

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.:

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

## 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

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

## 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.

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

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.

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

## 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
<b>pianta e sezione long impalcato</b>	23
<b>carpenterie e armature</b>	21
<b>relazione di calcolo</b>	27

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

#### 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 $\epsilon_{cc}$	0.35%	-
deformazione di snervamento armatura $\epsilon_{sy}$	0.19%	-
deformazione ultima armatura $\epsilon_{su}$	4.0%	-

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	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  $75^\circ$  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  $5.60 \times 10.66$  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:

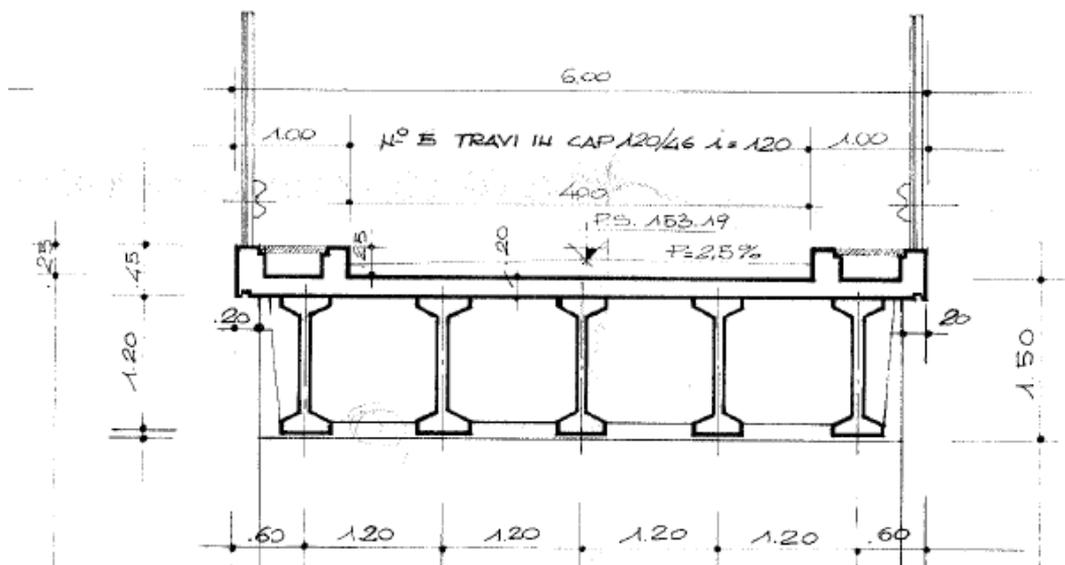


Figura 2 - Sezione trasversale impalcato



## 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:

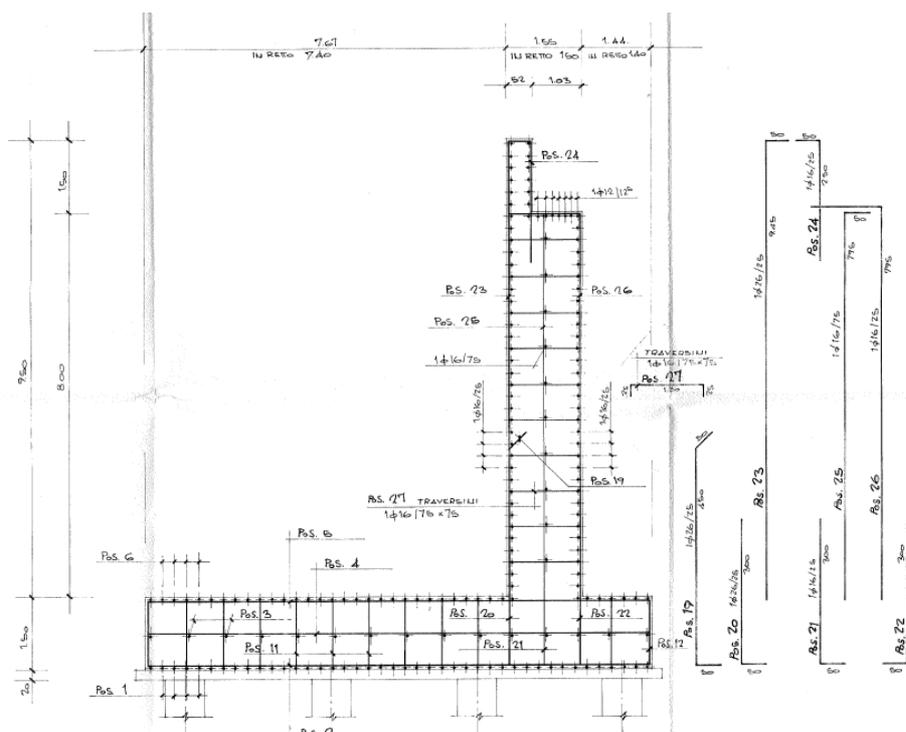


Figura 5 – Sezione della spalla

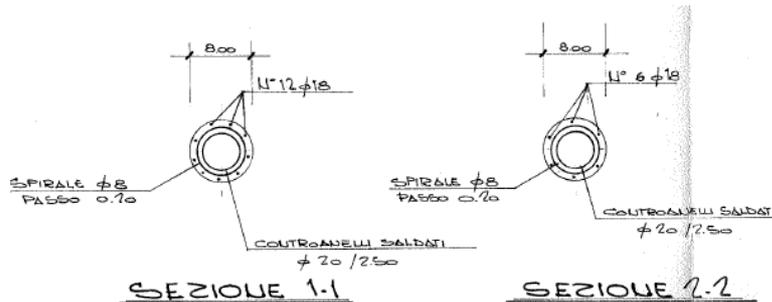
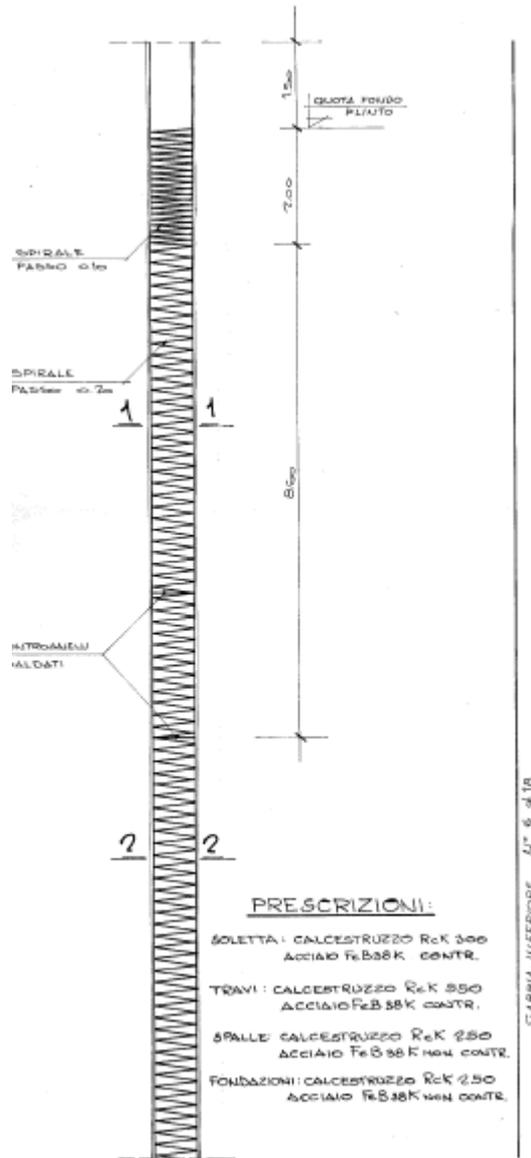


Figura 6 – Armatura del palo di fondazione

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	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

