

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**

*Miglioramento sismico VI08 - Viadotto Gravina*

SCALA:

-

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


**I A 5 F    0 1    D    0 9    CL    V I 0 8 0 0    0 0 2    A**

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvat	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P.Tortolini	Luglio 2019	S.Di Spigno /F. Bonifacio	Luglio 2019	F.Gernone	Luglio 2019	A. Mittozzi Luglio 2019

ITALFERR S.p.A.  
 U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti  
 Dott. Ing. Riccardo Mittozzi  
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
 N° A.20788

File: IA5F01D09CLVI0800002A\_Miglioramento GENERALE Gravina.docx

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</i>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	2
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI .....	3
3.	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	4
4.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO .....	5
4.1	Sostituzione degli appoggi e ricostruzione dei ritegni dell'impalcato .....	5
4.2	Interventi di rinforzo dei fusti pila .....	5
5.	MATERIALI .....	6
6.	ANALISI DEI CARICHI .....	7
6.1	Carichi permanenti .....	7
6.2	Carico da traffico .....	8
7.	AZIONE SISMICA .....	9
8.	COMBINAZIONI DELLE AZIONI .....	13
9.	METODO DI ANALISI E MODELLI AGLI EF .....	14
9.1	Modellazione globale del viadotto .....	14
9.2	Modellazione della campata reticolare .....	17
10.	RISULTATI DELLE ANALISI .....	18
10.1.1	<i>Analisi modale del modello globale</i> .....	18
10.1.2	<i>Analisi modale del modello con impalcato reticolare</i> .....	19
10.1.3	<i>Sollecitazioni delle pile</i> .....	20
10.1.4	<i>Azioni in fondazione</i> .....	28
11.	VERIFICA DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO DELL'IMPALCATO RETICOLARE .....	32
11.1	Montante di parete del primo campo .....	33
11.1.1	<i>Verifiche di resistenza</i> .....	34
11.1.2	<i>Verifiche di instabilità</i> .....	34
11.1.3	<i>Conclusioni</i> .....	35
11.2	Elemento interno del controvento inferiore .....	35
11.2.1.1	Verifiche di resistenza .....	36
11.2.1.2	Verifiche di instabilità .....	36
11.2.2	<i>Conclusioni</i> .....	37

	<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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è la definizione degli interventi di miglioramento sismico del viadotto VI08 “Gravina”, nell’ambito del progetto definitivo per la realizzazione della Nuova linea ferroviaria Ferrandina – Matera La martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale.

La presente relazione risulta intrinsecamente collegata al documento IA5F01D09CLVI0800001A relazione di calcolo – Vulnerabilità sismica del viadotto VI08 Gravina, redatto nell’ambito del medesimo progetto ed al quale si rimanda per eventuali ulteriori dettagli relativamente alle strutture esistenti.



Figura 1 – Viadotto Gravina (VI08) della linea Ferrandina-Matera

 <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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.
- D.P.R. n. 380/2001 – Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia;
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”, G.U. n.8 del 20 febbraio 2018.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A: “Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.2: Ponti e strutture “ del 30/12/2016.
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 A: Manuale di progettazione delle opere civili - Parte II - sez.3.: Corpo stradale” del 30/12/2016.
- 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.
- EN 1991-2 “Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2 : carichi da traffico sui ponti”
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1 : Regole generali e regole per edifici”
- EN 1992-1 “Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi.”
- EN 1993-1 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici”
- EN 1993-1-8 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti”
- EN 1993-1-9 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Fatica”
- EN 1993-2 “Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 2: Ponti di acciaio”
- EN 1994-2 “Eurocodice 4 - Progettazione delle strutture composte acciaio- calcestruzzo - Parte 2 : Ponti”
- EN 1997-1 “Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1 : Regole generali.”
- UNI EN 1337 – Appoggi strutturali.

### 3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il viadotto Gravina (VI08), compreso tra le progressive km 14+974 e km 15+ 865 della Nuova linea Ferrandina-Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale, sviluppa una lunghezza complessiva di 891 metri.

Il viadotto, a singolo binario, si compone di 28 campate: 27 sono impalcati in c.a.p. in semplice appoggio di luce pari a 30m; la campata di scavalco del fiume Gravina, invece, è un impalcato in acciaio (con struttura reticolare a via inferiore, ancora in semplice appoggio) di luce 81m.

