

LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO
CUP C11J05000030001

GENIE CIVIL – OPERE CIVILI

PLAINE DE SUSAS - PIANA DI SUSAS
INTERVENTIONS SUR LIGNE HISTORIQUE TURIN-SUSAS
INTERVENTI SU LINEA STORICA SUSAS-TORINO
INTERVENTIONS SUR LH EXISTANT – INTERVENTI SU LS ESISTENTE

NOTE D'INTERACTION STATIQUE VIADUC DE LA GARE –
RELAZIONE DI INTERAZIONE STATICA VIADOTTO STAZIONE

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/01/2013	Première diffusion / Prima emissione	G. VERGNANO (St. Quaranta)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	08/02/2013	Révision suite aux commentaires LTF / Revisione a seguito commenti LTF	G. VERGNANO (St. Quaranta)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO

CODE DOC	P	D	2	C	3	A	T	S	3	1	5	3	7	A
	Phase / Fase		Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice		

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//	50	30	40	10	01
------------------------------	------------	----	----	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-

Techniport
Civil Construction
Dott. Ing. Aldo Marzarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R



LTF sas – 1091 Avenue de la Boisse – BP 80631 – F-73006 CHAMBERY CEDEX (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété LTF Tous droits réservés – Proprietà LTF Tutti i diritti riservati

Ce projet
est cofinancé par
l'Union européenne
(DG-TREN)



Questo progetto
è cofinanziato
dall'Unione europea
(TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO	3
1. INTRODUZIONE	4
2. CAMPO DI APPLICAZIONE	5
3. REAZIONI DI INTERAZIONE	7
3.1 Variazioni termiche dell'impalcato	7
3.2 Frenatura e avviamento.....	8
3.3 Inflessioni dell'impalcato per carichi verticali da traffico ferroviario	12
3.4 Reazioni totali	20

RESUME/RIASSUNTO

Le présent document contient l'évaluation simplifiée des effets d'interaction statique train – voie – structure des tabliers en acier en correspondance de la Gare Internationale de Susa.

Conformément à la spécification **RFI DTC INC PO SP IFS 001 A - SPÉCIFICATION POUR LA CONCEPTION ET LA APPLICATION DE PONTS FERROVIAIRES ET AUTRES TRAVAUX MINEUR DE MOINS DE VOIE, Annex 3**, pour ces structures peuvent être adoptées évaluation simplifiée des réactions dues aux effets de la structure d'interaction binaire, par conséquent, comme indiqué explicitement sur la spécification ci-dessus, la «congruence» entre la voie et la structure "*pourrait être considérée comme remplie sans contrôles spécifiques.*"

La presente relazione si riferisce alla valutazione degli effetti di interazione statica treno-binario-struttura degli impalcati metallici in corrispondenza della Stazione Internazionale di Susa.

In base alla specifica **RFI DTC INC PO SP IFS 001 A - SPECIFICA PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI E DI ALTRE OPERE MINORI SOTTO BINARIO, Allegato 3**, per le strutture in questione può essere adottata la valutazione semplificata delle reazioni dovute agli effetti di interazione binario struttura; in conseguenza, come esplicitamente riportato sulla suddetta specifica, la “congruenza” tra binario e struttura “*può ritenersi adeguatamente soddisfatto senza specifiche verifiche*”.

1. INTRODUZIONE

La presente relazione si riferisce alla valutazione semplificata degli effetti di interazione statica treno-binario-struttura degli impalcati metallici in corrispondenza della Stazione Internazionale di Susa. L'opera si inserisce nella progettazione definitiva della nuova linea Torino-Lione / Parte comune Italo-Francese/ Tratta in territorio italiano.

La metodologia adottata per il calcolo delle reazioni di interazione è quella prevista nella norma "Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario" RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21/12/11, Parte III Allegato 3.

In particolare essendo rispettate le condizioni del punto 1.4.5.2 e dell'allegato 3 della norma, il calcolo viene effettuato adottando la metodologia semplificata.