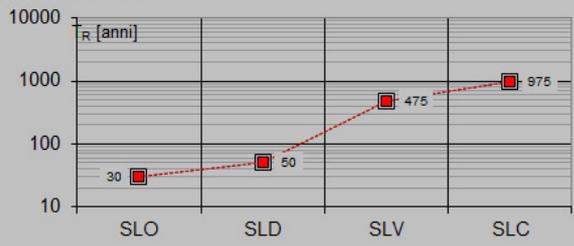
Tabella parametri azione

**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  $\xi$  (%) 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

---

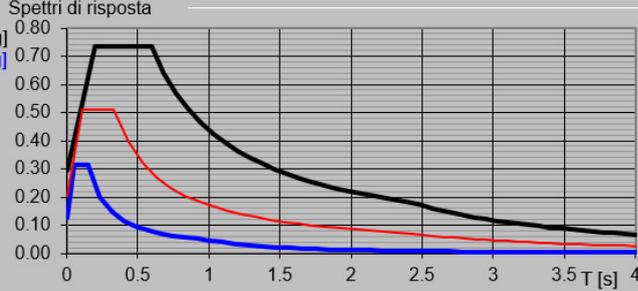
**Elaborazioni**  
 Grafici spettri di risposta ▶▶▶  
 Parametri e punti spettri di risposta ▶▶▶