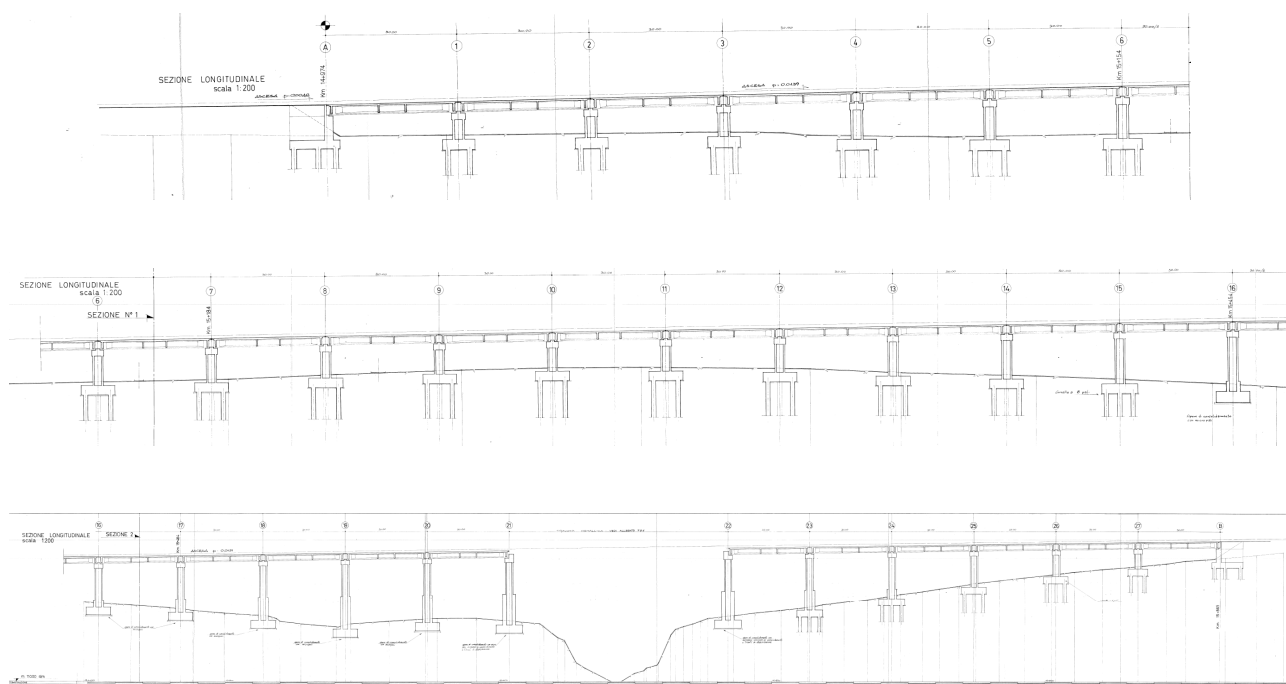



Figura 2: Sezione longitudinale viadotto (da elaborati originali di progetto)

Le pile hanno altezza variabile e sezione monocellulare in c.a.; per le pile più alte è previsto un cambio di sezione. Le fondazioni sono costituite da plinti, di dimensioni variabili, fondati su pali (D1200) o su micropali.

Le spalle sono costituite da strutture in c.a. (muro frontale di spessore 2.00m, muri andatori di spessore variabile tra 1.0m e 0.5 m, zattera di fondazione di spessore 2.00m) con fondazione su pali D1200.

	<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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

#### **4. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO**

Le analisi di vulnerabilità condotte hanno messo in luce la sostanziale non idoneità delle strutture del viadotto a far fronte alle azioni sismiche di progetto associate alla sismicità del sito e alla tipologia di opera in questione.

Sinteticamente le parti strutturali su cui si deve intervenire sono:

- Appoggi
- Elevazioni Pile
- Fondazioni Pile
- Campata reticolare in acciaio

##### **4.1 Sostituzione degli appoggi e ricostruzione dei ritegni dell'impalcato**

Dovranno essere sostituiti tutti gli appoggi delle campate in cap; si prevede l'impiego di appoggi a calotta sferica conformi alle prescrizioni RFI in materia di dispositivi di appoggio. Si manterrà la medesima disposizione di vincolo della situazione attuale.

Per quanto riguarda la travata reticolare, è previsto l'adeguamento degli appoggi esistenti mediante l'introduzione rinforzi metallici che impediscano il ribaltamento del dispositivo che le analisi condotte dimostrano essere il meccanismo determinante la crisi dell'appoggio in condizioni sismiche.

È prevista, inoltre, la realizzazione di nuovi elementi per il ritegno sismico degli impalcati in acciaio per evitare la possibilità di perdita d'appoggio delle travi.

##### **4.2 Interventi di rinforzo dei fusti pila**

Tutti le pile saranno interessate da interventi di rinforzo mediante allargamento della sezione resistente. Mediamente l'intervento prevede la realizzazione di uno spessore compreso tra 50 e 60 cm con l'aggiunta due strati di armatura opportunamente annegata nel plinto di fondazione, ovvero per gli interventi da realizzare in quota, nelle pile che presentano un cambio di sezione, l'ammarraggio delle nuove armature avverrà nel fusto della pila esistente.

 <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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 5. MATERIALI

Non essendo disponibili prove specifiche sui materiali del viadotto in esame, ma essendo state fatte ampie campagne di indagini su altri viadotti della medesima linea, i cui esiti hanno confermato le proprietà dei materiali da costruzioni indicati negli elaborati di progetto, si è deciso, nelle analisi e verifica sismica di impiegare i valori di resistenza indicati nei disegni e relazioni originali di progetto ridotti applicando il fattore di confidenza  $FC=1.2$  (livello di conoscenza LC2).

Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali risultanti dal progetto.

### Pile/Spalle

- Materiali di progetto

Calcestruzzo  $R_{ck}$  250 Kg/cm<sup>2</sup>

Acciaio armature FeB38k

### Impalcati acciaio

- Materiali di progetto

Acciaio da carpenteria Fe430

### Impalcati in cap

- Materiali di progetto

Calcestruzzo travi  $R_{ck}$  500 Kg/cm<sup>2</sup>

Calcestruzzo soletta  $R_{ck}$  300 Kg/cm<sup>2</sup>

Acciaio armature ordinarie FeB38k

Acciaio armature precompressione  $f_{ptk} > 1860$  Mpa

 <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>					
	<i>Relazione di calcolo</i>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 Carichi permanenti

I seguenti valori dei carichi sono stati estrapolati dalle relazioni del progetto originale, i cui elaborati sono stati riportati nell'apposito paragrafo.

#### Impalcato cap

Area di una trave  $\approx 1.01 \text{ m}^2$

pp travi ( $3 \times 1.03\text{m}^2 \times 25\text{kN/m}^3$ )	77.25 kN/m
pp soletta ( $7.40\text{m} \times 0.25\text{m} \times 25\text{kN/m}^3$ )	46.25 kN/m
pp cordoli ( $2 \times 0.15\text{m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3$ )	7.5 kN/m
pp impermeab ( $7.4\text{m} \times 2\text{kN/m}^2$ )	14.8 kN/m
pp ballast ( $4.0\text{m} \times 0.70\text{m} \times 18 \text{ kN/m}^3$ )	50.4 kN/m
pp corrimano+canaletta	5 kN/m

Per un peso complessivo  **$\sim 200 \text{ kN/m}$**

#### Impalcato acciaio

peso proprio + armamento  **$\sim 50 \text{ kN/m}$**

Il valore sopra riportato è stato estrapolato dalla relazione di calcolo del progetto originale. Il dato è stato comunque verificato attraverso la modellazione tridimensionale della struttura alla quale sono state associate le caratteristiche geometriche e sezionali effettivamente presenti. Infatti il modello fornisce un peso strutturale pari a

$G1 = 43 \text{ kN/m}$  (da modello)

La restante parte di carico di circa  $7 \text{ kN/m}$  è imputabile ai carichi permanenti portati ( $G2$ ), il cui valore appare realistico, considerato che solo l'armamento (singolo binario) pesa intorno a  $4 \text{ kN/m}$  a cui si dovranno aggiungere i pesi dei camminamenti e dalle altre opere di finitura.

#### Pulvino pila

Peso pulvino	$1.60\text{m} \times 3.20\text{m} \times 5.50\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 =$	704 kN
Ritegni	$(0.9\text{m} \times 5.5\text{m} + 4 \times 1\text{m} \times 1.15\text{m}) \times 0.3\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 =$	71.6KN
Per un peso complessivo		<b><math>\sim 775 \text{ kN}</math></b>



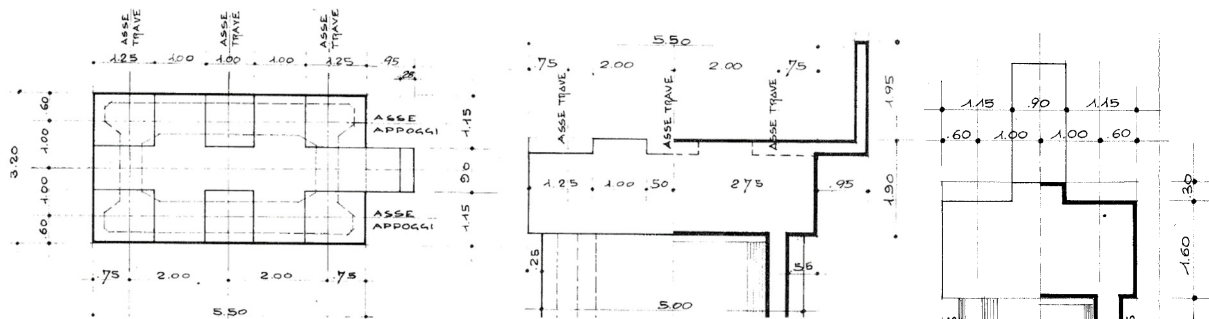


Figura 3 - Pianta e prospetto pulvino

## 6.2 Carico da traffico

Ai fini delle analisi di adeguamento sismico dell'opera si considera la coesistenza del traffico ferroviario previsto per le nuove strutture (LM71 o SW2) nella percentuale del 20% (sia in termini di masse che di pesi).

