 2.5.1.4.1.1 - RFI DTC SI PS MA IFS 001).

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE “ α ”
LM/71	1.10
SW/2	1.00

6.1.2.1 Effetti dinamici

Per la definizione del coefficiente dinamico si segue quanto contenuto nel par.5.2.2.2.3 del DM 17.1.2018 che per l’opera in esame riporta:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.73 \quad \text{con limitazione} \quad 1.00 \leq \Phi_3 \leq 2.00$$

6.1.2.2 Disposizione treni di carico

La disposizione dei treni di carico è stata individuata per ottenere le seguenti massime sollecitazioni:

- Sforzo assiale: il convoglio è localizzato sostanzialmente al di sopra della pila in esame;
- Momento longitudinale: il convoglio è localizzato sulla campata di luce maggiore, più o meno centrato a seconda dei rapporti di lunghezza del treno di carico e della campata;
- Momento trasversale: è fornito dallo stesso schema di posizionamento del massimo sforzo assiale.

6.1.3 Carichi da traffico orizzontali

6.1.3.1 Forza centrifuga (Q4)

L'azione centrifuga è schematizzata come una forza agente in direzione orizzontale perpendicolarmente al binario e verso l'esterno della curva, applicata ad 1.80 m al di sopra del p.f. Il valore caratteristico della forza centrifuga si determina in accordo con la seguente espressione:

$$Q_{tk} = V^2 \cdot f \cdot (\alpha \cdot Q_{vk}) / (127 \cdot R)$$

- dove
- V velocità di progetto espressa in km/h
 - Q_{vk} valore caratteristico dei carichi verticali
 - R raggio di curvatura in m
 - f fattore di riduzione

In questo caso, il raggio di curvatura è pari a 275 m e l'opera ha una velocità di progetto di 60 km/h. Per velocità inferiori a 120 km/h, corrisponde un fattore di riduzione $f = 1.00$.

6.1.3.2 Serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si schematizza come una forza concentrata agente orizzontalmente perpendicolarmente all'asse del binario. Il valore caratteristico di tale forza è assunto pari a 100 kN. Tale valore deve essere moltiplicato per α ma non per il coefficiente di amplificazione dinamica. Essa si applicherà sia in rettilineo che in curva.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	BRETELLA DI SIBARI					
Relazione di predimensionamento strutturale viadotti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2V	00	R14	RHV10000002	A	14 di 29

6.1.3.3 Frenatura ed avviamento (Q3)

Le forze di frenatura e di avviamento agiscono sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze sono da considerarsi uniformemente distribuite su una lunghezza di binario L determinata per ottenere l'effetto più gravoso sull'elemento strutturale considerato. I valori da considerare sono i seguenti:

- ✓ Avviamento: $Q_{1a,k} = 33 \text{ kN/m} \cdot L \leq 1000 \text{ kN}$ per i modelli di carico LM71 e SW/2
- ✓ Frenatura: $Q_{1b,k} = 20 \text{ kN/m} \cdot L \leq 6000 \text{ kN}$ per i modelli di carico LM71
 $Q_{1b,k} = 35 \text{ kN/m}$ per i modelli di carico SW/2

I valori caratteristici dell'azione di frenatura e di avviamento devono essere moltiplicati per α e non devono essere moltiplicati per Φ . Nel caso di ponti a doppio binario si devono considerare due treni in transito in versi opposti, uno in fase di avviamento e l'altro in fase di frenatura.

6.1.3.4 Forza d'attrito (Q8)

Le forze parassitarie dei vincoli si esplicano in corrispondenza degli apparecchi d'appoggio mobili e, per equilibrio, sui corrispondenti fissi, per traslazione relativa impalcato-apparecchi d'appoggio. Essendo funzione del carico verticale, la sua definizione è associata ai coefficienti moltiplicativi delle combinazioni γ e ψ dei carichi da peso proprio strutturali e non, e dei carichi verticali da traffico.

Per la valutazione delle coazioni generate è stato considerato un coefficiente d'attrito f pari a 0,04. Con riferimento a quanto riportato nel §2.5.1.6.3 [3] la forza agente sulle pile per impalcato a travate isostatiche, facendo riferimento all'apparecchio d'appoggio maggiormente caricato tra quelli presenti sulla pila, si considera pari a:

$$F_a = f (0.2 \cdot V_G + V_Q)$$

dove V_G reazione verticale massima associata ai carichi permanenti

V_Q reazione verticale massima associata ai carichi mobili dinamizzati

6.1.4 **Azione del vento (Q5)**

L'azione del vento viene ricondotta ad un'azione statica equivalente costituita da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici. Ricadendo nella classificazione ordinaria di ponti

l'azione del vento è valutata come agente su una superficie continua, convenzionalmente alta 4 m dal piano del ferro, indipendentemente dal numero dei convogli presenti sul ponte.

Il calcolo dell'azione del vento è stato condotto secondo quanto indicato nella sezione 3.3 delle NTC e nell'Eurocodice EN 1991-1-4. Si riportano di seguito i principali parametri di calcolo:

as	Altitudine s.l.m. sito	9 m
-	Zona geografica	3 -
vb,0	Vel. base rif. livello mare [Tab.3.3.I]	27 m/s
a0	[Tab.3.3.I]	500 m
ks	[Tab.3.3.I]	0.37 -
ca	Coeff. altitudine	1.00 -
vb	Velocità base di riferimento	27.0 m/s

c _u	Coeff. d'uso	1.00 -
TR	Periodo di ritorno	50 anni
cr	Coeff. ritorno	1.00 -
vr	Velocità di riferimento	27.0 m/s

ρ	Densità dell'aria	1.25 kg/m ³
q_r	Pressione cinetica di riferimento	0.46 kN/m²

-	Classe rugosità terreno	D -
-	Distanza dal mare	2 km
-	Categoria di esposizione	II -
k _r	[Tab.3.3.II]	0.19 -
z ₀	[Tab.3.3.II]	0.05 m
z _{min}	[Tab.3.3.II]	4 m
c _t	Coeff. di topografia	1.00 -
z	Altezza sul suolo	9.00 m
z _{calc}	Altezza per calcolo di c _e	9.00 m
c_e	Coeff. di esposizione	2.29 -

Il coefficiente di pressione, e pertanto la pressione del vento risultante, dipende dalla geometria dell'impalcato e la presenza o meno di traffico sul ponte.