$S_{d,o}$  [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**

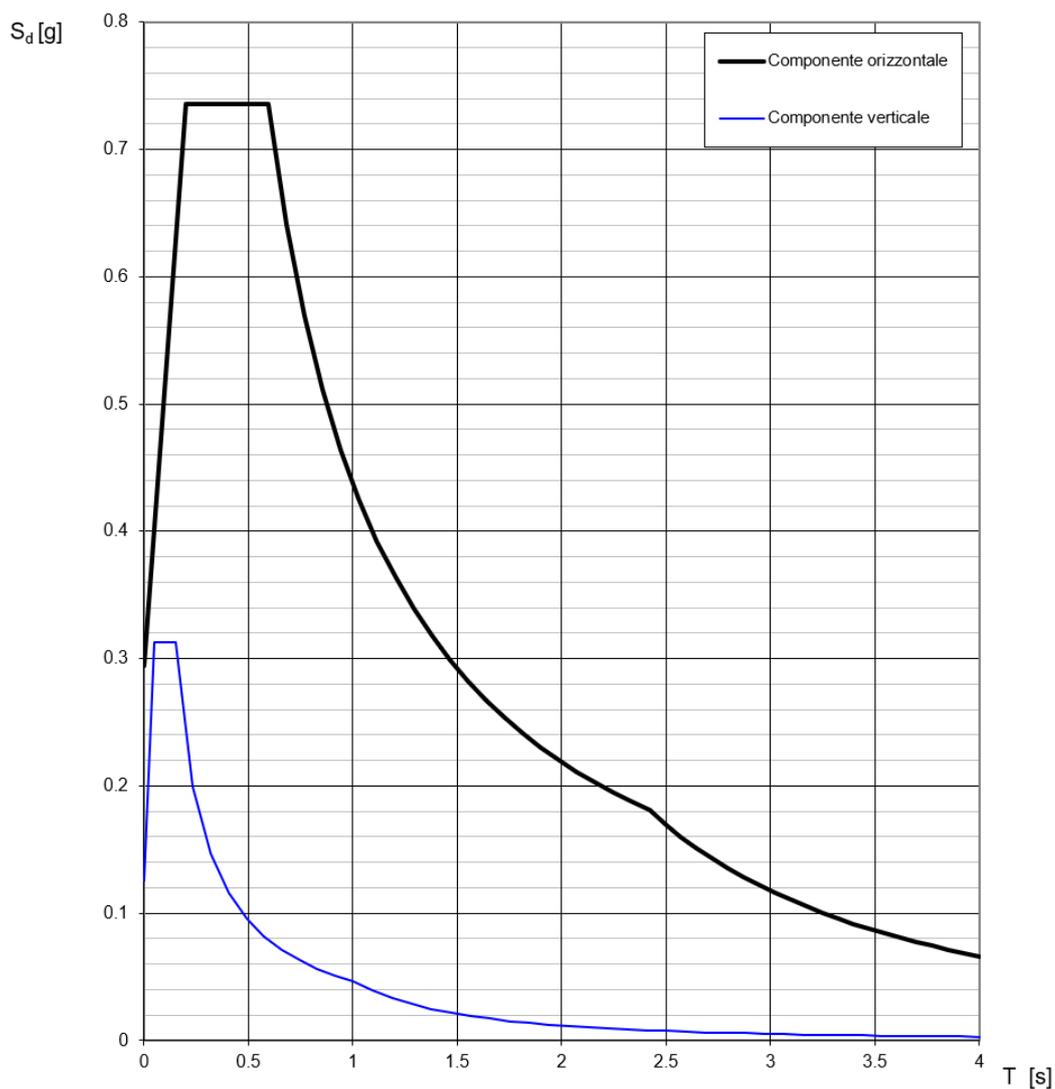


Figura 7- Spettro elastico SLC

**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  $\xi$  (%) **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**