Resta inteso che, coerentemente con l'inquadramento generale del progetto del quale la presente relazione è parte integrante, il miglioramento delle opere ai sensi delle NTC 2018 è **limitato all'ambito sismico** (rif. elab. IA5F01D09ROVI000001A). Pertanto i suddetti carichi da traffico ferroviario (LM71 o SW2) sono stati considerati solo per le analisi di adeguamento sismico e non per le verifiche dei requisiti relativi agli stati limite SLE e SLU statico.

 <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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 7. 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 di adeguamento:

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

Vista l'elevata estensione del viadotto, per l'analisi di miglioramento sismico, si sono distinte due differenti categorie topografiche: per tutte le pile, ad esclusione delle pile P21 e P22, si fa riferimento alla categoria T1, per le pile 21 e 22 si fa riferimento alla categoria T4.

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.

Si riporta in *Figura* la determinazione dello spettro elastico allo SLV per il caso del viadotto in esame.

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

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

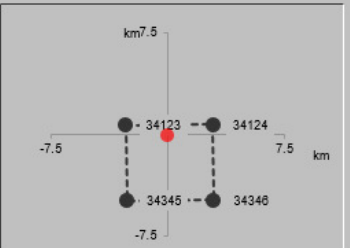
Elaborazioni grafiche

- 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 -  $P_{VR} = 63\%$

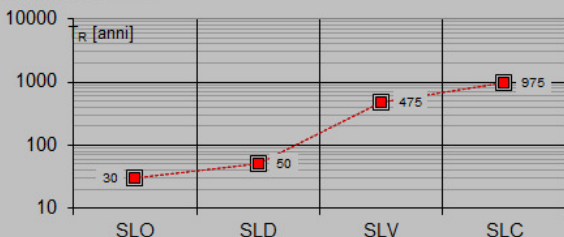
Stati limite ultimi - SLU

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

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

**Stato limite di collasso – SLV categoria T1**

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

Stato Limite  
Stato Limite considerato **SLV** info

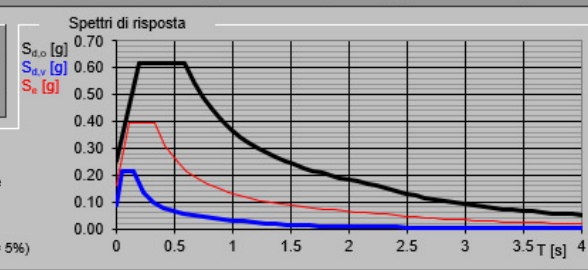
Risposta sismica  
Categoria di sottosuolo **E** info  $S_B = 1.567$   $C_C = 1.790$  info  
Categoria topografica **T1** info  $h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

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



— 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 lim SLV**

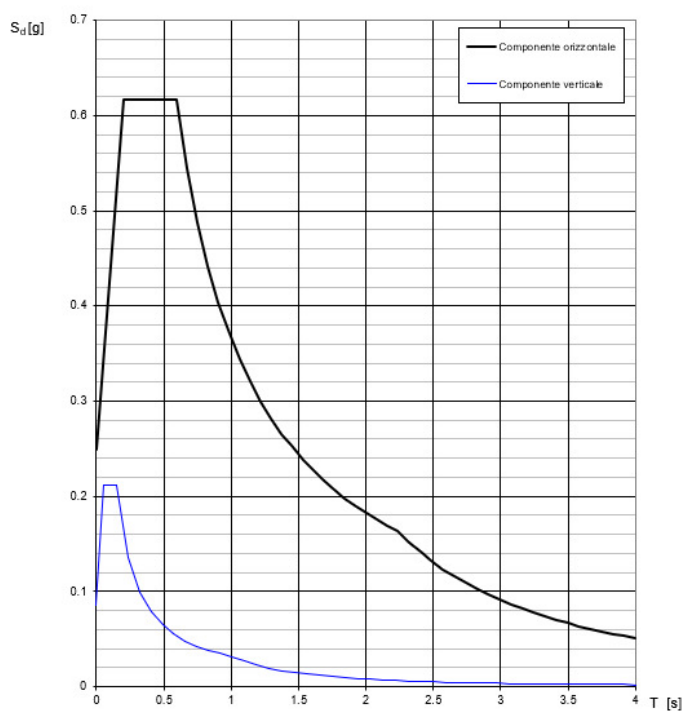


Figura 4- Spettro elastico SLV cat T1

**Stato limite di collasso – SLV categoria T4**

**FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO**

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

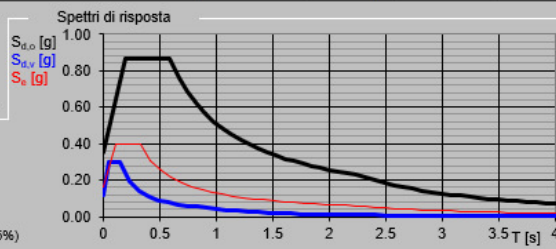
Risposta sismica  
Categoria di sottosuolo: **E** info  $S_B = 1.567$   $C_C = 1.790$  info  
Categoria topografica: **T4** info  $h/H = 1.000$   $S_T = 1.400$  info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