Gli effetti (forze) dovuti ad una variazione termica della struttura, a frenatura e avviamento dei convogli ed alle deformazioni prodotte dai convogli in transito, come indicato al paragrafo 1.4.5.3 della stessa (metodologie di valutazione degli effetti di interazione), sono utilizzate per la verifica dimensionale della sottostruttura (reazioni vincolari); per quanto concerne gli effetti sulla rotaia (... *al fine di garantire la sicurezza del binario* ... del punto 5.2.2.6 del T.U.) si riporta quanto scritto nel paragrafo 1.4.5.3 della specifica RFI con riferimento al caso di applicabilità della valutazione semplificata: "*In tal caso il rispetto dei limiti sulle altre grandezze di interesse (tensioni nelle rotaie e spostamenti relativi binario-impalcato) può ritenersi adeguatamente soddisfatto senza specifiche verifiche.*"

Operando quindi nelle ipotesi di cui all'allegato 3, possono di conseguenza ritenersi adeguatamente soddisfatte, senza specifiche analisi, le verifiche dello stato tensionale della rotaia e degli spostamenti relativi binario-impalcato.

2. CAMPO DI APPLICAZIONE

Si esaminano nel seguito i parametri che hanno portato alla valutazione semplificata delle reazioni di interazione, così come previsti dall'allegato 3 della norma.

Punto a): la tipologia strutturale è ad impalcati semplicemente appoggiati

Punto b) e b'): le luci delle campate sono tutte uguali (impalcati $L= 37.5$ m)

Punto c): il viadotto è composto da 3 campate da 37.5 m e le rigidezze dei sistemi fondazione-pila-appoggio fisso (calcolate tenendo in conto la sola deformabilità fusto), valgono:

	H [m]	J [m ⁴]	E [kN/m ²]	k [kN/m]	L [m]	N	K [kN/m/m]
SP1	8.85	2.730666667	32588108	385141	37.5	1	10270.42
P1	8.85	2.730666667	32588108	385141	37.5	1	10270.42
P2	8.85	2.730666667	32588108	385141	37.5	1	10270.42
-	-	-	-	-	-	-	-
SP2	Mobile	-	-	-	-	-	-

Avendo indicato:

H = Altezza della pila dall'estradosso plinto all'estradosso pulvino, considerando che la distanza tra piano del ferro e estradosso pulvino vale 3.45 m = 0.8 (altezza p.f.-estradosso soletta)+2.1 (altezza soletta + trave)+0.55 (altezza apparecchio d'appoggio+baggioli);

J = Momento d'inerzia longitudinale del fusto della pila;

E = Modulo di elasticità della pila;

k = Rigidezza della pila;

L = Luce della campata sostenuta dal vincolo fisso sulla pila;

N = Numero binari;

K = Rigidezza per unità di lunghezza e di binario.

Pertanto, essendo l'altezza massima delle pile non superiore a 14 m e la rigidezza minima delle pile non inferiore a 13200 kN/m/m per binario (calcolata senza tenere conto della deformabilità delle fondazioni), si ritengono soddisfatte tutte le condizioni sui rapporti di rigidezza tra le campate adiacenti e tra singole rigidezze di campata e la rigidezza media del viadotto.

Punto d): la successione dei vincoli fisso e mobile è la stessa per tutte le campate, senza eccezioni.

Punto e): la luce delle campate è di 37.5 m < 75 m

Punto f): il binario è continuo lungo tutta l'opera e alle sue estremità per almeno 100 m a monte e a valle dell'opera stessa

Punto h): lo spostamento in testa alla pila sotto l'azione del treno LM71 in frenatura nell'ipotesi di deformabilità nulla della fondazione risulta sempre inferiore a 5 mm e vale:

	Qf [kN]	δ [mm]	Kmin sott. [kN/m]
P1	750	1.947	75000
P2	750	1.947	75000
-	-	-	-
-	-	-	-

Inoltre la rigidezza della sottostruttura (sistema plinto-terreno) è sempre maggiore di $2000 \times L \times n$. binari.