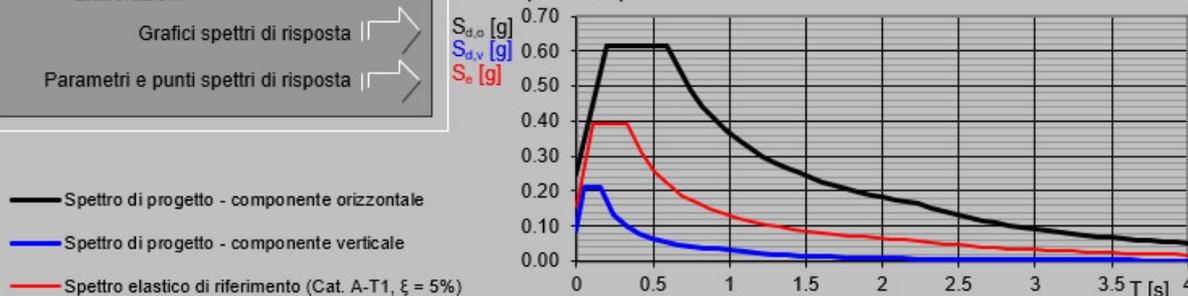
$\eta = 1.000$  info

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**

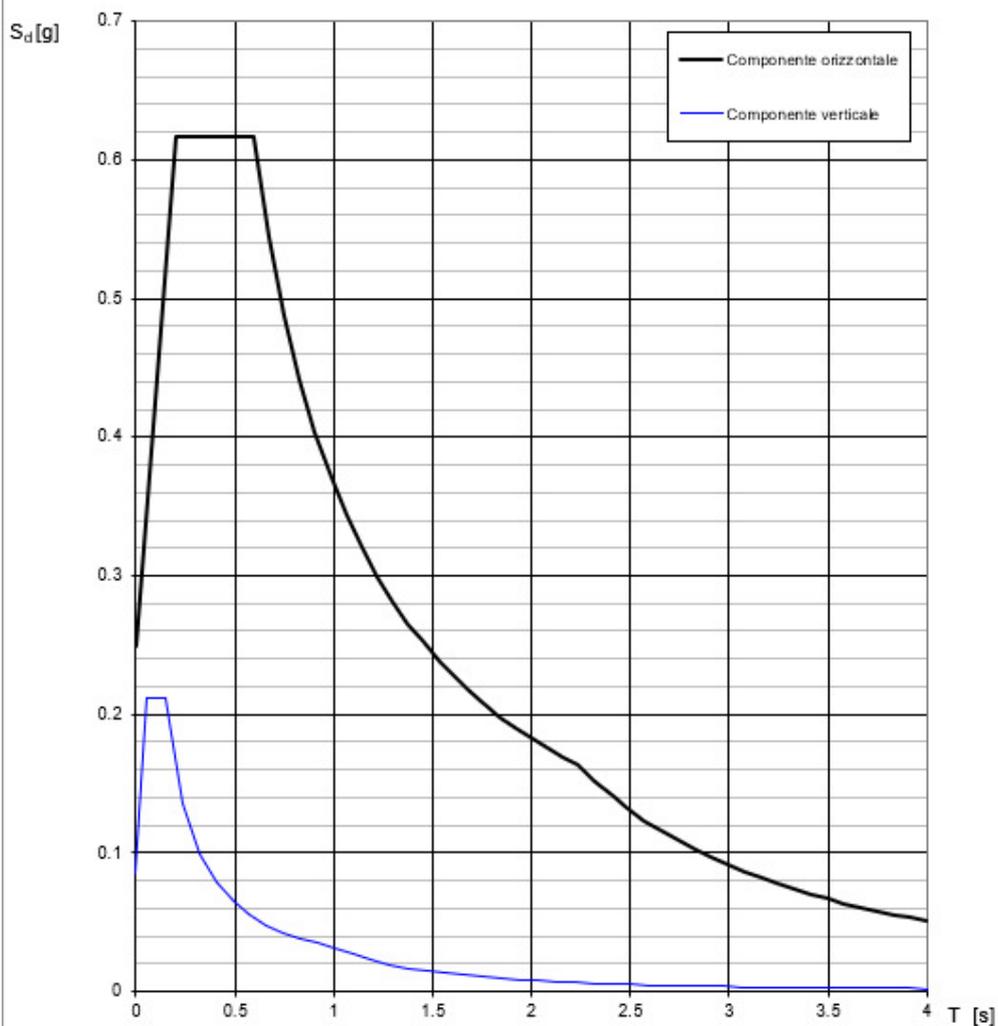


Figura 8- Spettro elastico SLV

### 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  $\xi$  (%) 5       $\eta =$  1.000 [info](#)

Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_0$  3      Regol. in altezza si [info](#)

**Compon. verticale**

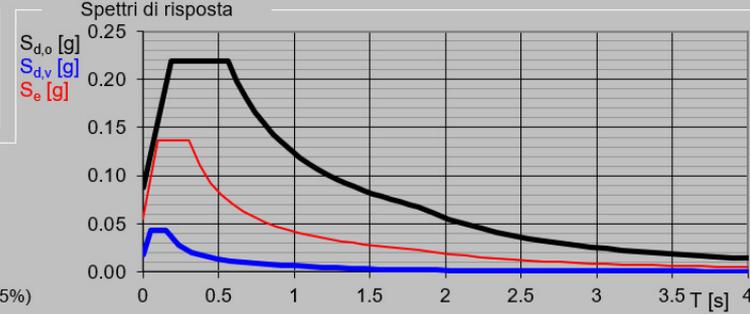
Spettro di progetto      Fattore  $q$  1       $\eta =$  1.000 [info](#)