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 lim SLV**

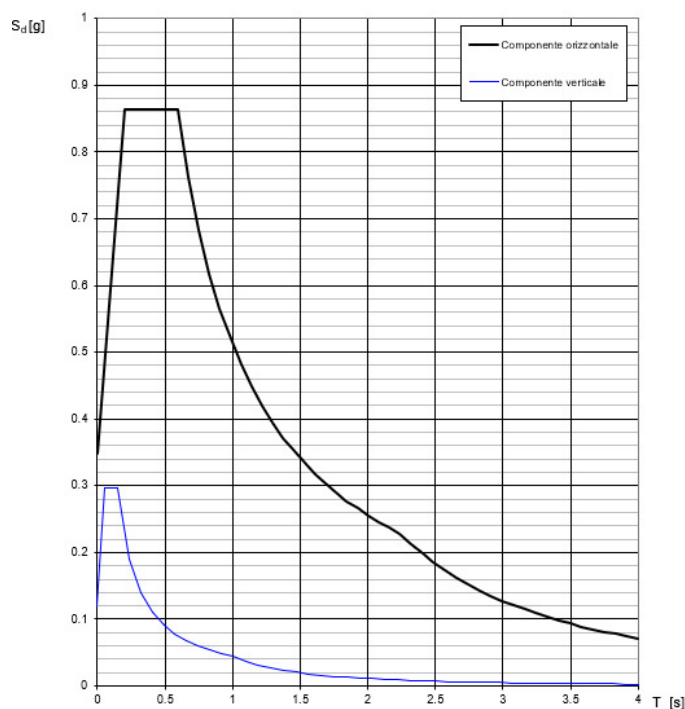


Figura 5- Spettro elastico SLV cat. T4

	<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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 8. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche si è fatto riferimento alla combinazione sismica:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Gli effetti dell'azione sismica sono valutati tenendo conto delle masse associate ai carichi gravitazionali:

$$G_K + \sum_i \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

Le NTC 2018 prevedono l'applicazione di un'aliquota del 20% del carico ferroviario in presenza dell'azione sismica di progetto allo SLU, sia per il nuovo che per l'esistente, quindi con il relativo valore di  $\psi_2$  pari a 0.20. Analogo fattore si applica per la valutazione delle masse eccitate per le analisi dinamiche ai fini della risposta sismica del viadotto.

	SLV1	SLV2	SLV3	SLV4
Peso proprio (permanente + portato)	1.00	1.00	1.00	1.00
Carico accidentale (treno)	0.20	0.20	0.20	0.20
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

	<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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 9. METODO DI ANALISI E MODELLI AGLI EF

La metodologia di analisi con cui è stata valutata la risposta sismica del viadotto post-interventi di adeguamento/miglioramento sismico è l'analisi dinamica modale associata allo spettro di risposta.

### 9.1 Modellazione globale del viadotto

Per l'opera in esame è prevista l'adozione del software per analisi ad elementi finiti "SAP2000 v.15.1.0", con il quale si conduce una modellazione ad elementi di tipo *frame*.

In particolare si modellano tutti gli elementi costituenti il viadotto: campate in cap, campata in acciaio e pile.

Per tener conto della distanza tra l'intradosso della fondazione (incastro) e l'attacco delle pile, è stato inserito un elemento *frame* rigido di lunghezza pari a metà spessore del plinto stesso.

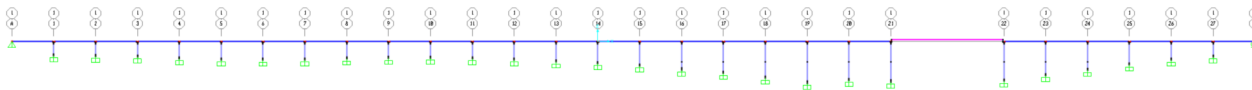


Figura 6 – Modello di calcolo - vista globale

Si è considerata una rigidità fessurata delle pile, dimezzando il valore del modulo elastico del materiale assegnato. Dove presente, si è tenuto conto delle variazioni di sezione lungo il fusto della pila.

Tutte le pile saranno sottoposte ad intervento di adeguamento sismico, per cui sono state modellate con una sezione maggiorata, per considerare il loro aumento di rigidità rispetto alla modellazione di vulnerabilità sismica.