✓ Campate da 30 m, scariche:

-	Construction stage	a -
d _{tot}	Altezza impalcato (EN1991-1-4 Fig.8.3)	4.50 m
b	Largh. impalcato (EN1991-1-4 Fig.8.3)	9.70 m
b/d _{tot}	Rapporto largo - alto	2.16

c_p	Coeff. di pressione (c_p = c_{fx} = c_{fx,0})	1.81 -
c_d	Coeff. dinamico	1.00 -

p	Pressione del vento	1.88 kN/m²
----------	----------------------------	------------------------------

✓ Campate da 30 m, cariche:

-	Construction stage	b -
d _{tot}	Altezza impalcato (EN1991-1-4 Fig.8.3)	8.12 m
b	Largh. impalcato (EN1991-1-4 Fig.8.3)	9.70 m
b/d _{tot}	Rapporto largo - alto	1.19
c_p	Coeff. di pressione (c_p = c_{fx} = c_{fx,0})	2.07 -
c_d	Coeff. dinamico	1.00 -

p	Pressione del vento	2.16 kN/m²
----------	----------------------------	------------------------------

✓ Campata da 60 m:

S _p	Superficie pinea	153 m
S	superficie delimitata dal contorno	477 m
φ	S _p /S	0.32 -
c_p	Coeff. di pressione	1.60 -
c_d	Coeff. dinamico	1.00 -

p	Pressione del vento	1.67 kN/m²
----------	----------------------------	------------------------------

Nel caso di travi interne, il valore della pressione su ogni trave sarà pari a quello sulla trave precedente moltiplicato per un coefficiente di riduzione $\mu = 0.2$.

L'azione del vento sulla pila e sul pulvino è stata trascurata in quanto tale azione non risulta dimensionante, né per la struttura della pila né per le fondazioni, sia per le combinazioni in cui il vento è azione principale e sia per quelle in cui il vento è azione secondaria.

6.1.5 Azione sismica (E)

L'azione sismica di progetto è rappresentata da spettri di risposta definiti in base alla pericolosità sismica di base del sito ove sorge l'opera in oggetto, la vita di riferimento e le caratteristiche del sottosuolo.

Di seguito si riportano i parametri di input utilizzati per la definizione degli spettri di progetto orizzontali e verticali e i grafici degli stessi.

6.1.5.1 Inquadramento sismico

La determinazione della pericolosità sismica di base è definita a partire dall'ubicazione dell'opera e dalle sue caratteristiche progettuali come la vita nominale V_N e la classe d'uso c_u . Sulla base del "Manuale di Progettazione delle Opere Civili". I parametri identificativi dell'opera sono:

Vita nominale	Classe d'uso	Coeff. d'uso
75	III	1.50

Per la determinazione dell'azione sismica è stata sviluppata la Risposta sismica locale, dettagliata negli elaborati geotecnici e riportata, in termini di spettri elastici, nel paragrafo che segue.

6.1.5.2 Definizione della domanda sismica

Secondo le NTC2018 l'azione sismica viene considerata mediante spettri di risposta elastici in accelerazione, considerando la Risposta Sismica Locale.

Per la componente orizzontale si fa riferimento allo spettro regolarizzato da analisi RSL; mentre per la componente verticale si fa riferimento al 70% dello spettro normativo di categoria A, con condizione topografica T1.