**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,  $\xi = 5\%$ )

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

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

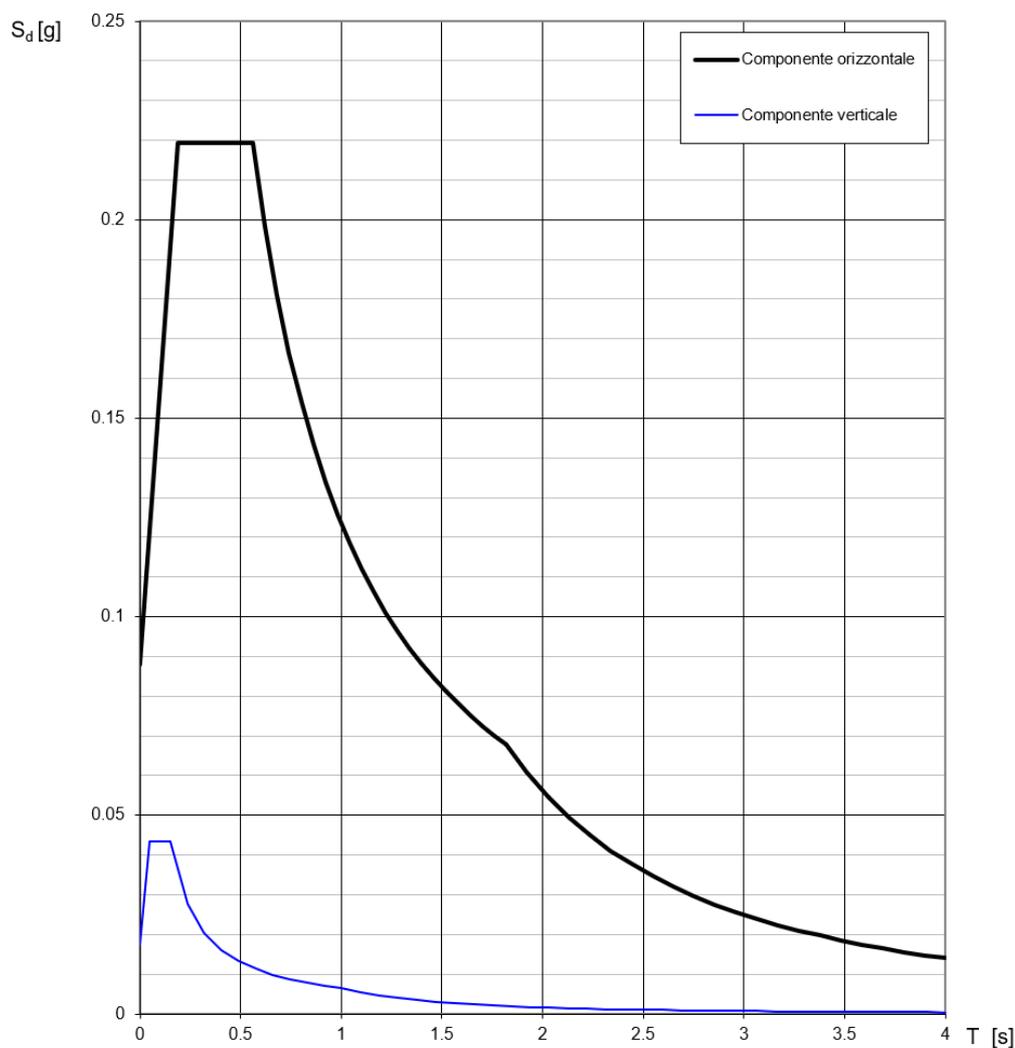


Figura 9- Spettro elastico SLD

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	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 impalcato	21	m
vol pavim	8.4	m3
<b>Peso pavim</b>	<b>168</b>	<b>kN</b>

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

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					
$\gamma_{\text{terr}}$ [KN/m <sup>3</sup> ]	c (MPa)	$\phi$ (°)	$\psi$ (°)	$\delta$ (°)	$\varepsilon$ (°)
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.

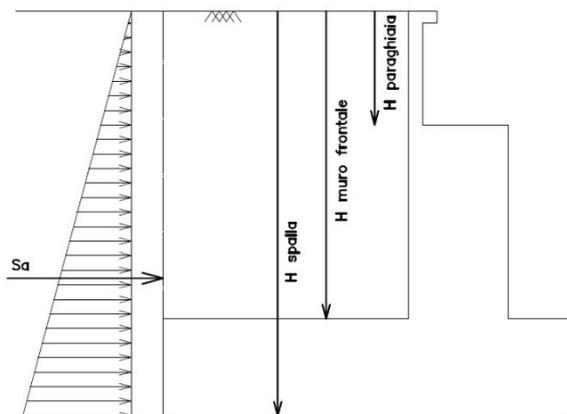


Figura 10 - Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	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:

$\psi$  inclinazione paramento interno della spalla;

$\varphi'$  angolo d'attrito efficace del terreno di riempimento a tergo della spalla;

$\delta$  angolo d'attrito terra-paramento (in prima approssimazione pari a 2/3 di  $\varphi'$ );

$\varepsilon$  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.

