

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

MIGLIORAMENTO SISMICO E OPERE DI COMPLETAMENTO DEI VIADOTTI ESISTENTI DELLA LINEA FERRANDINA MATERA

Relazione di calcolo

Vulnerabilità NV 04

SCALA:

-

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

I A 5 F 0 1 D 0 9 C L N V 0 4 0 0 0 0 1 A /

R	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	I. Lardani	Lug. 2019	S. Di Spigno	Lug. 2019	F. Gernone	Lug. 2019	A. Vittozzi

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili - Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783


File:

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3.	ELABORATI DI RIFERIMENTO	5
4.	MATERIALI	6
5.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	7
5.1	Descrizione delle carpenterie e delle armature	9
6.	AZIONE SISMICA	11
7.	ANALISI DEI CARICHI	19
7.1	Carichi permanenti g1, g2 trasmessi dall'impalcato	19
7.2	Spinta del terreno	20
7.2.1	<i>Spinta statica del terreno</i>	20
7.2.2	<i>Spinta dovuta al sovraccarico accidentale e permanenti portati</i>	21
7.2.3	<i>Spinta sismica del terreno</i>	22
7.3	Forze inerziali dovute al sisma	24
7.4	Combinazione dei carichi	25
8.	RISULTATI DELLE ANALISI	26
8.1	Sollecitazioni alla base del muro frontale	26
8.2	Sollecitazioni a quota intradosso fondazioni	29
9.	VERIFICHE DI SICUREZZA	30
9.1	Appoggi	30
9.1.1	<i>Indice di rischio in spostamento degli appoggi</i>	32
9.1.2	<i>Perdita dell'appoggio</i>	33
9.1.3	<i>Indice di rischio per perdita dell'appoggio</i>	34
9.2	Spalle – verifica del muro frontale	35
9.2.1	<i>Verifica dei meccanismi duttili</i>	35
9.2.2	<i>Verifica dei meccanismi fragili</i>	36
9.2.3	<i>Indice di rischio in resistenza delle spalle</i>	37
10.	CONCLUSIONI	38

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è la definizione della vulnerabilità sismica del Cavalcavia NV04 – cavalcavia 14+559 (ex14+393), che scavalca la linea Ferrandina Matera.

L'opera si compone di 1 singola campata da 21m con un impalcato di larghezza 6 m e schema statico di travi poggiate.

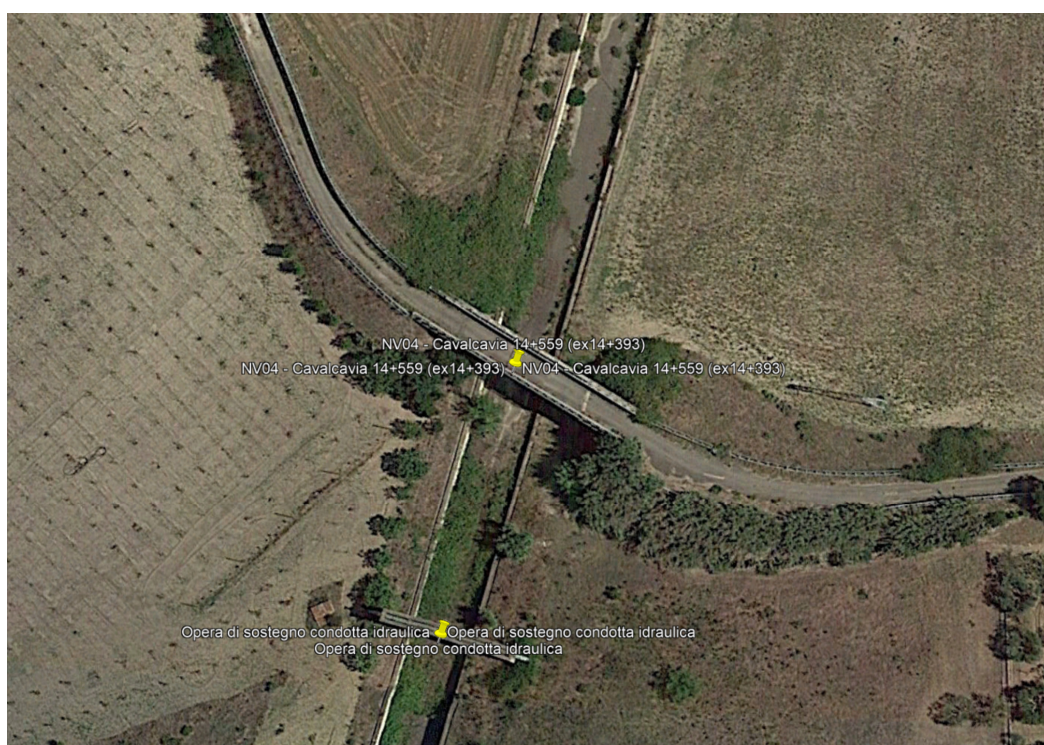


Figura 1 – Vista dell'opera

La risposta sismica dell'opera determina delle soggezioni alla sicurezza della sottostante linea ferroviaria. Pertanto il presente studio è volto a valutare l'entità di tali soggezioni.

Gli elementi/meccanismi presi a riferimento nello studio sono i seguenti:

- Collasso dei muri frontali delle spalle;
- Collasso degli apparecchi d'appoggio;
- Perdita d'appoggio delle travi.

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

Per ciascuno dei meccanismi indicati è stato valutato l'indice di rischio sismico nei vari stati limite di riferimento, espresso attraverso il rapporto tra l'accelerazione sismica al suolo di capacità (PGA_c) e quella di domanda (PGA_d):

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d}$$

In generale il valore minimo ottenuto tra tutti i meccanismi indagati è rappresentativo del grado di sicurezza sismica dell'opera.


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [2] RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture
- [3] Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [4] Progetto DOC-Reluis 2005-2008 – linea 3: Valutazione e riduzione del rischio sismico di ponti esistenti – “linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.” marzo 2009
- [5] EUROCODE 1998-1 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [6] EUROCODE 1998-2 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 2: Ponti

3. ELABORATI DI RIFERIMENTO

TITOLO ELABORATO	CODIFICA ELABORATO
pianta e sezione long impalcato	23
carpenterie e armature	21
relazione di calcolo	27

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

4. MATERIALI

La tabella seguente riassume le caratteristiche dei materiali impiegate nell'analisi sismica dell'opera, rimandando, per maggiori informazioni circa prove effettuate e livello di conoscenza raggiunto alla specifica relazione illustrativa (IA5F01D09ROVI0000001A).

Spalle	Meccanismi duttili	Meccanismi fragili
resistenza a compressione cls f_c (Mpa)	16.67	11.11
resistenza a trazione armatura f_y (Mpa)	312.5	272.7
deformazione ultima del calcestruzzo ϵ_{cc}	0.35%	-
deformazione di snervamento armatura ϵ_{sy}	0.19%	-
deformazione ultima armatura ϵ_{su}	4.0%	-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

5. DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera oggetto delle analisi è un cavalcavia stradale che attraversa la linea ferroviaria Ferrandina-Matera a binario singolo.

Il cavalcavia è costituito da una sola campata in c.a.p. in semplice appoggio di luce pari a 21m ($L_c=19.50m$); l'opera presenta uno sghembo di 75° rispetto all'asse ferroviario.

Le spalle sono costituite da strutture scatolari in c.a. (muro frontale di spessore 1.55 m, muri andatori di spessore 0.8m, zattera di fondazione 5.60×10.66 m e spessore 1.50m) con fondazione su 12 pali D800.

Le travi d'impalcato poggiano su cuscinetti in gomma armata di dimensioni $15cm \times 39.5cm \times 4cm$.

