

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47I09000030009

## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

#### POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO MILANO-ROGOREDO-PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE – PAVIA

OPERE PRINCIPALI - SOTTOVIA E SOTTOPASSI

VI09 - Scavalco via Per Birolo km 15+377,15

Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate

SCALA:

-

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

N M 0 Z    2 0    D    2 6    C L    V I 0 9 0 7    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRA	Novembre 2018	F.Coppini/A.Maran 	Novembre 2018	S. Borelli 	Novembre 2018	F. Baccetti Novembre 2018 	Novembre 2018

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Dott. Ing. Francesco Baccetti  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 23172 Sez. A

File: NM0Z20D26CLVI0907001A

n. Elab.:

## INDICE

1.	PREMESSA .....	4
2.	DESCRIZIONE .....	5
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
4.	MATERIALI .....	7
5.	GEOMETRIA IMPALCATO .....	9
6.	ANALISI DEI CARICHI .....	10
6.1	PESO PROPRIO E SOVRACCARICHI PERMANENTI.....	10
6.2	CARICHI VARIABILI .....	10
6.2.1	Treno LM71 .....	10
6.2.2	Treno SW/2 .....	11
6.2.3	Coefficiente dinamico .....	12
6.2.4	Frenatura ed avviamento .....	12
6.2.5	Serpeggio .....	13
6.2.6	Vento .....	13
6.2.7	Carico sui marciapiedi .....	13
6.3	AZIONE SISMICA.....	13
6.4	RESISTENZE PARASSITE NEI VINCOLI.....	16
6.5	SOLLECITAZIONI SULLA FASCIA RESISTENTE E SULLA TRAVE DI BORDO.....	17
7.	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPALCATO .....	18
7.1	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ.....	18
8.	AZIONI SUGLI APPOGGI .....	19
9.	AZIONI SULLE SPALLE .....	23
10.	GIUNTI .....	26



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO -**  
**PAVIA**  
**FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA**

VI09 – Scavalco via per Biolo  
*Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0907001	A	3 di 27

10.1	CORSA DEGLI APPARECCHI D'APPOGGIO MOBILI .....	26
10.2	ESCURSIONE DEI GIUNTI .....	27
10.3	AMPIEZZA DEI VARCHI .....	27

## 1. PREMESSA

Nell’ambito degli interventi di potenziamento della linea Milano – Genova, si prevede il quadruplicamento della linea ferroviaria nella tratta Milano Rogoredo-Pavia; in prima fase il quadruplicamento interesserà il tratto di linea compreso fra le stazioni di Milano Rogoredo e Pieve Emanuele, per essere esteso in fase successiva fino a Pavia.

Il quadruplicamento in oggetto, a partire dall’uscita della stazione Milano Rogoredo, prosegue in affiancamento alla linea storica e su una nuova sede e si sviluppa a sud di Milano, estendendosi per circa 30 km lungo l’attuale linea ferroviaria tra i nodi di Milano Rogoredo e Pavia.



Figura 1-1 – Ubicazione del tracciato dell’opera in progetto

Nella presente relazione è riportato il calcolo dell’impalcato a travi incorporate dell’opera principale VI09 – Scavalco via Per Birolo.

## 2. DESCRIZIONE

L'impalcato in esame ha una luce di calcolo, definita come distanza netta tra gli allineamenti degli assi degli appoggi, pari a 15.0m. La lunghezza complessiva dell'impalcato è pari a 15.8m.

L'impalcato è costituito da 23 travi metalliche HEA800 e da una soletta superiore in c.a. gettata in opera di larghezza complessiva pari a 12.80m su cui gravano 2 binari posti ad interasse pari a 4.03m.

La distanza tra il piano ferro e l'intradosso impalcato risulta pari a 1.74 m.

La velocità di progetto della linea è pari a 160 km/h. Nel viadotto in esame l'andamento planimetrico del tracciato ferroviario è in rettilineo.

La vita nominale dell'opera è pari a  $V_N = 75$  anni. La classe d'uso è la III.