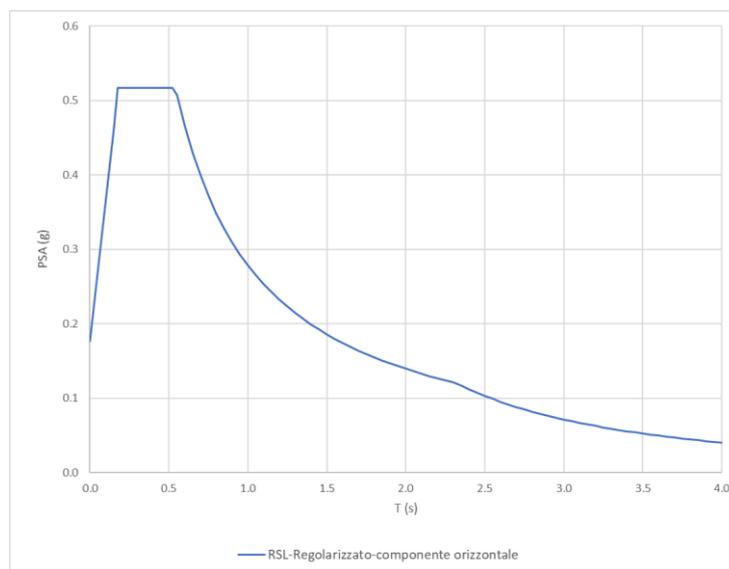


Figura 5 – Spettro di risposta orizzontale allo SLV

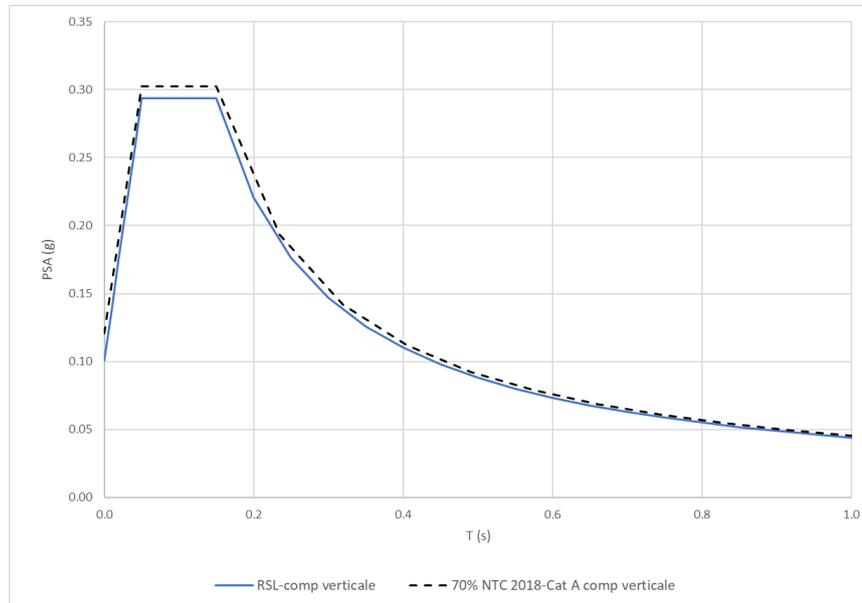


Figura 6 – Spettro di risposta verticale allo SLV

6.1.5.3 Calcolo dell'azione sismica

Per il calcolo delle azioni sismiche si utilizza una Analisi Statica Lineare, come riportata nel cap. 7.9.4.1 delle NTC 2018.

A favore di sicurezza, i calcoli sono stati effettuati in campo elastico al fine di determinare gli scarichi a base pila utili per il dimensionamento delle fondazioni che verranno analizzate negli elaborati di geotecnica di riferimento.

In accordo a quanto stabilito nel par. 7.9.2. delle NTC2018 per le strutture di fondazione, il fattore di comportamento è stato pertanto posto pari a $q = 1.00$.

L'accelerazione di progetto considerata nei calcoli è pari alla massima accelerazione degli spettri elastici ($q=1$), ossia all'accelerazione di plateau.

6.2 Combinazioni di carico

Le sollecitazioni dovute ai carichi descritti nei paragrafi precedenti sono state combinate in ottemperanza alle NTC18, secondo quanto riportato nei paragrafi 2.5.3 e 5.2.3. Si riportano di seguito tutte le combinazioni considerate, e i valori dei coefficienti assunti per le singole condizioni di carico elementari.

COMBO	Permanenti		Traffico				Attrito		Amb.	Sisma		
	G1	G2	Vert.	Fren./ avv.	Centr.	Serp.	Perm.	Traff.	Vento	Long.	Trasv.	Vert.
SLU-gr1-Treno-LM71	1.350	1.500	1.450	0.725	1.450	1.450	1.500	1.450	0.000	0.000	0.000	0.000
SLU-gr1-Treno-SW2A	1.350	1.500	1.450	0.725	1.450	1.450	1.500	1.450	0.000	0.000	0.000	0.000
SLU-gr1-Treno-SW2B	1.350	1.500	1.450	0.725	1.450	1.450	1.500	1.450	0.000	0.000	0.000	0.000
SLU-gr3-Fre/avv-LM71	1.350	1.500	1.450	1.450	0.725	0.725	1.500	1.450	0.000	0.000	0.000	0.000
SLU-gr3-Fre/avv-SW2A	1.350	1.500	1.450	1.450	0.725	0.725	1.500	1.450	0.000	0.000	0.000	0.000
SLU-gr3-Fre/avv-SW2B	1.350	1.500	1.450	1.450	0.725	0.725	1.500	1.450	0.000	0.000	0.000	0.000
SLU-gr1+vento-LM71	1.350	1.500	1.450	0.725	1.450	1.450	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr1+vento-SW2A	1.350	1.500	1.450	0.725	1.450	1.450	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr1+vento-SW2B	1.350	1.500	1.450	0.725	1.450	1.450	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr2+vento-LM71	1.350	1.500	0.000	0.000	1.450	1.450	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr2+vento-SW2A	1.350	1.500	0.000	0.000	1.450	1.450	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr2+vento-SW2B	1.350	1.500	0.000	0.000	1.450	1.450	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr3+vento-LM71	1.350	1.500	1.450	1.450	0.725	0.725	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr3+vento-SW2A	1.350	1.500	1.450	1.450	0.725	0.725	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-gr3+vento-SW2B	1.350	1.500	1.450	1.450	0.725	0.725	1.500	1.450	0.900	0.000	0.000	0.000
SLU-vento-scarico	1.350	1.500	0.000	0.000	0.000	0.000	1.500	0.000	1.500	0.000	0.000	0.000
SLV-long	1.000	1.000	0.200	0.200	0.200	0.200	1.000	0.200	0.000	1.000	0.300	0.300
SLV-tran	1.000	1.000	0.200	0.200	0.200	0.200	1.000	0.200	0.000	0.300	1.000	0.300
SLV-vert	1.000	1.000	0.200	0.200	0.200	0.200	1.000	0.200	0.000	0.300	0.300	1.000

In particolar modo, sia in condizioni statiche (SLU) che in condizioni sismiche (SLV) sono state scelte 3 combinazioni di carico (una per il treno LW/71 e due per il SW/2), in modo da massimizzare lo sforzo normale, il momento flettente in direzione longitudinale e quello in direzione trasversale. Le sollecitazioni sono state calcolate alla base del fusto pila.

7. TIPOLOGICO A

7.1 Geometria

La pila in esame, su cui poggiano due impalcati a struttura mista a travi, per singolo binario, di lunghezza 30.0 m, presenta un fusto a sezione cava in c.a., stonato alle estremità, di dimensioni esterne pari a 7.00 m x 3.20 m su cui grava un pulvino, di spessore pari a 1.50 m e dimensioni esterne pari a quelle del fusto. Riconducibili a tale tipologia, valida per altezze di pila (incluso il pulvino) comprese fra 4.60 m e 7.10 m, sono presenti 7 pile nel viadotto *V101*. L'altezza di pila (incluso il pulvino) di riferimento considerata per i calcoli è pari a 7.10 m.