Punto i): lo spostamento orizzontale, per l'inflessione da carichi verticali, del piano di regolamento del ballast sotto l'azione del treno LM71 (1 binario carico) è inferiore a 8 mm.

Infatti sussiste la disuguaglianza sulla rotazione d'estremità:

$$\Theta = 1 \times 0.0002463 = 0.0002463 \text{ rad} < 8/H = 8/2500 = 0.0032 \text{ rad},$$

essendo

H [mm] = distanza tra il piano di regolamento del ballast e il centro di rotazione degli appoggi

Θ = rotazione data dal treno LM71

3. REAZIONI DI INTERAZIONE

3.1 Variazioni termiche dell'impalcato

Vincolo fisso sulla spalla SP1

$$F_{ts} = \alpha_{ts1} \times \alpha_{ts2} \times \alpha_{ts3} \times L \times q \times n$$

$\alpha_{ts1} =$	0.55	variazione di temperatura DT = 15 °C
$\alpha_{ts2} =$	0.86	coefficiente funzione della rigidezza del vincolo fisso
$\alpha_{ts3} =$	0.8	3 campate opera
L =	37.5	m luce della campata
q =	20	kN/m resistenza allo scorrimento del binario in assenza di carichi
n =	1	numero di binari

Vincolo fisso sulla prima pila P1

$$F_{tp2} = 0.2 \times F_{ts}$$

Vincolo fisso sull'ultima pila P2

$$F_{tp1} = 0.4 \times F_{ts}$$

	F_{ts}/F_{tp} [kN]
SP1	282.3521
P1	56.4704
P2	112.9408
-	-
-	-
SP2	-

3.2 Frenatura e avviamento

Vincolo fisso sulla spalla SP1

1) FRENATURA

- treno LM71

$$F_{hs} = \alpha_{hs1} \times \alpha_{hs2} \times \alpha_{hs3} \times \alpha_{hs4} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$\alpha_{hs1} =$	0.525	posa su ballast L = 37.5 m
$\alpha_{hs2} =$	0.7834	coefficiente funzione della rigidezza del vincolo fisso
$\alpha_{hs3} =$	1.5444	rigidezza media delle due pile adiacenti $kvp = 10270$ kN/m/m
$\alpha_{hs4} =$	0.9	3 campate opera
$L_Q =$	37.5	m lunghezza applicazione frenatura
$Q_{lb,k} =$	22	kN/m forza di frenatura per unità di lunghezza
$F_{hs} =$	471.6	kN

- treno SW2

$$F_{hs} = \alpha_{hs1} \times \alpha_{hs2} \times \alpha_{hs3} \times \alpha_{hs4} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$\alpha_{hs1} =$	0.525	posa su ballast L = 37.5 m
$\alpha_{hs2} =$	0.7834	coefficiente funzione della rigidezza del vincolo fisso
$\alpha_{hs3} =$	1.0444	rigidezza media delle due pile adiacenti $kvp = 10270$ kN/m/m
$\alpha_{hs4} =$	0.9	3 campate opera
$L_Q =$	30.5	m lunghezza applicazione frenatura
$Q_{lb,k} =$	35	kN/m forza di frenatura per unità di lunghezza
$F_{hs} =$	412.7	kN

2) AVVIAMENTO

- treno LM71

$$F_{hs} = \alpha_{hs1} \times \alpha_{hs2} \times \alpha_{hs3} \times \alpha_{hs4} \times \alpha_{hs5} \times L_Q \times Q_{la,k}$$

$\alpha_{hs1} =$	0.525	posa su ballast L = 37.5 m
$\alpha_{hs2} =$	0.7834	coefficiente funzione della rigidità del vincolo fisso
$\alpha_{hs3} =$	1.5444	rigidità media delle due pile adiacenti $k_{vp} = 10270$ kN/m/m
$\alpha_{hs4} =$	0.9	3 campate opera
$\alpha_{hs5} =$	0.65	posa su ballast
$L_Q =$	30.3	m lunghezza applicazione avviamento (max 1000/33=30.3 m)
$Q_{la,k} =$	36.3	kN/m forza di avviamento per unità di lunghezza
$F_{hs} =$	408.7	kN