Le figure seguenti rappresentano alcuni estratti significativi degli elaborati di progetto originali:

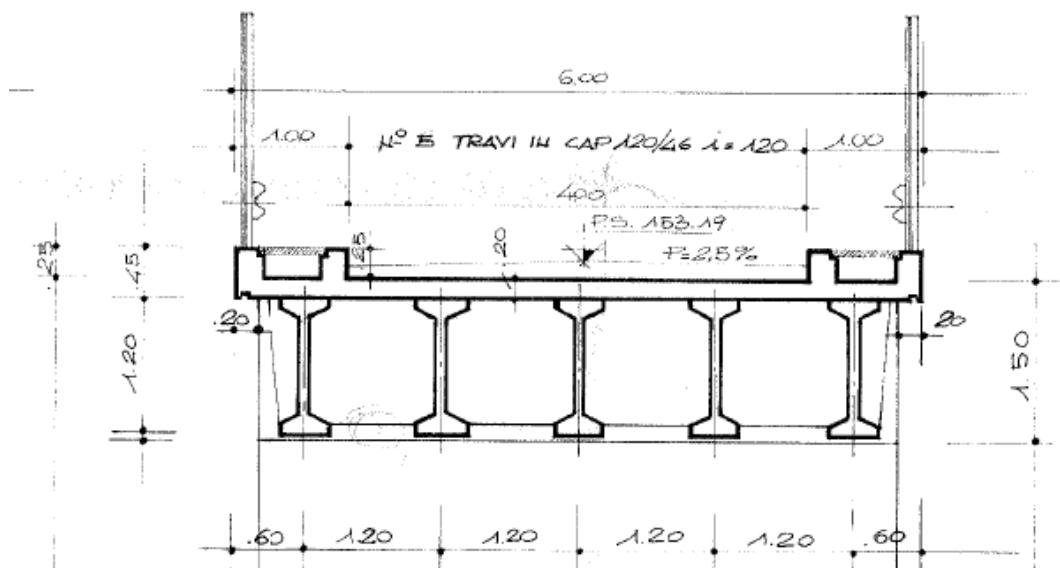


Figura 2 - Sezione trasversale impalcato

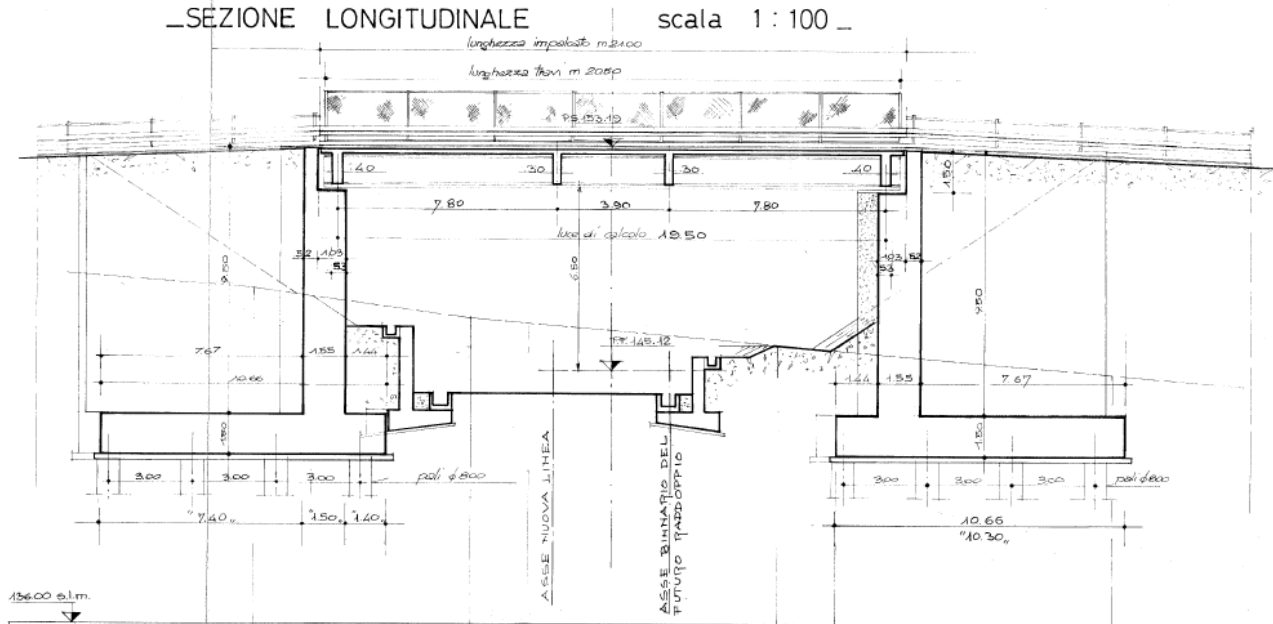


Figura 3 – Sezione Longitudinale

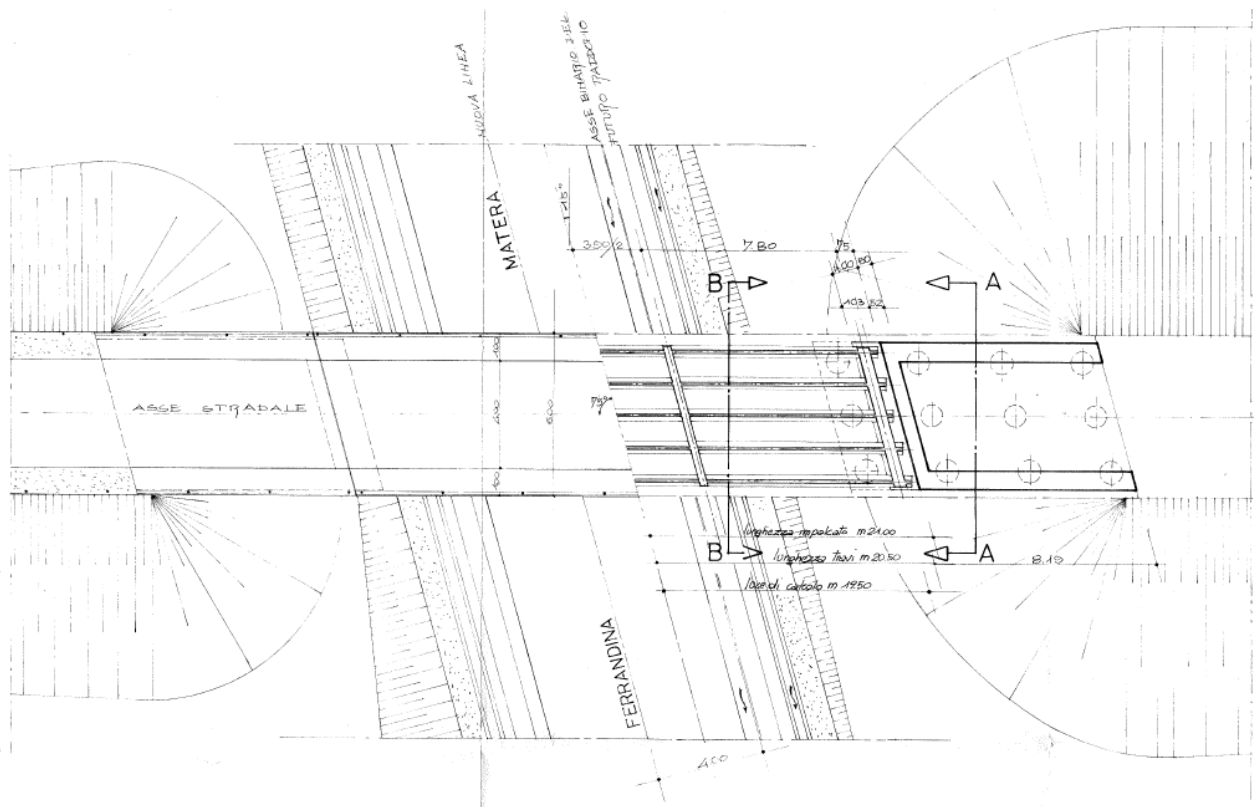


Figura 4 – Pianta

5.1 Descrizione delle carpenterie e delle armature

Dagli elaborati del progetto originale si evince la configurazione delle carpenterie e delle armature relative ai vari elementi strutturali. In particolare, per le analisi di interesse della presente relazione, si riporta il dettaglio delle armature delle spalle:

Muro frontale	esterno	interno
flessione	$\phi 16/25$	$\phi 26/25 + \phi 26/25 + \phi 16/25$
taglio	$\phi 16/75 \times 75$	

I pali di fondazione, hanno diametro $d=0.8m$ e armatura costituita da:

	superiore	inferiore
flessione	12 $\phi 18$	6 $\phi 18$
taglio	$\phi 8/10$	$\phi 8/20$