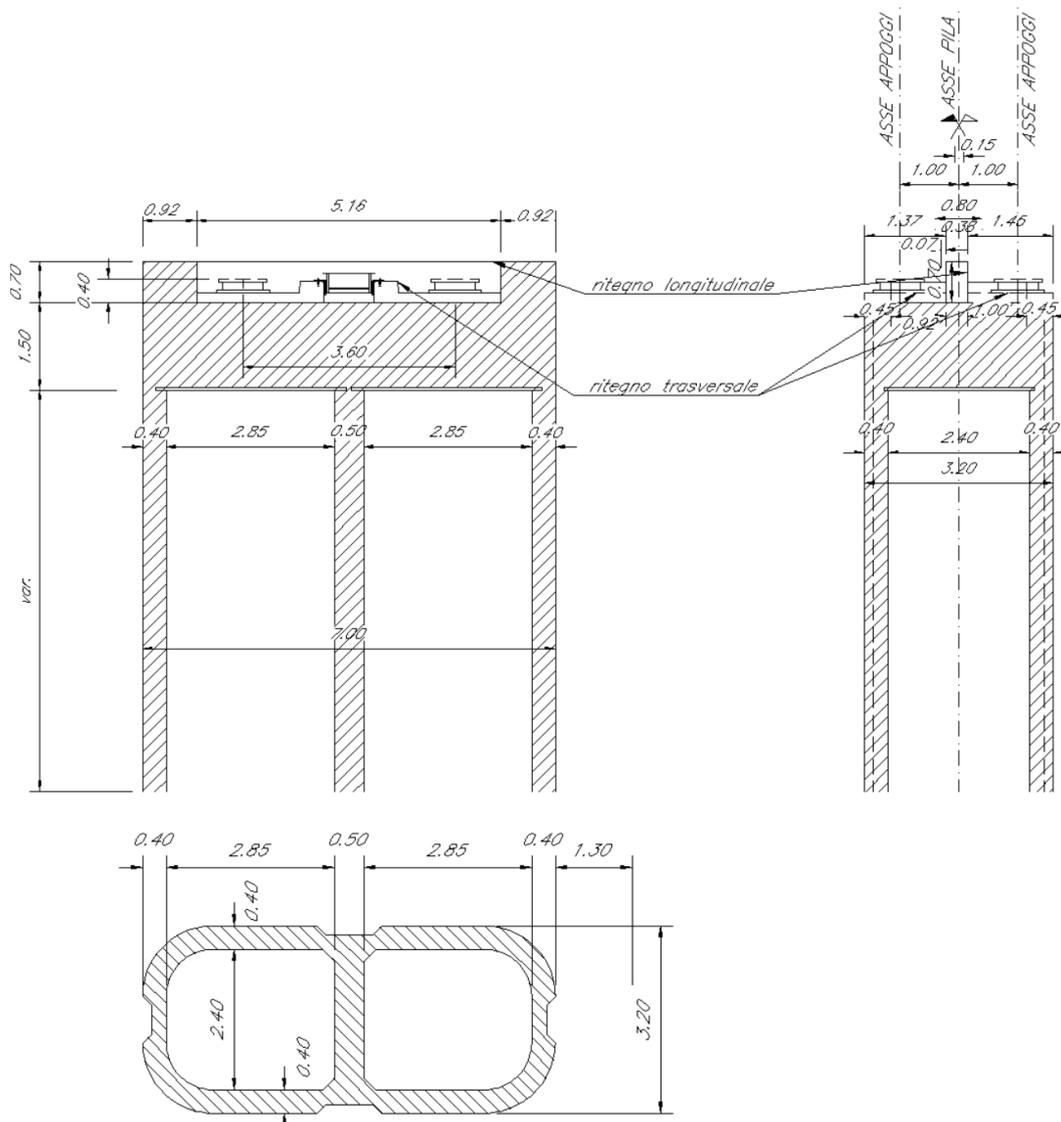


Figura 7 – Geometria pila [m].

7.2 Riepilogo azioni elementari

Si riportano di seguito le azioni elementari in testa pila per le pile di questa tipologia, calcolati come descritto nella sezione “6. CARICHI”.

Carico	Fvert [kN]	Flong [kN]	Ftrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
G1 Perm. Strutturale	4500			0	
G2 Perm. Non Strutturale	2550			0	
Q1A Traff. Vert. LM71	3177			537	254
Q1B Traff. Ver. SW2 - Max N	3750			750	0
Q1C Traff. Ver. SW2 - Max Mlong	2250			2250	0
Q2A Serpeggio. LM71			110		374
Q2B Serpeggio. SW2 - Max N			100		340
Q2C Serpeggio. SW2 - Max Mlong			100		340
Q3A Fren.\Avv. LM71		1000		3400	
Q3B Fren.\Avv. SW2 - Max N		875		2975	
Q3C Fren.\Avv. SW2 - Max Mlong		525		1785	
Q4A F.Cent. LM71			327		1703
Q4B F.Cent. SW2 - Max N			387		2010
Q4C F.Cent. SW2 - Max Mlong			232		1206
Q8A Attrito. LM71		183		0	
Q8B Attrito. SW2 - Max N		206		0	
Q8C Attrito. SW2 - Max Mlong		146		0	
Q5.1 Vento scarico			168		260
Q5.2 Vento carico			452		1676
E Azione sismica	2321	3973	3973	8344	8344

Tab. 1. Azioni elementari in testa pila.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	BRETELLA DI SIBARI					
Relazione di predimensionamento strutturale viadotti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2V	00	R14	RHV10000002	A	22 di 29

7.3 Sollecitazione base pila

Le sollecitazioni alla base della pila per ogni combinazione di carico, nel caso di altezza di pila più critico si riportano nella seguente tabella.