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	Relazione di calcolo	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

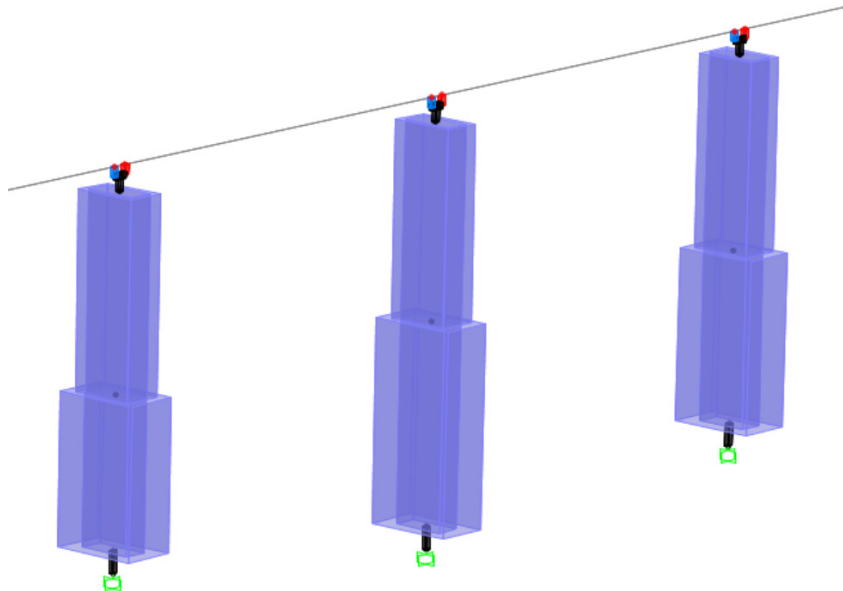


Figura 7 – Modello di calcolo - particolare: variazione sezione fusto pile

Per schematizzare i dispositivi di appoggio sono stati utilizzati elementi *frame* rigidi di collegamento tra pulvino e baricentro delle campate.

Visto lo schema statico degli impalcati, su ogni pila sarà presente un appoggio svincolato alla sola rotazione flessionale e un appoggio svincolato sia alla rotazione che alla traslazione longitudinale (parallela all'asse del viadotto).

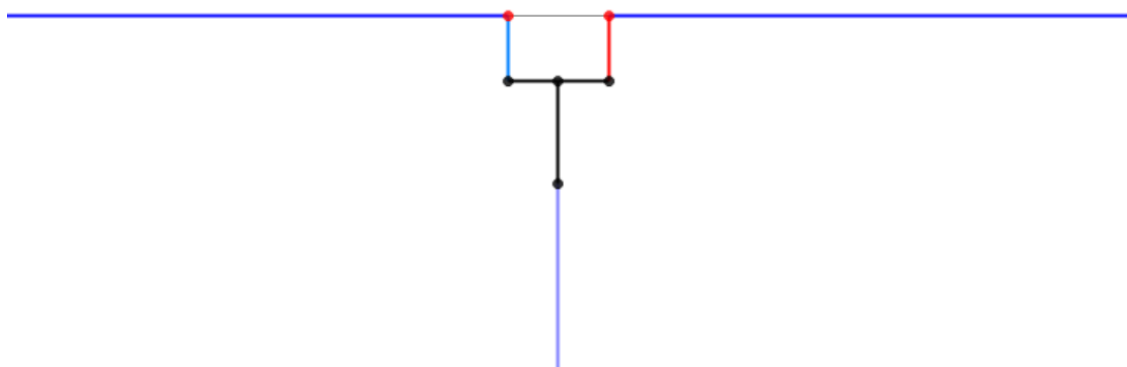


Figura 8 – Modello di calcolo - particolare: dispositivi di appoggio

I due tipi di impalcato sono stati modellati con elementi *frame* a cui sono state attribuite le caratteristiche geometriche e inerziali coerenti con la loro reale geometria:



	<b>Impalcato cap</b>	<b>Impalcato reticolare acciaio</b>
<b>A [mm<sup>2</sup>]</b>	4.810	0.234
<b>Jx [mm<sup>4</sup>]</b>	3.440	1.261
<b>Jy [mm<sup>4</sup>]</b>	16.605	4.506
<b>J tors. [mm<sup>4</sup>]</b>	0.039	4.917
<b>Avx [mm<sup>2</sup>]</b>	1.85	-
<b>Avy [mm<sup>2</sup>]</b>	1.65	-

Le caratteristiche per gli impalcati, sopra indicate, sono state calcolate in base alla geometria degli stessi.

I carichi permanenti sono modellati come carichi statici applicati ai relativi elementi.

Gli effetti del traffico ferroviario sia in termini di azioni che di masse sono state considerate nello studio di vulnerabilità pari al 0.2 del valore caratteristico (ossia pari al valore quasi permanente).

Le masse sono state attribuite ai nodi di collegamento tra gli elementi di appoggio e i frame delle campate.

La tabella sottostante riporta i valori delle masse associate al modello:

	<b>massa traslazionale</b>	<b>massa rotazionale</b>
	<b>ton</b>	<b>ton*m<sup>2</sup></b>
<b>Campata Acciaio</b>	200	917*
<b>Campata cap</b>	302	1733*
<b>Pulvino campata cap</b>	72	-
<b>Pulvino campata acciaio</b>	154	-

\*le masse indicate comprendono sia quelle dovute ai pesi permanenti che quelle legate alla quota parte del carico variabile.

	<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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 9.2 Modellazione della campata reticolare

Al fine di effettuare la verifica di adeguamento sismico dell'impalcato reticolare si esegue una modellazione più dettagliata della struttura, rispetto a quella impiegata per la modellazione dell'intero viadotto.