Di seguito il dettaglio delle tavole di progetto:

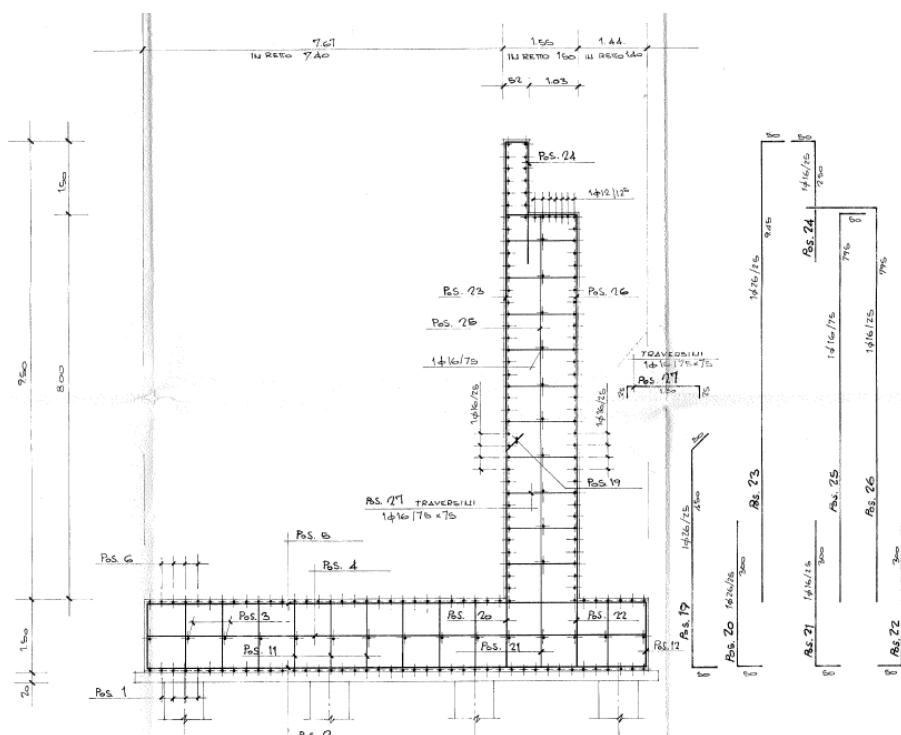


Figura 5 – Sezione della spalla

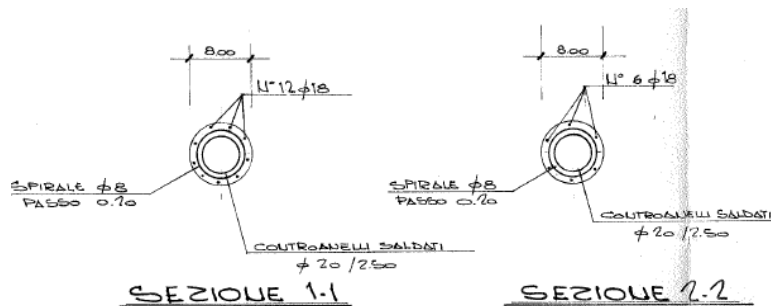
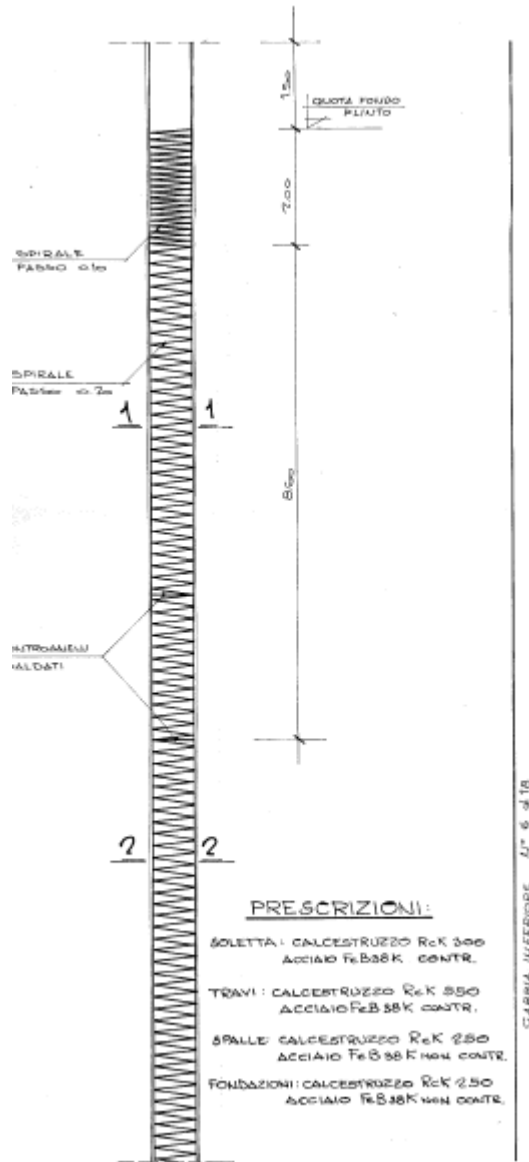



Figura 6 – Armatura del palo di fondazione

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

6. AZIONE SISMICA

Lo spettro di progetto è stato identificato nel rispetto del §2.4 e del §3.2 delle norme NTC2018. Si definiscono quindi i parametri per individuare lo spettro da utilizzare nelle analisi:

V_N	=	50 [anni]
Classe d'uso		II
C_u	=	1
V_R	=	$50 \times 1 = 50$ [anni]
Categoria di sottosuolo	=	E

L'azione sismica viene determinata a partire dalla definizione della pericolosità sismica di base del sito in cui ricade l'opera, definita mediante spettro di risposta elastico in accelerazione in accordo a quanto prescritto al § 3.2 NTC2018, espresso da uno spettro normalizzato riferito ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicato per il valore dell'accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Per la sua determinazione si è fatto uso del software free *SPETTRI-NTC ver. 1.0.3* fornito dal MIT, del quale si riportano i passaggi essenziali, con simboli come dal punto citato delle NTC 2018 e riferimento al sito in cui è ubicata l'opera.

Per la determinazione della categoria di sottosuolo si fa riferimento alla relazione IA5F03D09ROVI0000003A.

Si riportano nelle figure che seguono la determinazione dello spettro elastico per il caso del cavalcavia in esame.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE: PROVINCIA: COMUNE:


Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta |>>>
Variabilità dei parametri |>>>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri |>>>

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione:

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

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

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

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

Stati limite di esercizio - SLE

- SLO - $P_{VR} = 81\%$
- SLD - $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU

- SLV - $P_{VR} = 10\%$
- SLC - $P_{VR} = 5\%$

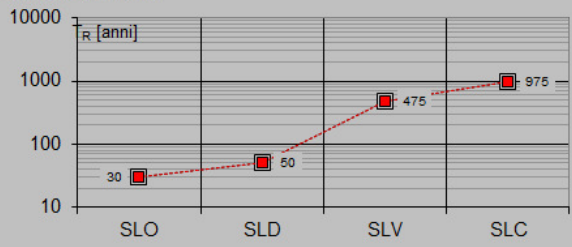
Elaborazioni

Grafici parametri azione |>>>
Grafici spettri di risposta |>>>
Tabella parametri azione |>>>

LEGENDA GRAFICO

----□---- Strategia per costruzioni ordinarie
-.-.-■-.-.- Strategia scelta

Strategia di progettazione



SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.040	2.458	0.289
SLD	50	0.055	2.496	0.303
SLV	475	0.159	2.477	0.331
SLC	975	0.205	2.497	0.334

Stato limite di collasso - SLC

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato SLC ▼ info

Risposta sismica
 Categoria di sottosuolo E ▼ info $S_s =$ 1.437 $C_c =$ 1.784 ▼ info
 Categoria topografica T1 ▼ info $h/H =$ 0.000 $S_T =$ 1.000 ▼ info
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) 5 $\eta =$ 1.000 ▼ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_o 3 Regol. in altezza si ▼ info