	Fvert [kN]	Flong [kN]	Ftrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
SLU-gr1-Treno-LM71	16995	1016	634	10457	7883
SLU-gr1-Treno-SW2A	17826	959	705	10050	8416
SLU-gr1-Treno-SW2B	15651	618	481	8943	5659
SLU-gr3-Fre/avv-LM71	16995	1741	317	18069	4125
SLU-gr3-Fre/avv-SW2A	17826	1593	353	16711	4208
SLU-gr3-Fre/avv-SW2B	15651	998	241	12940	2829
SLU-gr1+vento-LM71	16995	1016	1041	10457	12277
SLU-gr1+vento-SW2A	17826	959	1112	10050	12811
SLU-gr1+vento-SW2B	15651	618	888	8943	10053
SLU-gr2+vento-LM71	12389	291	1041	2066	11909
SLU-gr2+vento-SW2A	12389	324	1112	2302	12811
SLU-gr2+vento-SW2B	12389	237	888	1684	10053
SLU-gr3+vento-LM71	16995	1741	724	18069	8520
SLU-gr3+vento-SW2A	17826	1593	759	16711	8602
SLU-gr3+vento-SW2B	15651	998	647	12940	7224
SLU-vento-scarico	12389	107	251	758	2173
SLV-long	8746	4763	1427	43983	13414
SLV-trasv	8861	1616	4564	15033	42251
SLV-vert	6735	1534	1406	14512	13108

Tab. 2. Sollecitazioni alla base della pila per ogni combinazione di carico

7.4 Deformabilità

Lo spostamento della singola campata soggetta, convenzionalmente, alle sole azioni di frenatura de un treno di carico LM71, per singolo binario, non deve superare i 5 mm, come prescritto nell'Allegato 3 del "Manuale di Progettazione delle Opere Civili".

Forza massima di frenatura	F_f	660 kN
Altezza pila estradosso appoggi	h	7.10 m
Rigidezza flessionale longit.	I	31.68 m ⁴
Modulo elastico	E	3.36E+04 MPa
Spostamento in testa pila	$d = F_f h^3 / (3EI)$	0.07 mm

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	BRETELLA DI SIBARI					
Relazione di predimensionamento strutturale viadotti	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RC2V	00	R14	RHV10000002	A	23 di 29

7.5 Verifica allo spiccato del fusto

La verifica allo SLU flessionale della sezione in oggetto viene effettuata mediante l'ausilio del programma CARSECN, sviluppato da CFCSL e usato in numerosi progetti nazionali e internazionali. Di seguito viene riportato l'output del programma per la sezione in oggetto e per le combinazioni più gravose descritte nei precedenti paragrafi.

L'armatura longitudinale è costituita da $\varnothing 32/0.20$ m.

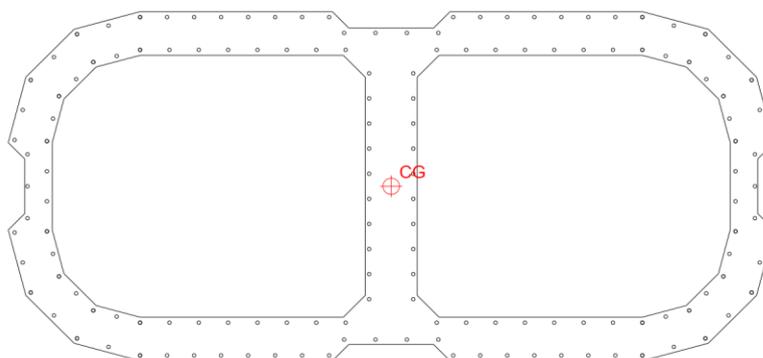


Figura 8 - Sezione implementata in CARSECN.

7.5.1 Verifica a presso flessione

Tra le combinazioni di carico SLU e SLV riportate in precedenza, si individuano quelle con cui si ottengono le massime sollecitazioni di sforzo normale, momento longitudinale e momento trasversale.

Ipotesi		Fvert [kN]	Flong [kN]	Ftrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
1	SLU-MaxN	17826	1593	759	16711	8602
2	SLU-MaxMlong	16995	1741	724	18069	8520
3	SLU-MaxMtras	12389	324	1112	2302	12811
4	SLV-vert	6735	1534	1406	14512	13108
5	SLV-long	8746	4763	1427	43983	13414
6	SLV-trasv	8861	1616	4564	15033	42251

Tab. 3. Combinazioni di carico di calcolo.

Si ottengono i seguenti risultati:

Ipotesi	N [kN]	Mx [mkN]	My [mkN]	Mxu [mkN]	Myu [mkN]	Coef.
1	-17826.00	16711.00	8602.00	58364.77	30042.50	3.49
2	-16995.00	18069.00	8520.00	59453.66	28032.83	3.29
3	-12389.00	2302.00	12811.00	18417.06	102504.45	8.00
4	-6735.00	14512.00	13108.00	53679.36	48487.20	3.70
5	-8746.00	43983.00	13414.00	64359.45	19633.02	1.46
6	-8861.00	15033.00	42251.00	31291.00	87967.06	2.08

Tab. 4. Verifica sezione pila.