- treno SW2

$$F_{hs} = \alpha_{hs1} \times \alpha_{hs2} \times \alpha_{hs3} \times \alpha_{hs4} \times \alpha_{hs5} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$\alpha_{hs1} =$	0.525	posa su ballast L = 37.5 m
$\alpha_{hs2} =$	0.7834	coefficiente funzione della rigidità del vincolo fisso
$\alpha_{hs3} =$	1.044	rigidità media delle due pile adiacenti $k_{vp} = 10270$ kN/m/m
$\alpha_{hs4} =$	0.9	3 campate opera
$\alpha_{hs5} =$	0.65	posa su ballast
$L_Q =$	30.3	m lunghezza applicazione avviamento (max 1000/33=30.3 m)
$Q_{lb,k} =$	33	kN/m forza di avviamento per unità di lunghezza
$F_{hs} =$	251.2	kN

Vincolo fisso sulla pila intermedia P1

1) FRENATURA

- treno LM71

$$F_{hp0} = \alpha_{hp1} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$$\alpha_{hp1} = 0.9 \quad 3 \text{ campate opera}$$

$$L_Q = 37.5 \quad \text{m lunghezza applicazione frenatura}$$

$$Q_{lb,k} = 22 \quad \text{kN/m forza di frenatura per unità di lunghezza}$$

$$F_{hp0} = 742.5 \quad \text{kN}$$

- treno SW2

$$F_{hp0} = \alpha_{hp1} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$$\alpha_{hp1} = 0.75 \quad 3 \text{ campate opera}$$

$$L_Q = 30.5 \quad \text{m lunghezza applicazione frenatura}$$

$$Q_{lb,k} = 35 \quad \text{kN/m forza di frenatura per unità di lunghezza}$$

$$F_{hp0} = 800.625 \quad \text{kN}$$

2) AVVIAMENTO

- treno LM71

$$F_{hp1} = \alpha_{hp4} \times L_Q \times Q_{la,k}$$

$$\alpha_{hp4} = 0.525 \quad L = 37.5 \text{ m}$$

$$L_Q = 30.3 \quad \text{m lunghezza applicazione avviamento (max } 1000/33=30.3 \text{ m)}$$

$$Q_{la,k} = 36.3 \quad \text{kN/m forza di avviamento per unità di lunghezza}$$

$$F_{hp1} = 577.4 \quad \text{kN}$$

- treno SW2

$$F_{hp1} = \alpha_{hp4} \times L_Q \times Q_{la,k}$$

$$\alpha_{hp4} = 0.525 \quad L = 37.5 \text{ m}$$

$$L_Q = 30.3 \quad \text{m lunghezza applicazione avviamento (max } 1000/33=30.3 \text{ m)}$$

$$Q_{la,k} = 33 \quad \text{kN/m forza di avviamento per unità di lunghezza}$$

$$F_{hp1} = 524.9 \quad \text{kN}$$

Vincolo fisso sull'ultima pila P2

1) FRENATURA

- treno LM71

$$F_{hp1} = \alpha_{hp5} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$\alpha_{hp5} =$	0.9	3 campate opera
$L_Q =$	37.5	m lunghezza applicazione frenatura
$Q_{lb,k} =$	22	kN/m forza di frenatura per unità di lunghezza
$F_{hp1} =$	742.5	kN

- treno SW2

$$F_{hp1} = \alpha_{hp5} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$\alpha_{hp1} =$	0.75	3 campate opera
$L_Q =$	30.5	m lunghezza applicazione frenatura
$Q_{lb,k} =$	35	kN/m forza di frenatura per unità di lunghezza
$F_{hp0} =$	800.625	kN

2) AVVIAMENTO

- treno LM71

$$F_{hp1} = \alpha_{hp4} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$\alpha_{hp4} =$	0.525	L = 37.5 m
$L_Q =$	30.3	m lunghezza applicazione avviamento (max 1000/33=30.3 m)
$Q_{la,k} =$	36.3	kN/m forza di avviamento per unità di lunghezza
$F_{hp1} =$	577.4	kN