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

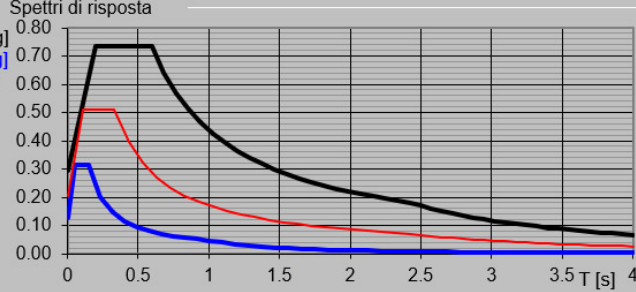
Elaborazioni
 Grafici spettri di risposta ▶▶▶
 Parametri e punti spettri di risposta ▶▶▶

$S_{d,o}$ [g]

$S_{d,v}$ [g]

S_e [g]

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

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

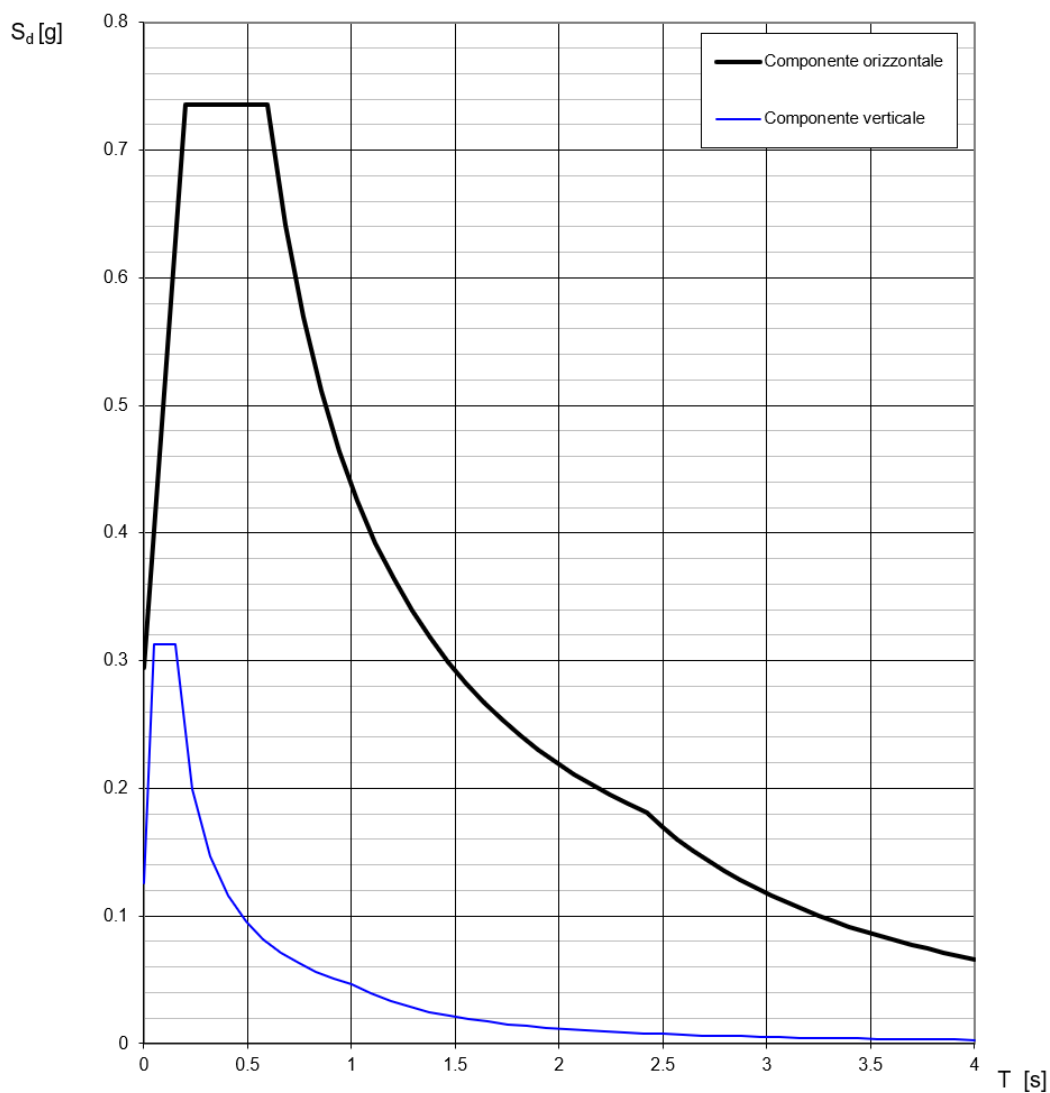


Figura 7- Spettro elastico SLC

Stato limite di salvaguardia della vita – SLV

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato **SLV** info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo **E** info

$S_S = 1.567$

$C_C = 1.790$ info

Categoria topografica **T1** info

$h/H = 0.000$

$S_T = 1.000$ info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento ξ (%) **5**

$\eta = 1.000$ info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore q_0 **3**

Regol. in altezza **si** info

Compon. verticale

Spettro di progetto

Fattore q **1**

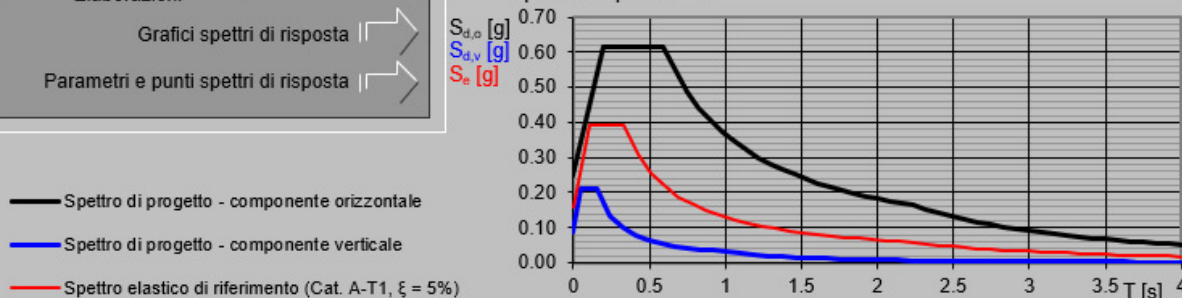
$\eta = 1.000$ info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta

Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta



INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

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

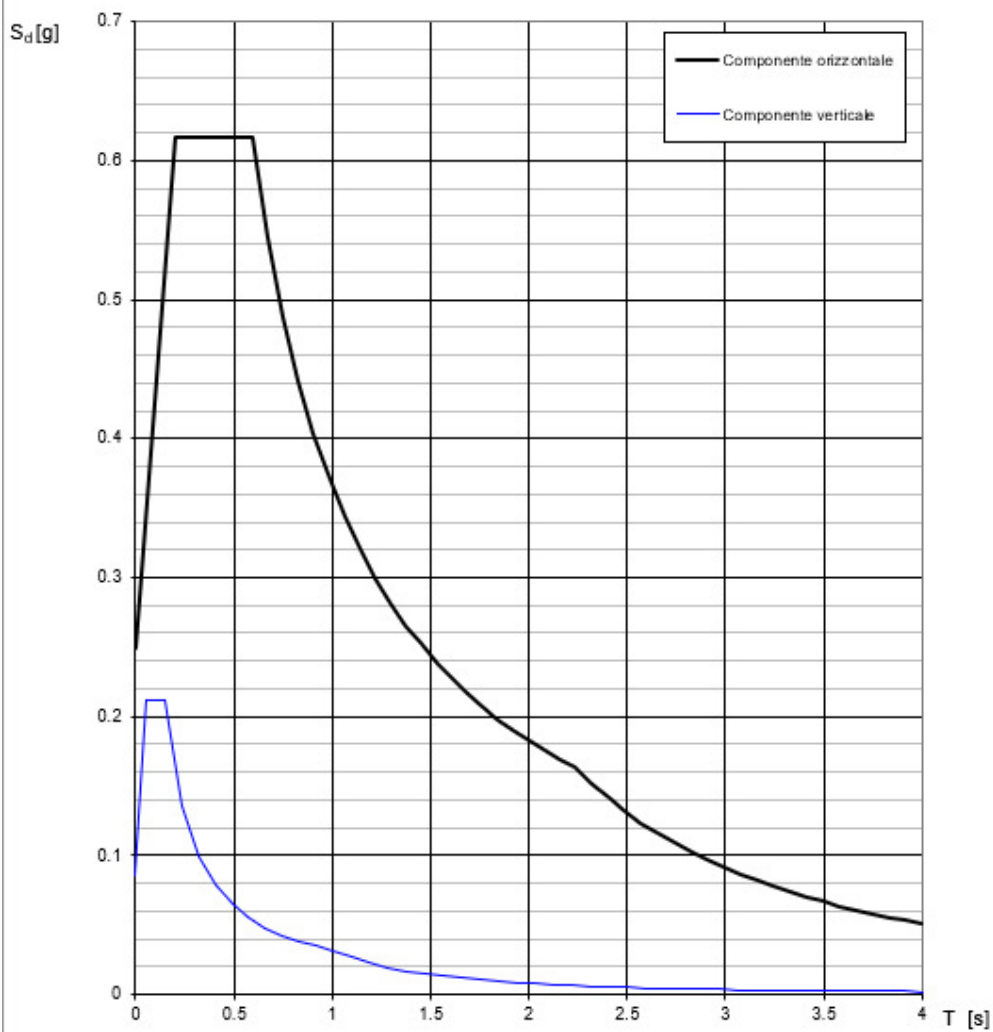


Figura 8- Spettro elastico SLV

Stato limite di danno - SLD

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato SLD [info](#)

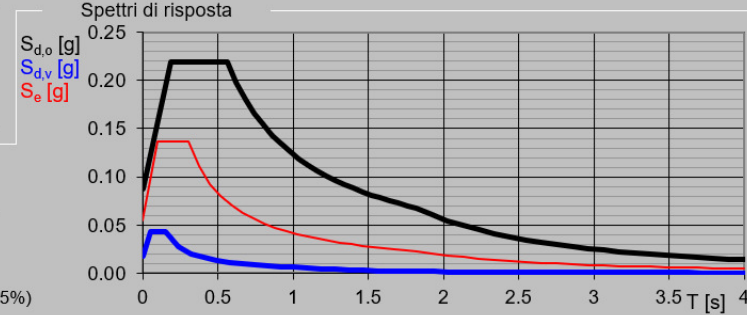
Risposta sismica
 Categoria di sottosuolo E [info](#) $S_S =$ 1.600 $C_C =$ 1.853 [info](#)
 Categoria topografica T1 [info](#) $h/H =$ 0.000 $S_T =$ 1.000 [info](#)
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%) 5 $\eta =$ 1.000 [info](#)
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_0 3 Regol. in altezza si [info](#)

Compon. verticale
 Spettro di progetto Fattore q 1 $\eta =$ 1.000 [info](#)

Elaborazioni
[Grafici spettri di risposta](#) [Parametri e punti spettri di risposta](#)

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale
 — Spettro di progetto - componente verticale
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1, $\xi = 5\%$)

$S_{d,o}$ [g]
 $S_{d,v}$ [g]
 S_e [g]

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

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

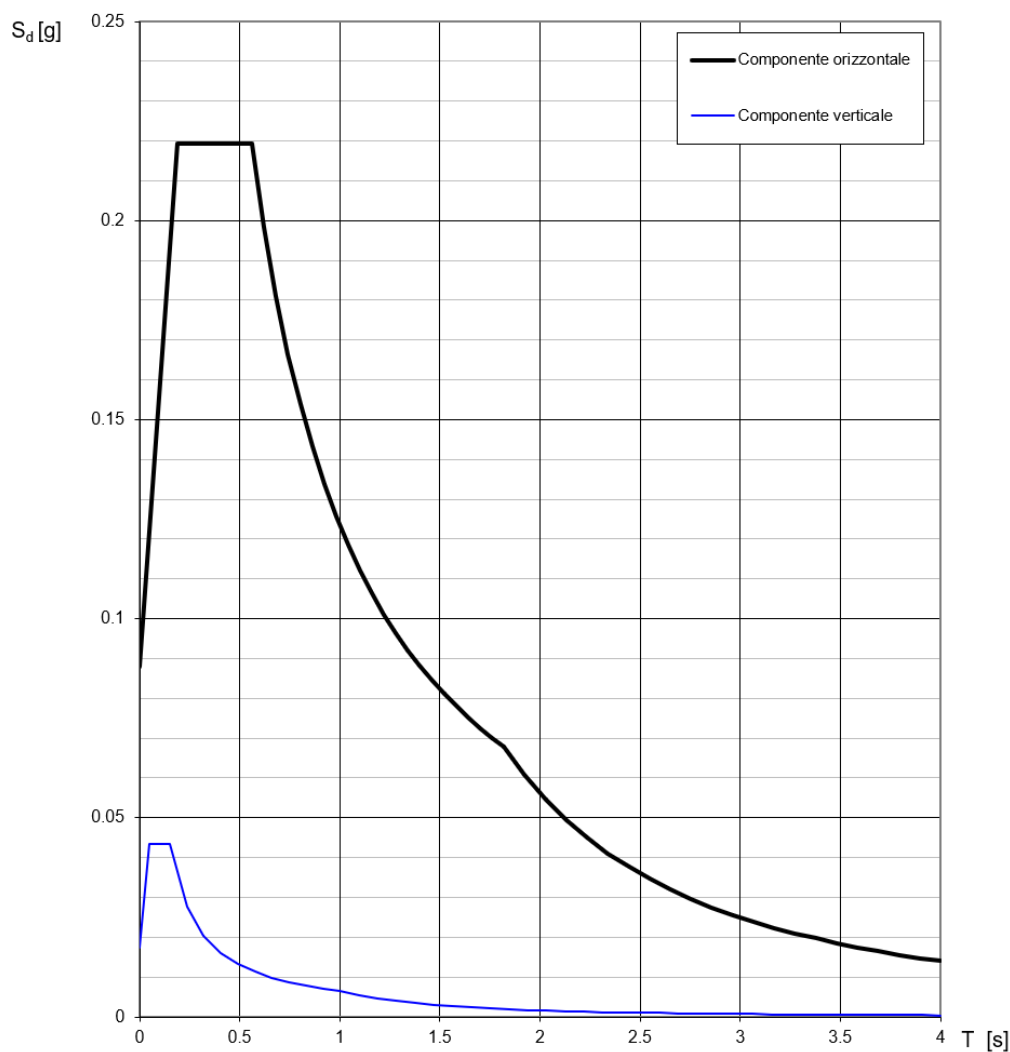


Figura 9- Spettro elastico SLD

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

7. ANALISI DEI CARICHI

Il peso proprio strutturale delle opere è valutato sulla base dei pesi per unità di volume dei diversi materiali da costruzione.

Cemento armato:

$$\gamma_c = 25.00 \text{ KN/m}^3$$

Bitume per pavimentazione:

$$\gamma_p = 20.00 \text{ KN/m}^3$$

7.1 Carichi permanenti g1, g2 trasmessi dall'impalcato

G1


A trave	0.21	m2
num travi	5	-
L trave	20.5	m
A soletta	1.2	m2
L soletta	21	m
A cordoli	0.2	m2
L cordoli	21	m
Vol travi	21.5	m3
Vol soletta	29.4	m3
Vol tot	50.9	m3

num trasversi	3	-
h trasv	1.08	m
b trasv	5.26	m
Vol trasversi	17.0	m3

peso impalcato 1699 kN

G2

sp. Pavim	0.1	m
B pavim	4	m
L imapcato	21	m
vol pavim	8.4	m3
Peso pavim	168	kN

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

barriere
 peso ml (x2) 4 kN/m
 peso barriere **84** **kN**

P tot (G1+G2) 1951 kN

7.2 Spinta del terreno

La seguente tabella riporta i parametri geotecnici caratterizzanti il terreno a tergo della spalla.