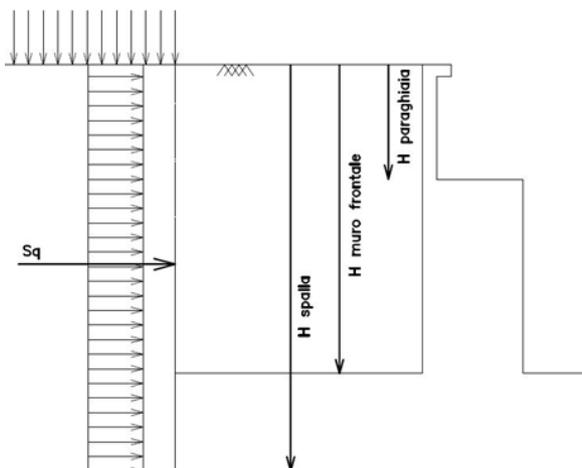


Figura 11 - Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	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:

$\psi$  inclinazione paramento interno della spalla;

$\varphi'$  angolo d'attrito efficace del terreno di riempimento a tergo della spalla;

$\delta$  angolo d'attrito terra-paramento (in prima approssimazione pari a 2/3 di  $\varphi'$ );

$\varepsilon$  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 ( $\Delta S_{\text{sism}}$ ), calcolato come differenza fra la spinta complessiva sismica e quella statica ( $S_{\text{stat}}$ ), 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

$$S_{stat} = k_a \cdot \left( \frac{\gamma_t h_s^2}{2} + \gamma_t h_r h_s + q h_s \right) \quad \text{è la spinta litostatica;}$$

$$S_{sism} = k_{as} \cdot \left( (1 + k_v) \cdot \frac{\gamma_t h_s^2}{2} + \gamma_t h_r h_s + q h_s \right) \quad \text{è la spinta sismica;}$$

$$\Delta S_{sism} = S_{sism} - S_{stat} \quad \text{è l'incremento di spinta sismico;}$$

$\gamma_t$  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  $\psi_2=0.2$ .

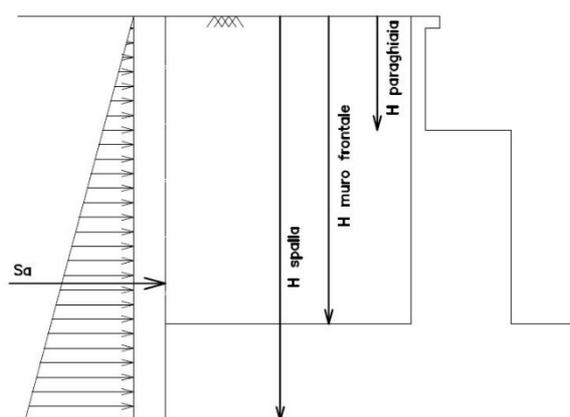


Figura 12 - Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<i>Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04</i>	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  $\beta_m$ , 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.

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

## 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 <sup>3</sup> ]	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
<b>Azione totale in fondazione</b>				<b>74</b>	<b>1845</b>				<b>-186</b>	<b>0</b>

Peso dei sovraccarichi permanenti (g2)										
ELEMENTI	$b_l$ [m]	$b_t$ [m]	h [m]	$q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	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
			<b>0</b>		<b>5</b>				<b>-2</b>	<b>0</b>

Peso dei sovraccarichi accidentali (q1)										
ELEMENTI	$b_l$ [m]	$b_t$ [m]	h [m]	$q_v$ [kN/m <sup>2</sup> ]	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
				<b>20.00</b>	<b>42</b>				<b>-16</b>	<b>0</b>

SPINTA STATICA		
Coeff. di spinta attiva	$K_a$	<b>0.217</b>

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\varphi'$ [°]	$K_a$	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	<b>1426</b>	3.17	<b>4514</b>	<b>0</b>