- treno SW2

$$F_{hp1} = \alpha_{hp4} \times L_Q \times Q_{lb,k}$$

$\alpha_{hp4} =$	0.525	L = 37.5 m
$L_Q =$	30.3	m lunghezza applicazione avviamento (max 1000/33=30.3 m)
$Q_{la,k} =$	33	kN/m forza di avviamento per unità di lunghezza
$F_{hp1} =$	524.9	kN

3.3 Inflessioni dell'impalcato per carichi verticali da traffico ferroviario

Vincolo fisso sulla spalla SP1

- treno LM71

$$F_{vs} = \alpha_{vs1} \times \beta \times \left(\sqrt{\frac{q_f}{\delta_f}} + \sqrt{\frac{q_m}{\delta_m}} \right) \times \delta_0$$

$\alpha_{vs1} = 0.783419$ coefficiente funzione della rigidità del vincolo fisso

$$\beta = \sqrt{E_b \times A_b}$$

$\beta = 1792 \text{ kN}^{1/2}$

$E_b = 2.10E+08 \text{ kN/m}^2$ modulo elastico acciaio rotaie

$A_b = 0.0153 \text{ m}^2$ area binario (2 rotaie)

$q_m = 60 \text{ kN/m}$ resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio mobile

$q_f = 60 \text{ kN/m}$ resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio fisso

$k_{vm} = 58150 \text{ kN/m/m}$ rigidità longitudinale struttura campata verso appoggio mobile

$k_{vf} = \infty \text{ kN/m/m}$ rigidità longitudinale struttura campata verso appoggio fisso

$\delta_{ym0} = 0.002 \text{ mm}$ spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio mobile

$\delta_{yf0} = 0.002 \text{ mm}$ spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio fisso

$$\delta_{ym} = \delta_{ym0} + \frac{q_m}{k_{vm}}$$

$\delta_{ym} = 0.003032 \text{ m}$ spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio mobile

$$\delta_{yf} = \delta_{yf0} + \frac{q_f}{k_{vf}}$$

$\delta_{yf} = 0.002 \text{ m}$ spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio fisso

$x = 0.45 \text{ m}$ distanza piano regolamento del ballast dall'asse neutro impalcato

$H = 2.175 \text{ m}$ distanza piano regolamento del ballast dal centro rotazione appoggio

$\Theta = 0.00145 \text{ rad}$ rotazione d'estremità dell'impalcato sotto treno di calcolo LM71

$$\delta_o = 0.5 \times \Theta \times (H - x)$$

$$\delta_o = 0.001458 \text{ m}$$

$$\delta_m = \max(\delta_o; \delta_{ym})$$

$$\delta_m = 0.003032 \text{ m}$$

$$\delta_f = \max(\delta_o; \delta_{yf})$$

$$\delta_f = 0.002 \text{ m}$$

$$F_{vs} = 642.53 \text{ kN}$$

- treno SW2

$$F_{vs} = \alpha_{vs1} \times \beta \times \left(\sqrt{\frac{q_f}{\delta_f}} + \sqrt{\frac{q_m}{\delta_m}} \right) \times \delta_0$$

$\alpha_{vs1} = 0.783419$ coefficiente funzione della rigidità del vincolo fisso

$$\beta = \sqrt{E_b \times A_b}$$

$\beta = 1792 \text{ kN}^{1/2}$

$E_b = 2.10E+08 \text{ kN/m}^2$ modulo elastico acciaio rotaie

$A_b = 0.0153 \text{ m}^2$ area binario (2 rotaie)

$q_m = 60 \text{ kN/m}$ resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio mobile

$q_f = 60 \text{ kN/m}$ resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio fisso

$k_{vm} = 58150 \text{ kN/m/m}$ rigidità longitudinale struttura campata verso appoggio mobile

$k_{vf} = \infty \text{ kN/m/m}$ rigidità longitudinale struttura campata verso appoggio fisso