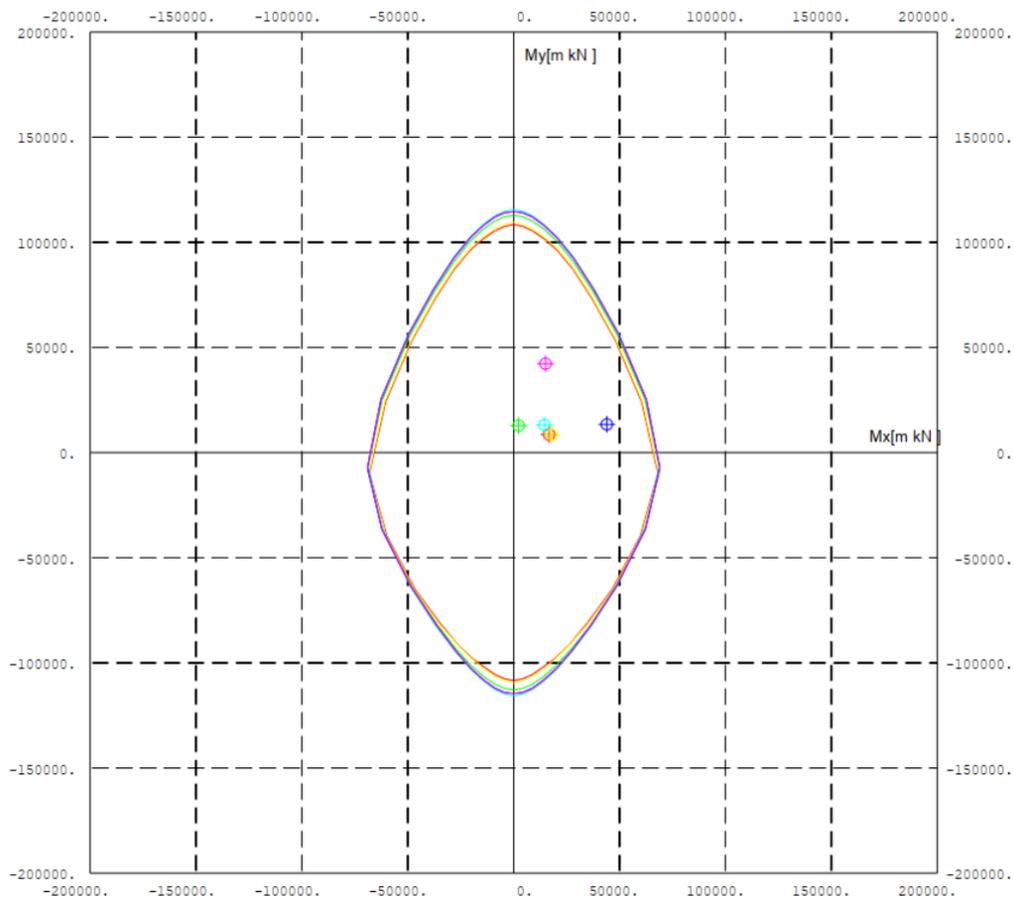


Figura 9. Diagramma sforzo normale – momento flettente [kN, m]

8. TIPOLOGICO B

8.1 Geometria

La pila in esame, su cui poggia da una parte un impalcato da 30 m in sezione mista e dall'altra un impalcato a travata metallica di tipo a maglia triangolare aperta a passaggio inferiore, di luce 60 m, entrambi singolo binario; presenta un fusto a sezione rettangolare cava in c.a., di dimensioni esterne pari a 10.45 m x 3.20 m su cui grava un pulvino, di spessore pari a 2.20 m e dimensioni esterne pari a quelle del fusto. Riconducibili a tale tipologia sono presenti 2 pile nel viadotto *VI01*, di altezze di pila (incluso pulvino) pari a 6.10 e 7.40 m. L'altezza di pila (incluso pulvino) di riferimento considerata per i calcoli è pari a 7.40 m.