La struttura reticolare è stata modellata al vero, con tutti gli elementi che la compongono ed è stata inserita al di sopra delle pile P21 e P22, anch'esse modellate secondo la geometria effettiva.

Le pile sono state poi considerate incastrate alla base.

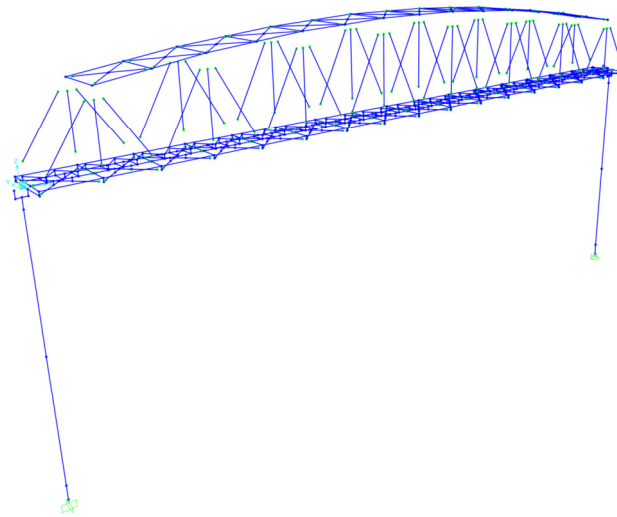


Figura 9 – Modello di calcolo della campata reticolare

Le masse considerate sono le seguenti:

$$G1 + G2 + 0.2 Q_{\text{treno}}$$

Inoltre sono state considerate le masse aggiuntive per il pulvino e per le campate in cap che gravano sulle stesse pile, calcolate in maniera analoga a quanto descritto nel paragrafo precedente:

	<b>M traslazionale</b>	<b>M rotazionale</b>
	<b>ton</b>	<b>ton*m2</b>
massa impalcato cap	302	1377
massa treno impalcato cap	240	356
<b>massa tot impalcato cap</b>	<b>542</b>	<b>1733</b>
<b>massa pulvino</b>	<b>154</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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

## 10. RISULTATI DELLE ANALISI

Si riportano in sintesi i risultati dell'analisi dinamica lineare ottenuti.

### 10.1.1 Analisi modale del modello globale

Sono stati considerati un numero di modi la cui massa partecipante sia superiore all'85%, come richiesto dal DM18. Di seguito si riportano i modi di vibrare più significativi.

StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0.905	3.5%	0.0%	0.0%	4%	0%	0%
2	0.827	3.4%	0.0%	0.0%	7%	0%	0%
3	0.765	3.3%	0.0%	0.0%	10%	0%	0%
4	0.722	4.3%	0.0%	0.0%	14%	0%	0%
5	0.718	4.7%	0.0%	0.0%	19%	0%	0%
6	0.691	3.1%	0.0%	0.0%	22%	0%	0%
7	0.665	0.0%	9.2%	0.0%	22%	9%	0%
28	0.339	5.1%	0.0%	0.0%	51%	39%	0%
75	0.063	0.0%	0.0%	5.2%	82%	82%	23%
127	0.041	0.0%	0.2%	0.0%	85%	85%	81%
142	0.039	0.0%	0.0%	0.0%	85%	85%	81%
186	0.023	0.0%	0.0%	0.6%	85%	86%	86%

 <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>	COMMESSA <b>IA5F</b>	LOTTO <b>01D</b>	CODIFICA <b>09CL</b>	DOCUMENTO <b>VI0800002</b>	REV. <b>A</b>

### 10.1.2 Analisi modale del modello con impalcato reticolare

Sono stati considerati un numero di modi la cui massa partecipante sia superiore all'85%, come richiesto dal DM18. Di seguito si riportano i modi di vibrare più significativi.

StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	1.087	35.8%	0.0%	0.0%	36%	0%	0%
2	1.012	0.0%	26.8%	0.0%	36%	27%	0%
7	0.396	0.1%	0.0%	10.3%	60%	67%	10%
222	0.027	0.0%	0.0%	4.5%	79%	80%	85%
243	0.024	11.0%	0.0%	0.0%	90%	80%	88%
248	0.023	0.0%	5.9%	0.0%	100%	86%	88%

### 10.1.3 Sollecitazioni delle pile

Si riportano le sollecitazioni agenti alla base delle pile avendo assunto un fattore di struttura  $q=1.5$ .