	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	<b>35</b>	4.75	<b>165</b>	<b>0</b>
Incremento spinta per carichi accidentali	20.00	0.217	9.50	7.67	<b>316</b>	4.75	<b>1501</b>	<b>0</b>

**SPINTA SISMICA (teoria di Mononobe-Okabe)**

$S_s$	<b>1.57</b>	$k_{as+}$	<b>0.249</b>
$S_T$	<b>1.00</b>	$k_h$	<b>0.060</b>
$a_g/g$	<b>0.159</b>	$k_v$	<b>0.030</b>
$\beta_m$	<b>0.38</b>		
$\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	19.0		
$h_s$ [m]	9.50		
$\gamma_r * h_r$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2.20		
$q$ [kN/m <sup>2</sup> ]	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
$\Delta E_d$ [kN]	<b>315</b>	<b>kN</b>
$e_v$ [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
<b>Tot.</b>		<b>577</b>		<b>2690</b>	<b>289</b>		<b>-276</b>

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

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

<b>Intradosso muro frontale</b>						
	<b>N [kN]</b>	<b>MI [kNm]</b>	<b>Mt [kNm]</b>	<b>FI [kN]</b>	<b>Ft [kN]</b>	
Peso proprio	1845	-186	0	0	0	<b>STATICA</b>
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	<b>SISMICA</b>
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	<b>AZIONI DA IMPALCATO</b>
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:

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

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

## 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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b>  <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione di calcolo – Vulnerabilità NV04	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.

**rigidezza appoggio**

l1	0.15 m
l2	0.395 m
A	0.059 m <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
num appoggi per lato	5 -
K neoprene=GA/sp.	1185 kN/m
<b>K tot app.</b>	<b>5.93E+03 kN/m</b>
massa impalcato/2	97.6 ton
<b>T</b>	<b>0.81 s</b>

**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 -**

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

### 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]	<b>141</b>	<b>975</b>
<b><math>I_R</math></b>	<b>0.513</b>	

SLD	Capacità	Domanda
PGA [g]	0.160	0.088
Tr [anni]	<b>160</b>	<b>50</b>
<b><math>I_R</math></b>	<b>1.820</b>	

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

### 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
<b>d ij(x) = deg</b>	<b>0.0145</b>	<b>m</b>

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

- 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
<b>d<sub>es</sub></b>	<b>0.124 m</b>

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

L	20.5 m
$\alpha$	1.0E-5 1/°C
$\Delta t$	30 °C
<b>d<sub>Dt</sub></b>	<b>0.006 m</b>

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.

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

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

## 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:

<b>VI max</b>	<b>3031</b>	<b>kN</b>
<b>N min</b>	<b>2705</b>	<b>kN</b>
<b>MI max</b>	<b>9795</b>	<b>kNm</b>

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:

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	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 <sup>2</sup>
resistenza di calcolo	$f_{cd}$	11.1	N/mm <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
diametro ferro longitudinale equivalente	$\phi$ eq.	22.7	mm
area armatura	A	404.7	mm <sup>2</sup>
	strato	1	
	passo	250	mm
	$n_r$ /strato	22	
area armatura totale	$A_l$	9065	mm <sup>2</sup>
percentuale di armatura	rl	0.0011	
sforzo assiale dovuto ai carichi o precompressione	N	2.71E+06	N
	$s_{cp}$	0.31	N/mm <sup>2</sup>
	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:

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<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	

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

## 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]	$I_R$
<b>Appoggi SLC</b>	distorsione	0.151	0.295	<b>0.513</b>
<b>Appoggi SLD</b>	distorsione	0.160	0.088	> 1
<b>Perdita appoggio SLC</b>	cinematico	0.408	0.295	> 1
<b>Spalle SLV</b>	pressoflessione	0.770	0.249	> 1
<b>Spalle SLV</b>	taglio	0.250	0.249	> 1
<b>OPERA</b>				<b>0.513</b>

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.