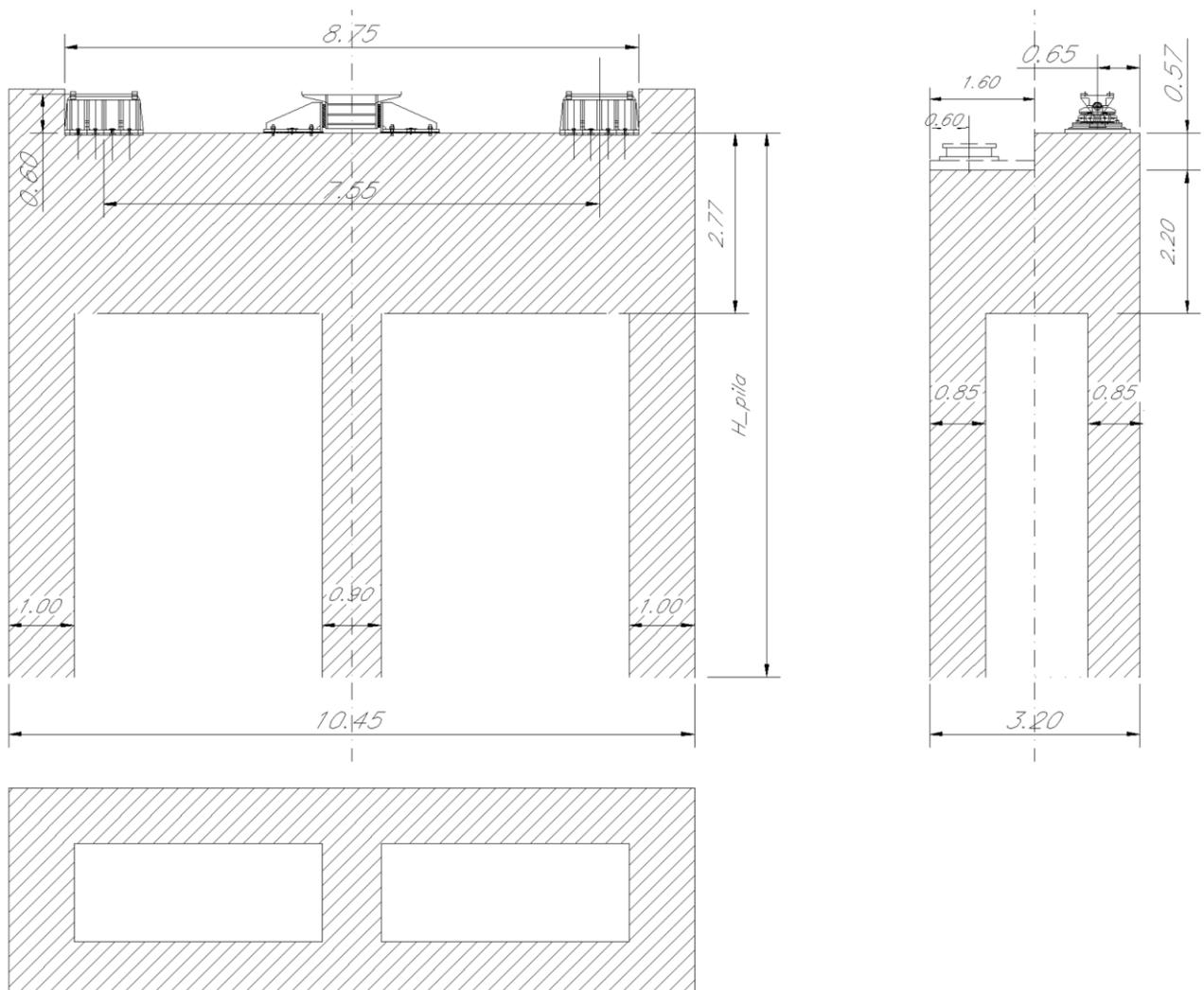


Figura 10 – Geometria pila [m].

8.2 Riepilogo azioni elementari

Si riportano di seguito le azioni elementari in testa pila per le pile di questa tipologia, calcolati come descritto nella sezione “6. CARICHI”.

Carico	Fvert [kN]	Flong [kN]	Ftrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
G1 Perm. Strutturale	5400			900	
G2 Perm. Non Strutturale	6075			3525	
Q1A Traff. Vert. LM71	4497			1857	359
Q1B Traff. Ver. SW2 - Max N	5700			1800	0
Q1C Traff. Ver. SW2 - Max Mlong	3750			3750	0
Q2A Serpeggio. LM71			110		374
Q2B Serpeggio. SW2 - Max N			100		340
Q2C Serpeggio. SW2 - Max Mlong			100		340
Q3A Fren.\Avv. LM71		1000		3400	
Q3B Fren.\Avv. SW2 - Max N		1330		4522	
Q3C Fren.\Avv. SW2 - Max Mlong		875		2975	
Q4A F.Cent. LM71			464		2410
Q4B F.Cent. SW2 - Max N			588		3055
Q4C F.Cent. SW2 - Max Mlong			387		2010
Q8A Attrito. LM71		272		0	
Q8B Attrito. SW2 - Max N		320		0	
Q8C Attrito. SW2 - Max Mlong		242		0	
Q5.1 Vento scarico			613		2704
Q5.2 Vento carico			755		3412
E Azione sismica	3737	6398	6398	13435	13435

Tab. 5. Azioni elementari in testa pila.

8.3 Sollecitazione base pila

Le sollecitazioni alla base della pila per ogni combinazione di carico, nel caso di altezza di pila più critico si riportano nella seguente tabella.

	Fvert [kN]	Flong [kN]	Ftrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
SLU-gr1-Treno-LM71	29177	1179	832	20385	10712
SLU-gr1-Treno-SW2A	30922	1488	997	23403	12300
SLU-gr1-Treno-SW2B	28094	1045	705	21831	8628
SLU-gr3-Fre/avv-LM71	29177	1904	416	28215	5616
SLU-gr3-Fre/avv-SW2A	30922	2452	498	33817	6150
SLU-gr3-Fre/avv-SW2B	28094	1680	353	28682	4314
SLU-gr1+vento-LM71	29177	1179	1511	20385	18810
SLU-gr1+vento-SW2A	30922	1488	1676	23403	20398
SLU-gr1+vento-SW2B	28094	1045	1385	21831	16726
SLU-gr2+vento-LM71	22657	454	1511	9863	18289
SLU-gr2+vento-SW2A	22657	524	1676	10379	20398
SLU-gr2+vento-SW2B	22657	411	1385	9542	16726
SLU-gr3+vento-LM71	29177	1904	1095	28215	13715
SLU-gr3+vento-SW2A	30922	2452	1178	33817	14248
SLU-gr3+vento-SW2B	28094	1680	1032	28682	12412
SLU-vento-scarico	22657	193	919	7933	10858
SLV-long	15659	8058	2423	81265	23404
SLV-tran	15900	2749	7831	30876	74786
SLV-vert	12364	2642	2405	30167	23117

Tab. 6. Sollecitazioni alla base della pila per ogni combinazione di carico

8.4 Deformabilità

Lo spostamento della singola campata soggetta, convenzionalmente, alle sole azioni di frenatura de un treno di carico LM71, per singolo binario, non deve superare i 5 mm, come prescritto nell'Allegato 3 del "Manuale di Progettazione delle Opere Civili".

Forza massima di frenatura	F_f	990 kN
Altezza pila estradosso appoggi	h	7.40 m
Rigidezza flessionale longit.	I	227.63 m ⁴
Modulo elastico	E	3.36E+04 MPa
Spostamento in testa pila	$d = F_f h^3 / (3EI)$	0.02 mm

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COLLEGAMENTO DIRETTO CON LE LINEE METAPONTO-REGGIO CALABRIA E COSENZA – SIBARI					
	BRETELLA DI SIBARI					
Relazione di predimensionamento strutturale viadotti	COMMESSA RC2V	LOTTO 00	CODIFICA R14	DOCUMENTO RHVI0000002	REV. A	FOGLIO 28 di 29

8.5 Verifica allo spiccato del fusto

La verifica allo SLU flessionale della sezione in oggetto viene effettuata mediante l'ausilio del programma CARSECN, sviluppato da CFCSL e usato in numerosi progetti nazionali e internazionali. Di seguito viene riportato l'output del programma per la sezione in oggetto e per le combinazioni più gravose descritte nei precedenti paragrafi.

L'armatura longitudinale è costituita da $\varnothing 32/0.20$ m.