$\delta_{ym0} = 0.002 \text{ mm}$ spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio mobile

$\delta_{yf0} = 0.002 \text{ mm}$ spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio fisso

$$\delta_{ym} = \delta_{ymo} + \frac{q_m}{k_{vm}}$$

$\delta_{ym} = 0.003032 \text{ m}$ spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio mobile

$$\delta_{yf} = \delta_{yfo} + \frac{q_f}{k_{vf}}$$

$\delta_{yf} = 0.002 \text{ m}$ spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio fisso

$x = 0.45 \text{ m}$ distanza piano regolamento del ballast dall'asse neutro impalcato

$H = 2.175 \text{ m}$ distanza piano regolamento del ballast dal centro rotazione appoggio

$\Theta = 0.001759 \text{ rad}$ rotazione d'estremità dell'impalcato per treno SW2 senza incr. dinamico

$$\delta_o = 0.5 \times \Theta \times (H - x)$$

$$\delta_o = 0.001768 \text{ m}$$

$$\delta_m = \max(\delta_o; \delta_{ym})$$

$$\delta_m = 0.003032 \text{ m}$$

$$\delta_f = \max(\delta_o; \delta_{yf})$$

$$\delta_f = 0.002 \text{ m}$$

$$F_{vs} = 779.29 \text{ kN}$$

Vincolo fisso sulle pile P1 - P2

1) FRENATURA SOLO SU P1

$$\begin{aligned}
 F_{vp0} &= 0 && \text{kN} && \text{(ugual verso della reaz. carichi verticali)} \\
 F_{vp0} &= -0.2 \times F_{hp} = -148.5 && \text{kN} && \text{treno LM71 (verso opposto alla reaz. carichi verticali)} \\
 F_{vp0} &= -0.2 \times F_{hp} = -160 && \text{kN} && \text{treno SW2 (verso opposto alla reaz. carichi verticali)}
 \end{aligned}$$

2) AVVIAMENTO SU P1-P2

- treno LM71

$$F_{vp0} = \alpha_{vp1} \times \beta \times \left(\sqrt{\frac{q_f}{\delta_f}} + \sqrt{\frac{q_m}{\delta_m}} \right) \times \delta_0$$

	K [kN/m/m]	α_{vp1}
P1	10270.4	0.46
P2	10270.4	0.46
-	-	-

$$\beta = \sqrt{E_b \times A_b}$$

$$\beta = 1792 \text{ kN}^{1/2}$$

$$E_b = 2.10E+08 \text{ kN/m}^2 \text{ modulo elastico acciaio rotaie}$$

$$A_b = 0.0153 \text{ m}^2 \text{ area binario (2 rotaie)}$$

$$q_m = 60 \text{ kN/m resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio mobile}$$

$$q_f = 60 \text{ kN/m resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio fisso}$$

$$\delta_{ym0} = 0.002 \text{ mm spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio mobile}$$

$$\delta_{yf0} = 0.002 \text{ mm spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio fisso}$$

$$k_{vm} \text{ rigidezza longitudinale struttura campata verso appoggio mobile}$$

$$k_{vf} \text{ rigidezza longitudinale struttura campata verso appoggio fisso}$$

	k_{vm} [kN/m/m]	k_{vf} [kN/m/m]
P1	58150	58150
P2	∞	58150
-	-	-

$$\delta_{ym} = \delta_{ymo} + \frac{q_m}{k_{ym}}$$

$\delta_{ym} = 0.002$ m spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio mobile

$$\delta_{yf} = \delta_{yfo} + \frac{q_f}{k_{yf}}$$

$\delta_{yf} = 0.003032$ m spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio fisso

$x = 0.45$ m distanza piano regolamento del ballast dall'asse neutro impalcato

$H = 2.175$ m distanza piano regolamento del ballast dal centro rotazione appoggio