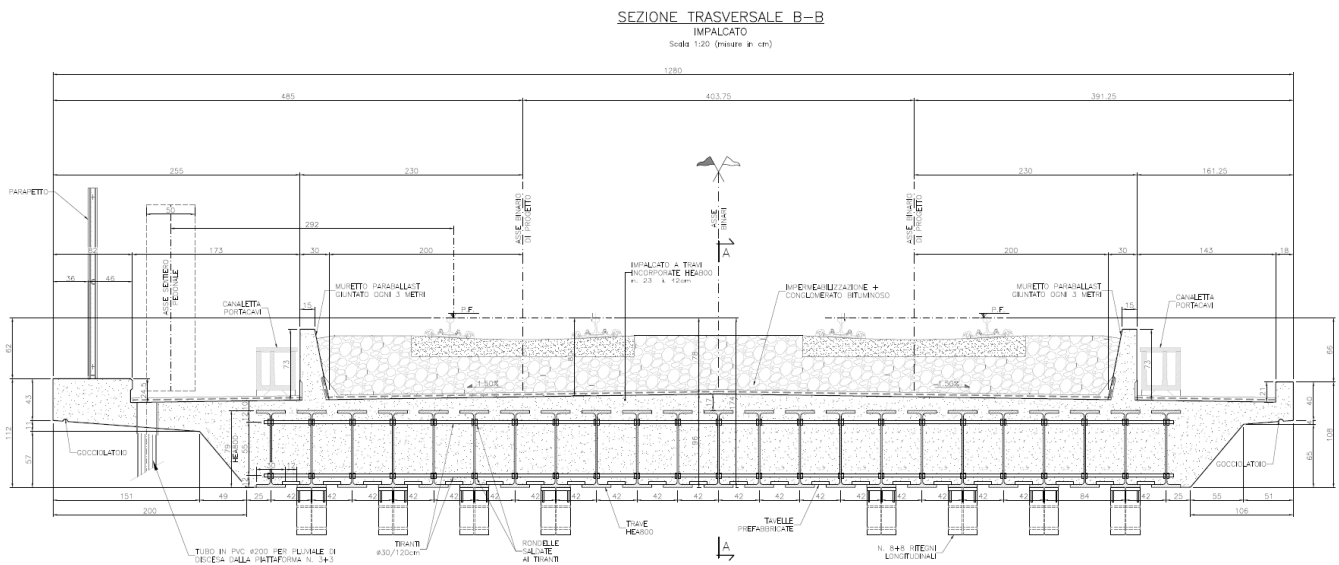



Fig. 1 – Sezione trasversale impalcato

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	VI09 – Scavalco via per Biolo <i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLVI0907001	REV. A

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: "Manuale di progettazione delle opere civili" del 22/12/2017.

Riferimenti STI:

- 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;
- Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta;
- Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "energia" del sistema ferroviario dell'Unione europea;
- Regolamento (UE) N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità concernente la "sicurezza nelle gallerie ferroviarie" del sistema ferroviario dell'Unione europea;
- Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea.