Parametri meccanici del terreno di rinterro					
γ_{terr} [KN/m ³]	c (MPa)	ϕ (°)	ψ (°)	δ (°)	ε (°)
19.0	0.00	38.00	90.00	25.33	0.00

7.2.1 Spinta statica del terreno

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

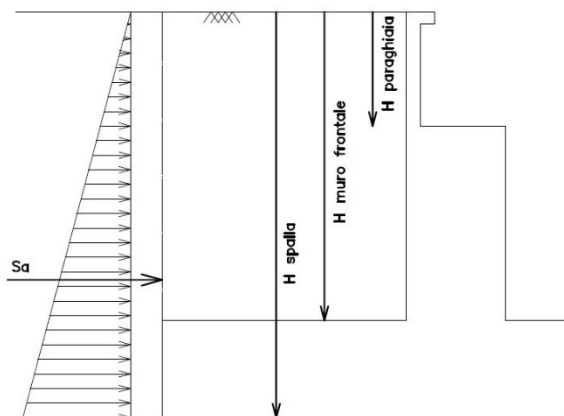


Figura 10 - Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

La spinta sia in condizioni di esercizio che in condizioni sismiche viene calcolata con il coefficiente di spinta attiva k_a .

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

La spinta statica del terreno è determinata secondo la teoria di Coulomb. In particolare, il coefficiente di spinta attiva è stato definito attraverso la seguente espressione:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \varphi')}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi' + \delta) \cdot \text{sen}(\varphi' - \varepsilon)}{\text{sen}(\psi - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

dove:

ψ inclinazione paramento interno della spalla;

φ' angolo d'attrito efficace del terreno di riempimento a tergo della spalla;

δ angolo d'attrito terra-paramento (in prima approssimazione pari a 2/3 di φ');

ε inclinazione del terreno a tergo della spalla.

7.2.2 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale e permanenti portati

Per considerare la presenza di un sovraccarico da traffico gravante sulla spalla e a tergo di essa, si considera un carico uniformemente distribuito di lunghezza indefinita con valore pari a $q = q_{\text{accidentali}} + q_{\text{permanenti portati}}$.

Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a $S = k_a \cdot q \cdot H$, con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste. Tale forza si considera agente in senso longitudinale su tutta la larghezza della spalla.

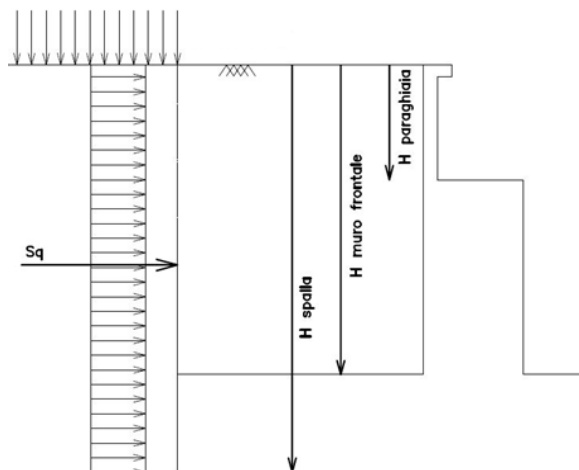



Figura 11 - Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

7.2.3 Spinta sismica del terreno

La spinta complessiva del terreno sull'opera in condizione sismica è valutata sulla base della teoria di Mononobe-Okabe:

$$k_a = \frac{\sin^2(\psi + \varphi' - \vartheta)}{\cos \vartheta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \vartheta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi' + \delta) \cdot \sin(\varphi' - \varepsilon - \vartheta)}{\sin(\psi - \vartheta - \delta) \cdot \sin(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

Dove:

ψ inclinazione paramento interno della spalla;

φ' angolo d'attrito efficace del terreno di riempimento a tergo della spalla;

δ angolo d'attrito terra-paramento (in prima approssimazione pari a 2/3 di φ');

ε inclinazione del terreno a tergo della spalla.

$$\vartheta = \arctan\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

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

$$k_v = 0.5 \cdot k_h$$

è un coefficiente definito pari a 0.38 nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV) e pari a 0.47 nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD) (rif. §7.11.6.2.1. del DM 17.01.2018).

L'incremento dovuto all'azione sismica agente sulla spalla (ΔS_{sism}), calcolato come differenza fra la spinta complessiva sismica e quella statica (S_{stat}), viene applicato come illustrato di seguito:

Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	CL	NV0400001	A	23 di 38

$$S_{stat} = k_a \cdot \left(\frac{\gamma_t h_s^2}{2} + \gamma_t h_r h_s + q h_s \right)$$

è la spinta litostatica;

$$S_{sism} = k_{as} \cdot \left((1 + k_v) \cdot \frac{\gamma_t h_s^2}{2} + \gamma_t h_r h_s + q h_s \right)$$

è la spinta sismica;

$$\Delta S_{sism} = S_{sism} - S_{stat}$$

è l'incremento di spinta sismico;

γ_t è il peso per unità di volume del terreno a tergo della spalla;

q è il sovraccarico agente superiormente (ulteriori strati di terreno, armamento e carico da treno).

- Alle azioni sopra indicate si aggiungono le azioni inerziali correlate alle masse strutturali dell'opera (muro e ciabatta di fondazione) e del terreno imbarcato; queste ultime pari ad $a_{max} \cdot W_i$, essendo a_{max} l'accelerazione di aggancio dello spettro per la categoria di suolo in oggetto e w_i il peso strutturale dell'opera o il peso del terreno imbarcato.
- Infine, ai carichi sopra indicati si aggiungeranno le azioni trasmesse dall'impalcato alla sommità dell'opera.
- Alle azioni descritte sono aggiunte quelle concernenti il carico da traffico in funzione del corrispondente coefficiente di combinazione $\psi_2=0.2$.

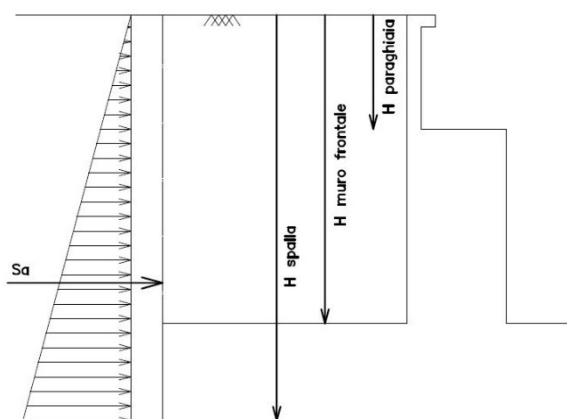


Figura 12 - Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

7.3 Forze inerziali dovute al sisma

In fase sismica si devono considerare le azioni orizzontali e verticali agenti sulla spalla dovute all'inerzia delle parti in calcestruzzo e del rinterro compreso tra i muri andatori. Le risultanti orizzontali e verticali sono rispettivamente pari a $F_h = k_h \cdot W$ e $F_v = k_v \cdot W$, dove i coefficienti k_h e k_v sono calcolati come esposto al paragrafo 7.11.3.5.2 delle NTC18 risultando pari a $k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g$, $k_v = \pm 0.5 k_h$ con $a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$. Il coefficiente β_m , come mostrato nella tabella riportata al paragrafo precedente, viene assunto pari a 0.38 per le verifiche SLV e 0.47 per le verifiche SLD.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

7.4 Combinazione dei carichi

Le verifiche di sicurezza strutturali e geotecniche sono state condotte utilizzando le combinazioni di carico definite in ottemperanza al Ref. 1 e Ref. 4.

Le verifiche di sicurezza strutturali e geotecniche dei pali sono state condotte utilizzando la combinazione A1+M1+R3, in ottemperanza alle NTC18.

Nelle tabelle seguenti, si riportano i dati relativamente alle sole combinazioni sismiche.

	SLV			
	SLV1	SLV2	SLV3	SLV4
Peso proprio	1.00	1.00	1.00	1.00
Peso rinterro	1.00	1.00	1.00	1.00
sovrastuttura stradale	1.00	1.00	1.00	1.00
peso accidentali traffico	0.20	0.20	0.20	0.20
Spinta terreno (K0)	1.00	1.00	1.00	1.00
Spinta sovraccarico sovrastuttura (K0)	1.00	1.00	1.00	1.00
Spinta acc. Traffico (K0)	0.20	0.20	0.20	0.20
Incremento spinta sismica terreno	1.00	1.00	1.00	1.00
Effetti inerziali struttura long.	1.00	1.00	0.30	0.30
Effetti inerziali struttura trasv.	0.30	0.30	1.00	1.00
Effetti inerziali verticali (+)	0.30	-0.30	0.30	-0.30
Permanenti da impalcato	1.00	1.00	1.00	1.00
Traffico da impalcato	0.00	0.00	0.20	0.20
Resistenza parassita vincoli	1.00	1.00	1.00	1.00
Sisma long	1.00	1.00	0.30	0.30
Sisma trasv	0.30	0.30	1.00	1.00
Sisma vert	0.30	-0.30	0.30	-0.30

8. RISULTATI DELLE ANALISI

8.1 Sollecitazioni alla base del muro frontale

Di seguito si riportano per esteso i calcoli delle varie azioni che gravano sul muro frontale della spalla.