$\Theta = 0.00145$ rad rotazione d'estremità dell'impalcato sotto treno di calcolo LM71

$$\delta_o = 0.5 \times \Theta \times (H - x)$$

$$\delta_o = 0.001458 \text{ m}$$

$$\delta_m = \max(\delta_o; \delta_{ym})$$

$$\delta_m = 0.002 \text{ m}$$

$$\delta_f = \max(\delta_o; \delta_{yf})$$

$$\delta_f = 0.003032 \text{ m}$$

	F_{vp0} [kN]
P1	335.0
P2	373.7
-	-

- treno SW2

$$F_{vp0} = \alpha_{vp1} \times \beta \times \left(\sqrt{\frac{q_f}{\delta_f}} + \sqrt{\frac{q_m}{\delta_m}} \right) \times \delta_0$$

	K [kN/m/m]	α_{vp1}
P1	10270.4	0.46
P2	10270.4	0.46
-	-	-

$$\beta = \sqrt{E_b \times A_b}$$

$$\beta = 1792 \text{ kN}^{1/2}$$

$$E_b = 2.10E+08 \text{ kN/m}^2 \text{ modulo elastico acciaio rotaie}$$

$$A_b = 0.0153 \text{ m}^2 \text{ area binario (2 rotaie)}$$

$$q_m = 60 \text{ kN/m resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio mobile}$$

$$q_f = 60 \text{ kN/m resistenza del ballast tratta adiacente campata verso appoggio fisso}$$

$$k_{vm} = 58150 \text{ kN/m/m rigidezza longitudinale struttura campata verso appoggio mobile}$$

$$k_{vf} = 58150 \text{ kN/m/m rigidezza longitudinale struttura campata verso appoggio fisso}$$

$$\delta_{ym0} = 0.002 \text{ mm spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio mobile}$$

$$\delta_{yf0} = 0.002 \text{ mm spostamento al limite elastico del binario campata verso appoggio fisso}$$

$$\delta_{ym} = \delta_{ym0} + \frac{q_m}{k_{vm}}$$

$$\delta_{ym} = 0.003032 \text{ m spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio mobile}$$

$$\delta_{yf} = \delta_{yf0} + \frac{q_f}{k_{vf}}$$

$$\delta_{yf} = 0.003032 \text{ m spostamento al limite elastico del binario e campata verso appoggio fisso}$$

$$x = 0.45 \text{ m distanza piano regolamento del ballast dall'asse neutro impalcato}$$

$$H = 2.175 \text{ m distanza piano regolamento del ballast dal centro rotazione appoggio}$$

$$\Theta = 0.001759 \text{ rad rotazione d'estremità dell'impalcato sotto treno di calcolo SW2}$$

$$\delta_o = 0.5 \times \Theta \times (H - x)$$

$$\delta_o = 0.001768 \text{ m}$$

$$\delta_m = \max(\delta_o; \delta_{ym})$$

$$\delta_m = 0.003032 \text{ m}$$

$$\delta_f = \max(\delta_o; \delta_{yf})$$

$$\delta_f = 0.003032 \text{ m}$$

	F _{vp0} [kN]
P1	406.24
P2	453.21
-	-

3.4 Reazioni totali

Si riportano, in riepilogo, i contributi delle singole azioni:

	Termica [kN]	Frenatura		Avviamento	
		LM71 [kN]	SW/2 [kN]	LM71 [kN]	SW/2 [kN]
SP1	282.4	471.6	412.7	408.7	251.2
P1	56.5	742.5	800.6	577.4	524.9
P2	112.9	742.5	800.6	577.4	524.9
-	-	-	-	-	-
SP2	-	-	-	-	-

	Deflessione LM71				Deflessione SW/2			
	Spalle [kN]	Vincoli intermedi			Spalle [kN]	Vincoli intermedi		
		Frenatura [kN]	Frenatura [kN]	Avviamento [kN]		Frenatura [kN]	Frenatura [kN]	Avviamento [kN]
SP1	642.5	-	-	-	779.3	-	-	-
P1	-	0	-148.5	335.0	-	0	-160	406.2
P2	-	-	-	373.7	-	-	-	453.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-
SP2	-	-	-	-	-	-	-	-