#### 4. MATERIALI

CALCESTRUZZO								
Tipo Calcestruzzo		Rapporto a/c max (UNI EN 206)	Classe di lavorabilità	Tipo di cemento	Classe di resistenza minima C(fck/Rck) <sub>min</sub>	Classe di esposizione ambientale (UNI EN 206)	Dmax inerti (mm)	Campi di Impiego
A	1	0.45	S4-S5	CEM I-V	C45/55	XC3	20	- Impalcato ed Elementi in c.a.p. prefabbricati
B	1	0.45	S4-S5	CEM I-V	C35/45	XC3	25	- Elementi prefabbricati in c.a. per strutture fuori terra
	1	0.45	S4-S5	CEM I-V	C35/45	XC3	20	- Predalles con funzioni strutturali
	3	0.50	S4-S5	CEM III-V	C32/40	XC4	20	- Velette prefabbricate
	3	0.55	S4-S5	CEM III-V	C30/37	XC3	20	- Predalles senza funzioni strutturali
	3	0.55	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XA1	25	- Canalette portacavi ed altri elementi prefabbricati senza funzioni strutturali
C	1	0.50	S4-S5	CEM I-V	C32/40	XC4	25	- Impalcato in c.a. ordinari - Solette in c.a. gettate in opera in elevazione
	2	0.50	S3-S4	CEM III-V	C32/40	XC4	25	- Pile e spalle - Baggioni e pulvini - Strutture in c.a. in elevazione (Gallerie artificiali)
	2	0.50	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XF2	25	- Sottovia a struttura scatolare
E	1	0.55	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XA1	25	- Tombini a struttura scatolare e circolare - Portali
G	1	0.50	S3-S4	CEM III-V	C32/40	XC4	25	- Muri di controripa/sottoscarpa (compresa soletta di fondazione)
	2	0.60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	25	- Solettoni di fondazione - Fondazioni armate
	2	0.50	S3-S4	CEM III-V	C30/37	XF3	25	- Cordoli di fondazione barriere antirumore
	3	0.60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	40	- Fondazioni non armate (pozzi, sottoplinti, ecc...)
	4	0.60	S3-S4	CEM III-V	C25/30	XC2	25	- Cunette, canalette e cordoli
H	1	0.60	S4-S5	CEM III-V	C25/30	XC2	32	- Pali (di paratie o opere di sostegno), diaframmi e relativi cordoli di collegamento gettati in opera - Micropali
	2	0.60	S4-S5	CEM III-V	C25/30	XC2	32	- Pali/diaframmi di fondazione gettati in opera
I		--	--	CEM I-V	C12/15	X0	--	- Magrone di riempimento e livellamento



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO -**  
**PAVIA**  
**FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA**

VI09 – Scavalco via per Biolo  
*Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate*

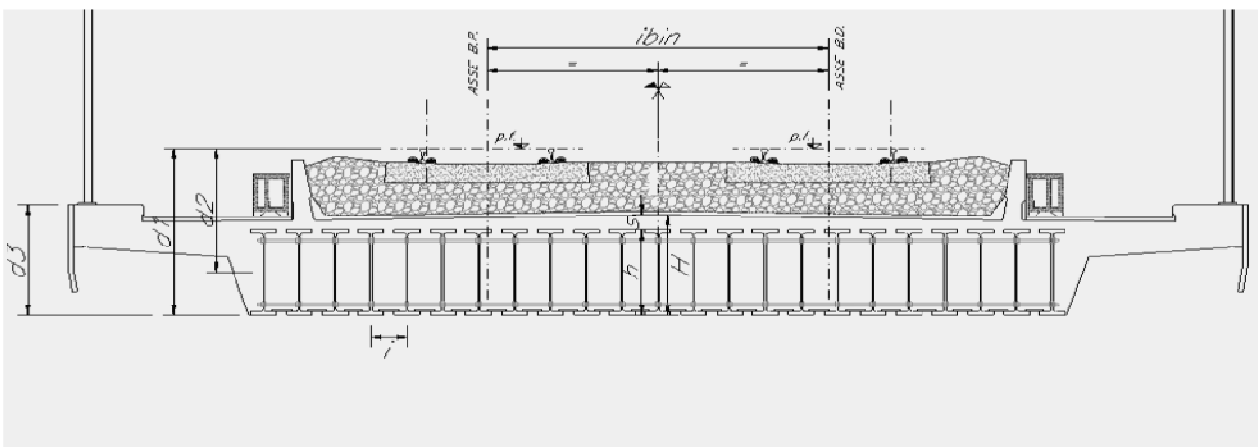
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLVI0907001	A	8 di 27