PESO PROPRIO SPALLA

ELEMENTI	b _l [m]	b _t [m]	H [m]	V [m ³]	P [kN]	e _l [m]	e _t [m]	e _v [m]	m _l [kN m]	m _t [kN m]
Muro Paraghiaia	0.52	5.60	1.50	4.4	109	-1.70	0.00	8.75	-186	0
Muro frontale	1.55	5.60	8.00	69.4	1736	0.00	0.00	4.00	0	0
Azione totale in fondazione				74	1845				-186	0

Peso dei sovraccarichi permanenti (g2)

ELEMENTI	b _l [m]	b _t [m]	h [m]	q _p [kN/m ²]	P [kN]	e _l [m]	e _t [m]	e _v [m]	m _l [kN m]	m _t [kN m]
Pavimentazione	0.52	4.00	-	2.20	5	-0.38	0.00	9.50	-2	0
			0		5				-2	0

Peso dei sovraccarichi accidentali (q1)

ELEMENTI	b _l [m]	b _t [m]	h [m]	q _v [kN/m ²]	P [kN]	e _l [m]	e _t [m]	e _v [m]	m _l [kN m]	m _t [kN m]
Accidentali	0.52	4.00	-	20.00	42	-0.38	0.00	9.50	-16	0
				20.00	42				-16	0

SPINTA STATICA

Coeff. di spinta attiva	K _a	0.217
-------------------------	----------------	--------------

	γ [kN/m ³]	φ' [°]	K _a	H [m]	b [m]	S ₁ [kN]	e _v [m]	m _l [kN m]	m _t [kN m]
Spinta del terreno	19.0	38.00	0.217	9.50	7.67	1426	3.17	4514	0

	q [kN/mq]	K _a	H [m]	b [m]	S ₀ [kN]	e _v [m]	m _l [kN m]	m _t [kN m]
Incremento spinta per sovraccarico sovrastruttura	2.20	0.217	9.50	7.67	35	4.75	165	0
Incremento spinta per carichi accidentali	20.00	0.217	9.50	7.67	316	4.75	1501	0

SPINTA SISMICA (teoria di Mononobe-Okabe)

S_s	1.57	k_{as+}	0.249
S_T	1.00	k_h	0.060
a_g/g	0.159	k_v	0.030
β_m	0.38		
γ_t [kN/m ³]	19.0		
h_s [m]	9.50		
$\gamma_r * h_r$ [kN/m ²]	2.20		
q [kN/m ²]	20.00		
b [m]	7.67		

spinta litostatica	231.6	kN/m
spinta sismica	272.7	kN/m
incremento spinta sismico	41.1	kN/m
ΔE_d [kN]	315	kN
e_v [m]	4.75	
m_i [kN m]	1498	

FORZE SISMICHE INERZIALI

	P [kN]	Direzione orizzontale			Direzione verticale		
		E.I. [kN]	e_v [m]	m_i [kN m]	E.I. [kN]	e_i [m]	m_i [kN m]
Muro Paraghiaia	109	7	8.75	58	3	-1.70	-6
Muro frontale	1736	105	0.00	419	52	0.00	0
Muro andatore SX	1330	80	4.75	382	40	-1.16	-47
Muro andatore DX	1330	80	4.75	382	40	-1.16	-47
Terreno di rinterro	5054	305	4.75	1450	153	-1.16	-177
Tot.		577		2690	289		-276

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

Riepilogando tutte le azioni elementari alla base del muro frontale della spalla, si ottiene la seguente tabella:

Intradosso muro frontale						
	N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]	
Peso proprio	1845	-186	0	0	0	STATICA
sovrastuttura stradale	5	-2	0	0	0	
peso accidentali traffico	42	-16	0	0	0	
Spinta terreno (Ka)	0	4514	0	1426	0	
Spinta sovraccarico sovrastuttura (Ka)	0	165	0	35	0	
Spinta acc. Traffico (Ka)	0	1501	0	316	0	
Incremento spinta sismica terreno	0	1498	0	315	0	SISMICA
Effetti inerziali struttura long.	0	2690	0	577	0	
Effetti inerziali struttura trasv.	0	0	2690	0	577	
Effetti inerziali verticali (+)	289	-276	0	0	0	
permanenti	975	254	0	0	0	AZIONI DA IMPALCATO
traffico	635	165	0	0	0	
Resistenza parassita vincoli	0	53	0	66	0	
Sisma long	0	439	0	549	0	
Sisma trasv	0	0	220	0	274	
Sisma vert	137	36	0	0	0	

Combinando le sollecitazioni sopra elencate, secondo i coefficienti riportati ai precedenti paragrafi, si ottengono i seguenti valori di sollecitazione:

		N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]
SLV	SLV1	2961	9651	873	3031	256
	SLV2	2705	9795	873	3031	256
	SLV3	3088	7493	2910	2243	852
	SLV4	2832	7637	2910	2243	852

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A


8.2 Sollecitazioni a quota intradosso fondazioni

Nelle seguenti tabelle sono riportate le azioni elementari in direzione orizzontale e verticale agenti sulla spalla.

Intradosso fondazione						
	N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]	
Peso proprio	6744	2615	0	0	0	STATICA
Peso rinterro	5054	-5863	0	0	0	
sovrastuttura stradale	75	-29	0	0	0	
peso accidentali traffico	684	-260	0	0	0	
Spinta terreno (Ka)	0	7008	0	1911	0	
Spinta sovraccarico sovrastuttura (Ka)	0	221	0	40	0	
Spinta acc. Traffico (Ka)	0	2012	0	366	0	
Incremento spinta sismica terreno	0	2272	0	413	0	SISMICA
Effetti inerziali struttura long.	0	3658	0	713	0	
Effetti inerziali struttura trasv.	0	0	3658	0	713	
Effetti inerziali verticali (+)	356	-98	0	0	0	
permanenti	975	3291	0	0	0	AZIONI DA IMPALCATO
traffico	635	2143	0	0	0	
Resistenza parassita vincoli	0	126	0	66	0	
Sisma long	0	1043	0	549	0	
Sisma trasv	0	0	521	0	274	
Sisma vert	137	463	0	0	0	

Tali azioni combinate con i coefficienti riportati in precedenza determinano le sollecitazioni di progetto nel baricentro del plinto, alla quota intradosso, esposte nelle tabelle seguenti.

		N [kN]	MI [kNm]	Mt [kNm]	FI [kN]	Ft [kN]
SLV	SLV1	13133	14802	1254	3766	296
	SLV2	12837	14583	1254	3766	296
	SLV3	13260	11940	4180	2882	987
	SLV4	12964	11721	4180	2882	987

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

9. VERIFICHE DI SICUREZZA

9.1 Appoggi

La capacità in termini di massimi **spostamenti orizzontali** tra i due piani superiore ed inferiore dell'appoggio può essere stimata, cautelativamente, come:

$$d_{C,app} = h_{gomma}$$

ossia assumendo una deformazione a taglio pari a 45°.

La verifica è soddisfatta se:

$$d_{D,app} \leq d_{C,app}$$

I valori dei coefficienti di sicurezza $\rho = \text{Domanda/Capacità}$ vengono prima determinati per le due direzioni principali, longitudinale e trasversale, quindi vengono combinati e verificati secondo la seguente espressione:

$$\sqrt{\left(\frac{D_x}{C_x}\right)^2 + \left(\frac{D_y}{C_y}\right)^2} \leq 1$$

La domanda di spostamento dell'appoggio viene stimata in base al periodo di vibrazione associato dell'impalcato poggiate sui cuscinetti in neoprene, considerando la spalla rigidamente connessa al terreno. Sotto tale ipotesi pertanto la deformata dell'appoggio viene a coincidere con lo spostamento sismico dell'impalcato.

Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	CL	NV0400001	A	31 di 38

rigidezza appoggio


l1	0.15 m
l2	0.395 m
A	0.059 m ²
num strati gomma interni	4 -
sp 1 strato interno	0.01 m
num strati gomma esterni	2 -
sp strato esterno	0.0025 m
sp	0.045 m
G	900 kN/m ²
num appoggi per lato	5 -
K neoprene=GA/sp.	1185 kN/m
K tot app.	5.93E+03 kN/m
massa impalcato/2	97.6 ton
T	0.81 s

Sd (T)_SLC **0.088 m**
 δ max appoggio 0.045 m

ρ _SLC **1.95 -**

Sd (T)_SLD **0.025 m**
 δ max appoggio 0.045 m

ρ _SLD **0.55 -**

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

9.1.1 *Indice di rischio in spostamento degli appoggi*

Si determina l'indice di rischio in resistenza I_R degli appoggi confrontando l'accelerazione di picco al suolo che porta alla rottura dell'elemento (PGA di capacità), con l'accelerazione di picco al suolo attesa nel sito (PGA di domanda):

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d}$$

SLC	Capacità	Domanda
PGA [g]	0.151	0.295
Tr [anni]	141	975
I_R	0.513	

SLD	Capacità	Domanda
PGA [g]	0.160	0.088
Tr [anni]	160	50
I_R	1.820	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

9.1.2 Perdita dell'appoggio

Per non avere la caduta dell'impalcato dalla sottostruttura, si deve verificare la lunghezza di sovrapposizione della trave sul pulvino sia superiore a:

$$d_{tot} = l_0 + d_{eg} + d_{es} + 0.5d_{\Delta t}$$

dove

l_0 è un valore di sicurezza posto pari a 400mm;

d_{eg} è lo spostamento sismico relativo del terreno tra le due sottostrutture che sostengono il medesimo impalcato calcolato conformemente al pt. 3.2.4.2 delle NTC18;

d_{es} è lo spostamento sismico relativo tra le due sottostrutture che sostengono il medesimo impalcato derivante dall'analisi, assunto pari alla radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli spostamenti delle pile adiacenti;

$d_{\Delta t}$ è lo spostamento dell'impalcato dovuto all'azione termica uniforme (assunta pari a 30°C).

Si procede al calcolo dei singoli contributi:

- Spostamento relativo del terreno (d_{eg})

$$d_g = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_c \cdot T_D$$

$$d_{ij\max} = 1,25 \sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2}$$

$$d_{ij}(x) = \frac{d_{ij\max}}{v_i} \cdot 3,0x \text{ per sottosuolo di tipo diverso da D.}$$

ag	0.205	g
S	1.437	-
Tc	0.595	s
TD	2.420	s
vs	800	m/s
x	21	m
dgi=dgj	0.1040	m
d ij max	0.184	m
d ij(x) = deg	0.0145	m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

- Spostamento relativo delle sottostrutture adiacenti (d_{es})

$$d_{es} = \sqrt{d_{spalla\ 1}^2 + d_{spalla\ 2}^2}$$

d spalla 1	0.088 m
d spalla 2	0.088 m
d_{es}	0.124 m

- Spostamento per deformazione termica dell'impalcato (d_{Dt})

L	20.5 m
α	1.0E-5 1/°C
Δt	30 °C
d_{Dt}	0.006 m

Si ottiene:

Domanda:

$$d_{tot} = 0.54\ m$$

Capacità:


$$L_{disponibile\ appoggio} = 0.75\ m$$

La lunghezza di sovrapposizione disponibile per l'appoggio delle travi è maggiore dello spostamento massimo che si può verificare allo stato limite di collasso, per cui la verifica risulta soddisfatta.

9.1.3 **Indice di rischio per perdita dell'appoggio**

Dalla verifica condotta l'indice di rischio per perdita d'appoggio delle travi risulta maggiore di 1.

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d} > 1$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

9.2 Spalle – verifica del muro frontale

Le verifiche sono state condotte considerando le azioni sismiche derivanti dallo spettro elastico allo SLV.

9.2.1 Verifica dei meccanismi duttili

Le sollecitazioni massime agenti alla base del muro frontale della spalla sono:

VI max	3031	kN
N min	2705	kN
MI max	9795	kNm

Si calcola il momento resistente corrispondente al relativo valore di sforzo normale (Nmin), calcolati riferendosi ad una sezione resistente comprensiva di muro frontale e muri andatori.

Le armature dei vari elementi componenti la spalla sono:

Muro frontale

armatura interna (tesa) = $\phi 26//25 + \phi 26//25 + \phi 16//25$

armatura esterna (compressa) = $\phi 16//25$

Muro andatore

armatura interna = $\phi 20//25$

armatura esterna = $\phi 16//25$

Si ottiene il seguente momento resistente:

Mrd (Ned) = 30263 kNm

Si ottiene di conseguenza il seguente valore del coefficiente di sicurezza:

$$\rho = \text{domanda} / \text{capacità} = \text{Med}/\text{Mrd} = 0.324$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

9.2.2 Verifica dei meccanismi fragili

La sollecitazione massima di taglio è pari a $V_{max} = 3031$ kN

Classe cls	f_{cm}	20.0	N/mm ²
resistenza di calcolo	f_{cd}	11.1	N/mm ²
larghezza membratura resistente	b_w	5600	mm
altezza membratura resistente	H	1550	mm
altezza utile	d	1489	mm
area della sezione	A_{TOT}	8.34E+06	mm ²
diametro ferro longitudinale equivalente	ϕ eq.	22.7	mm
area armatura	A	404.7	mm ²
	strato	1	
	passo	250	mm
	$n_r/strato$	22	
area armatura totale	A_l	9065	mm ²
percentuale di armatura	rl	0.0011	
sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione	N	2.71E+06	N
	s_{cp}	0.31	N/mm ²
	k	1.37	
	v_{min}	0.25	
	V_{Rd1}	3047	kN
	V_{Rd2}	2475	kN
taglio resistente	V_{Rd}	3047	kN

Si ottiene di conseguenza il seguente valore del coefficiente di sicurezza:

$$\rho = \text{domanda} / \text{capacità} = V_{ed}/V_{rd} = 0.995$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

9.2.3 *Indice di rischio in resistenza delle spalle*

Si determina l'indice di rischio in resistenza I_R delle spalle, ottenuto confrontando l'accelerazione di picco al suolo che porta alla rottura dell'elemento (PGA di capacità), con l'accelerazione di picco al suolo attesa nel sito (PGA di domanda). Nel caso in esame considerato l'esito delle verifiche si può indicare:

$$I_R = \frac{PGA_c}{PGA_d}$$

meccanismo duttile

	capacità	domanda
PGA [g]	0.770	0.249
TR [anni]	> 475	475
IR	3.09	

meccanismo fragile

	capacità	domanda
PGA [g]	0.250	0.249
TR [anni]	> 475	475
IR	1.01	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0400001	REV. A

10. CONCLUSIONI

Come risultato dell'analisi di vulnerabilità del cavalcavia in oggetto, si riportano gli indici di rischio I_R per i meccanismi indagati, quindi l'indice di rischio dell'opera (I_R minimo):

ELEMENTO	MECCANISMO	PGA CAPACITÀ [g]	PGA DOMANDA [g]	I_R
Appoggi SLC	distorsione	0.151	0.295	0.513
Appoggi SLD	distorsione	0.160	0.088	> 1
Perdita appoggio SLC	cinematico	0.408	0.295	> 1
Spalle SLV	pressoflessione	0.770	0.249	> 1
Spalle SLV	taglio	0.250	0.249	> 1
OPERA				0.513

La vulnerabilità sismica dell'opera è determinata dagli appoggi realizzati in *pad* in neoprene armato di limitato spessore (5.5cm), che evidentemente non sono in grado di fornire l'adeguata resistenza e deformabilità per l'azione sismica di progetto (SLC); tuttavia è escludibile la possibilità di caduta dell'impalcato per perdita di appoggio delle travi.