	tipo sez	comb.	Ned KN	Med x KNm	Med y KNm	Ved x KNm	Ved y KNm
PILA16 - FRAME16	A	SLV1 MAX	-11727	68415	19706	1103	3942
		SLV2 MAX	-12696	-68415	-19706	-1103	-3942
		SLV3 MAX	-11765	20526	65689	3676	1183
		SLV4 MAX	-12657	-20526	-65689	-3676	-1183
		SLV1 min	-11727	68415	19706	1103	3942
		SLV2 min	-12696	-68415	-19706	-1103	-3942
		SLV3 min	-11765	20526	65689	3676	1183
		SLV4 min	-12657	-20526	-65689	-3676	-1183
PILA17 - FRAME18	A	SLV1 MAX	-12888	73356	22916	1167	3824
		SLV2 MAX	-13947	-73356	-22916	-1167	-3824
		SLV3 MAX	-12936	22012	76389	3892	1149
		SLV4 MAX	-13898	-22012	-76389	-3892	-1149
		SLV1 min	-12888	73356	22916	1167	3824
		SLV2 min	-13947	-73356	-22916	-1167	-3824
		SLV3 min	-12936	22012	76389	3892	1149
		SLV4 min	-13898	-22012	-76389	-3892	-1149
PILA18 - FRAME20	A	SLV1 MAX	-14561	77310	27348	1239	3564
		SLV2 MAX	-15711	-77310	-27348	-1239	-3564
		SLV3 MAX	-14610	23193	91166	4130	1070
		SLV4 MAX	-15662	-23193	-91166	-4130	-1070
		SLV1 min	-14561	77310	27348	1239	3564
		SLV2 min	-15711	-77310	-27348	-1239	-3564
		SLV3 min	-14610	23193	91166	4130	1070
		SLV4 min	-15662	-23193	-91166	-4130	-1070
PILA19 - FRAME22	A	SLV1 MAX	-16320	80500	39127	1584	3320
		SLV2 MAX	-17543	-80500	-39127	-1584	-3320
		SLV3 MAX	-16362	24149	130431	5280	996
		SLV4 MAX	-17502	-24149	-130431	-5280	-996
		SLV1 min	-16320	80500	39127	1584	3320
		SLV2 min	-17543	-80500	-39127	-1584	-3320
		SLV3 min	-16362	24149	130431	5280	996
		SLV4 min	-17502	-24149	-130431	-5280	-996
PILA20 - FRAME24	A	SLV1 MAX	-15386	78875	30606	1307	3451
		SLV2 MAX	-16528	-78875	-30606	-1307	-3451
		SLV3 MAX	-15417	23663	102025	4357	1036
		SLV4 MAX	-16496	-23663	-102025	-4357	-1036

	tipo sez	comb.	Ned KN	Med x KNm	Med y KNm	Ved x KNm	Ved y KNm
		SLV1 min	-15386	78875	30606	1307	3451
		SLV2 min	-16528	-78875	-30606	-1307	-3451
		SLV3 min	-15417	23663	102025	4357	1036
		SLV4 min	-16496	-23663	-102025	-4357	-1036
PILA23 - FRAME33	A	SLV1 MAX	-13826	77224	24574	1167	3747
		SLV2 MAX	-14855	-77224	-24574	-1167	-3747
		SLV3 MAX	-13850	23168	81917	3892	1125
		SLV4 MAX	-14831	-23168	-81917	-3892	-1125
		SLV1 min	-13826	77224	24574	1167	3747
		SLV2 min	-14855	-77224	-24574	-1167	-3747
		SLV3 min	-13850	23168	81917	3892	1125
		SLV4 min	-14831	-23168	-81917	-3892	-1125
PILA24 - FRAME57	A	SLV1 MAX	-11935	70298	19989	1094	3958
		SLV2 MAX	-12949	-70298	-19989	-1094	-3958
		SLV3 MAX	-11988	21093	66632	3647	1189
		SLV4 MAX	-12897	-21093	-66632	-3647	-1189
		SLV1 min	-11935	70298	19989	1094	3958
		SLV2 min	-12949	-70298	-19989	-1094	-3958
		SLV3 min	-11988	21093	66632	3647	1189
		SLV4 min	-12897	-21093	-66632	-3647	-1189

	tipo sez	comb.	Ned KN	Med x KNm	Med y KNm	Ved x KNm	Ved y KNm
PILA16 - FRAME17	B	SLV1 MAX	-9551	51612	14993	1038	3760
		SLV2 MAX	-10459	-51612	-14993	-1038	-3760
		SLV3 MAX	-9589	15483	49978	3460	1128
		SLV4 MAX	-10421	-15483	-49978	-3460	-1128
		SLV1 min	-9551	51612	14993	1038	3760
		SLV2 min	-10459	-51612	-14993	-1038	-3760
		SLV3 min	-9589	15483	49978	3460	1128
		SLV4 min	-10421	-15483	-49978	-3460	-1128
PILA17 - FRAME19	B	SLV1 MAX	-9527	48304	15221	1055	3519
		SLV2 MAX	-10483	-48304	-15221	-1055	-3519
		SLV3 MAX	-9574	14497	50738	3518	1056
		SLV4 MAX	-10435	-14497	-50738	-3518	-1056
		SLV1 min	-9527	48304	15221	1055	3519
		SLV2 min	-10483	-48304	-15221	-1055	-3519
		SLV3 min	-9574	14497	50738	3518	1056