ACCIAIO	
ACCIAIO IN BARRE PER GETTI E RETI ELETTROSALDATE	B450C fyk ≥ 450Mpa ftk ≥ 540Mpa 1.15 ≤ ftk/fyk < 1.35 fyk= tensione caratteristica di snervamento ftk= tensione caratteristica di rottura
ACCIAIO ARMONICO DI TIPO STABILIZZATO PER TRAVI E TRAVERSI	Trefoli Ø0,6" fptk 1860 MPa – fp(1)k 1670 MPa a trave
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA STRUTTURE PRINCIPALI	S355J2 (ex FE 510 D1) classe di esecuzione (UNI EN 1090-2): EXC3
ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA STRUTTURE SECONDARIE	S275JR (ex FE 430 B) classe di esecuzione (UNI EN 1090-2): EXC3
BULLONI PER UNIONI A TAGLIO	VITE Classe 8.8; DADO Classe 8
BULLONI PER UNIONI AD ATTRITO	VITE Classe 10.9; DADO Classe 10
ACCIAIO PER ARMATURA MICROPALI	S275JR (ex FE 430 B)
SALDATURE	In accordo con istruzione FS 44/S
PIOLI	Acciaio S235 J2G3 + C450 fu/fy ≥ 1.2 fy ≥ 350 Mpa fu ≥ 450 Mpa Allungamento ≥ 12% Strizione ≥ 50% Composizione Chimica C ≤ 0.18; Mn ≤ 0.9; S ≤ 0.04; P ≤ 0.05



## 5. GEOMETRIA IMPALCATO

<u>Caratteristiche tracciato</u>				
Velocità di linea	V	=	160	[m/s]
Raggio di curvatura	R	=	-	[m]



<u>Caratteristiche impalcato</u>				
Altezza trave	h	=	79	[cm]
Spessore soletta	s	=	17	[cm]
Altezza impalcato	H	=	96	[cm]
Distanza P.F. - intradosso travi	d1	=	174	[cm]
Distanza P.F. - baricentro travi	d2	=	134.5	[cm]
Altezza impalcato investita dal vento	d3	=	119	[cm]
Altezza barriera antirumore	Hb	=	400	[cm]
Profilo travi			HEA800	
Interasse travi	i	=	42	[cm]
Numero complessivo travi	$n_T$	=	23	
Numero travi investite su 4.0 m	$n_4$	=	10	
Larghezza complessiva impalcato	B	=	12.8	[m]
Luce di calcolo	L	=	15.0	[m]
Lunghezza totale trave	$L_{tr}$	=	15.5	[m]
Lunghezza totale impalcato	$L_{tot}$	=	15.8	[m]
Numero binari	$n_{bin}$	=	2	
Intervia	$i_{bin}$	=	4.038	[m]
Distanza intradosso imp. - baricentro sez. solo c.a.	$Y_{G,ca}$	=	0.565	[m]

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 Peso proprio e sovraccarichi permanenti

Per le azioni permanenti si considerano i pesi propri della struttura, valutati sulla base delle caratteristiche geometriche degli elementi costituenti l'impalcato e dei pesi specifici dei materiali utilizzati, ed i sovraccarichi permanenti portati.

Peso proprio e sovraccarichi permanenti												
Peso sezione in c.a.			10.79	x	25.0	=	269.75	[kN/m]	$\gamma_{G1}$	1.35	364.16	[kN/m]
Travi metalliche			23	x	2.52	=	57.96	[kN/m]	$\gamma_{G1}$	1.35	78.25	[kN/m]
Ballast+imp.+arm	0.75	x	8.3	x	18.0	=	112.05	[kN/m]	$\gamma_B$	1.50	168.08	[kN/m]
Massetto	0.05	x	11.8	x	25.0	=	14.75	[kN/m]	$\gamma_{G2}$	1.50	22.13	[kN/m]
Canalette			2	x	2.1	=	4.2	[kN/m]	$\gamma_{G2}$	1.50	6.30	[kN/m]
Velette			0	x	1.5	=	0	[kN/m]	$\gamma_{G2}$	1.50	0.00	[kN/m]
Barriere antirumore	2	x	4.0	x	4.0	=	32	[kN/m]	$\gamma_{G2}$	1.50	48.00	[kN/m]
							<b>Totale <math>p_1</math></b>	<b>490.71</b>	<b>[kN/m]</b>	<b>Totale <math>p_{1,Ed}</math></b>	<b>686.91</b>	<b>[kN/m]</b>

### 6.2 Carichi variabili

Per i sovraccarichi mobili si considerano gli effetti prodotti dai modelli di carico rappresentativi del traffico normale (LM71) e pesante (SW). Tali effetti sono amplificati per il coefficiente di adattamento  $\alpha$  e per il coefficiente dinamico  $\Phi_3$ ; per il solo modello di carico LM71 si considera inoltre un'eccentricità  $e$  di carico rispetto l'asse del binario pari a  $143.5/18 = 8$  cm.