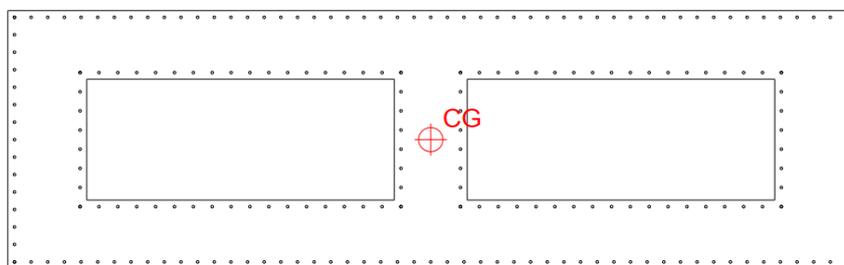


Figura 11 - Sezione implementata in CARSECN.

8.5.1 Verifica a presso flessione

Tra le combinazioni di carico SLU e SLV riportate in precedenza, si individuano quelle con cui si ottengono le massime sollecitazioni di sforzo normale, momento longitudinale e momento trasversale.

Ipotesi		Fvert [kN]	Flong [kN]	Ftrasv [kN]	Mlong [kNm]	Mtrasv [kNm]
1	SLU-MaxN	30922	2452	1178	33817	14248
2	SLU-MaxMlong	30922	2452	1178	33817	14248
3	SLU-MaxMtras	22657	524	1676	10379	20398
4	SLV-vert	12364	2642	2405	30167	23117
5	SLV-long	15659	8058	2423	81265	23404
6	SLV-trasv	15900	2749	7831	30876	74786

Tab. 7. Combinazioni di carico di calcolo.

Si ottengono i seguenti risultati:

Ipotesi	N [kN]	Mx [mkN]	My [mkN]	Mxu [mkN]	Myu [mkN]	Coef.
1	-30922.00	33817.00	14248.00	91642.30	38611.16	2.71
2	-30922.00	33817.00	14248.00	91642.30	38611.16	2.71
3	-22657.00	10379.00	20398.00	65910.66	129516.81	6.35
4	-12364.00	30167.00	23117.00	87156.11	66796.59	2.89
5	-15659.00	81265.00	23404.00	96240.34	27716.95	1.18
6	-15900.00	30876.00	74786.00	60599.06	146771.10	1.96

Tab. 8. Verifica sezione pila.

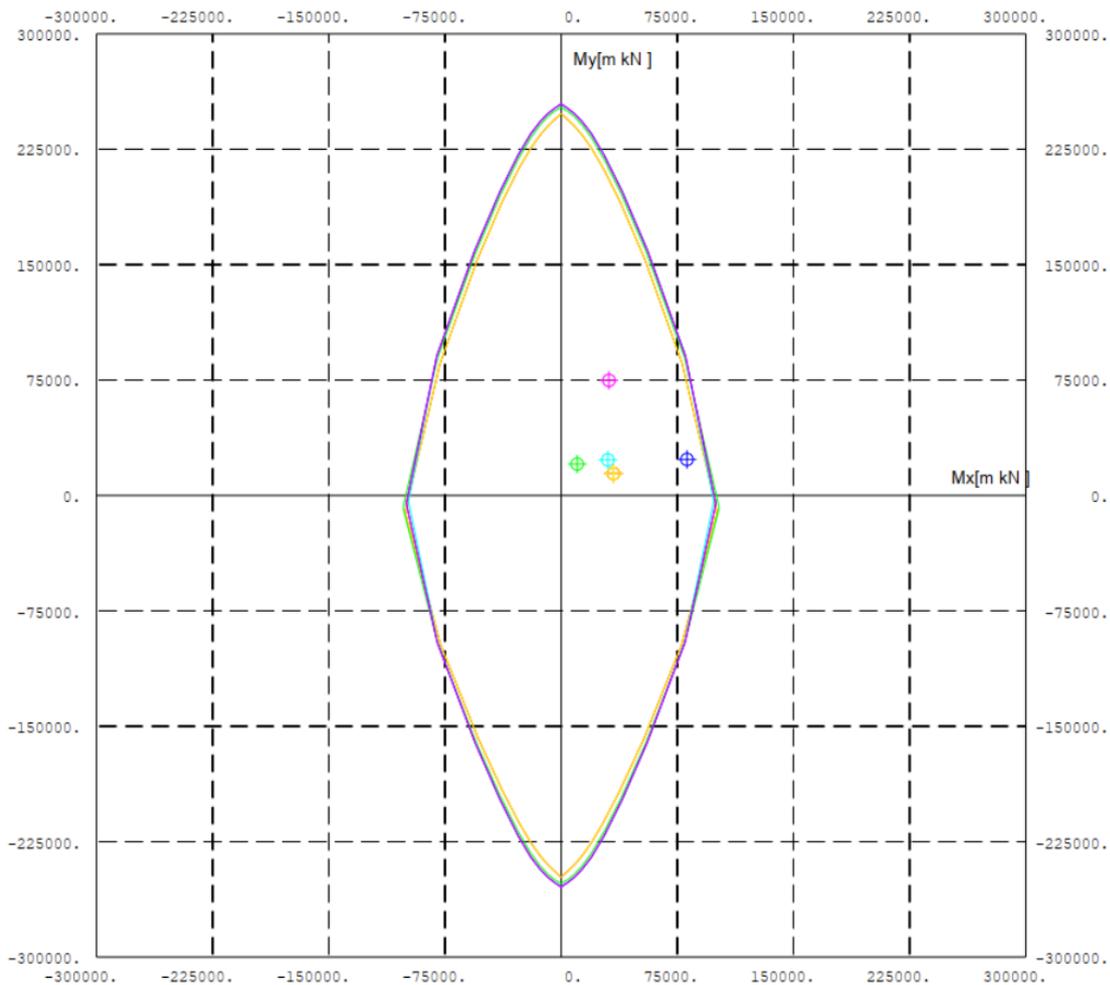


Figura 12. Diagramma sforzo normale – momento flettente [kN, m]