Sono inoltre portate in conto le azioni di frenatura ed avviamento, di serpeggio, di vento sul treno e l'azione aerodinamica del treno sulle barriere.

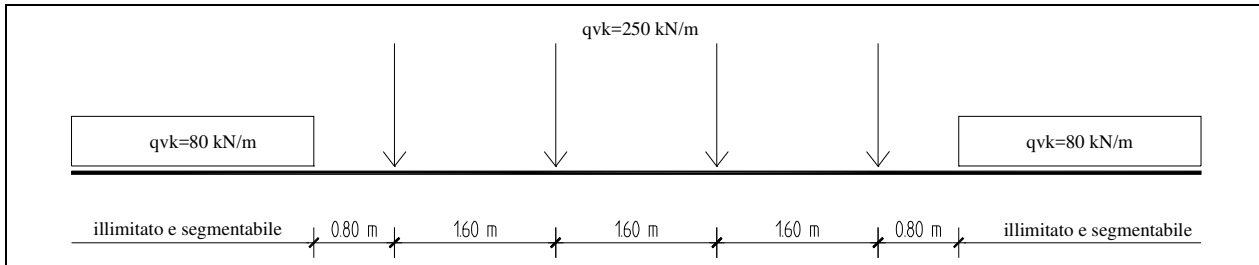
#### 6.2.1 Treno LM71

Questo treno di carico schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e, come mostrato nella sottostante figura, risulta costituito da quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1.6m e da un carico distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni a partire da 0.80m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

$$q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$$

$$Q_{vk} = 250 \text{ kN}$$

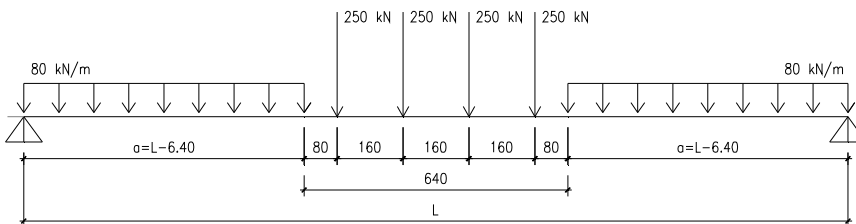
$$\alpha = 1.1 \text{ (coefficiente di adattamento)}$$



Per massimizzare gli effetti in termini di sollecitazione flessionale e taglio si considerano due diverse configurazioni di carico a cui corrispondono i seguenti carichi equivalenti  $p_2$  di tipo uniformemente distribuito e comprensivi del coefficiente di adattamento  $\alpha$ .

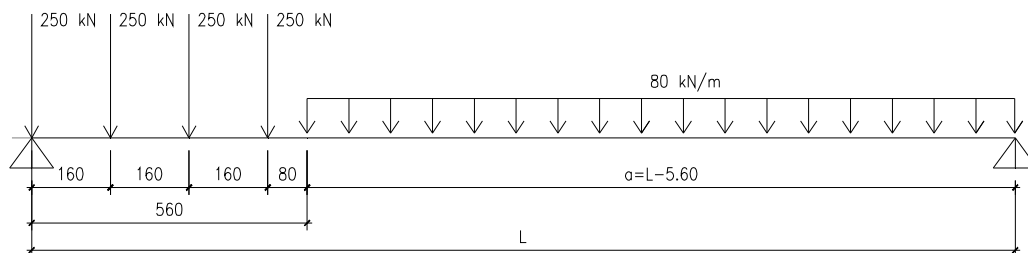
- Configurazione 1: max momento flettente in mezzeria

$$p_2 = 142.96 \text{ kN/m}$$



- Configurazione 2: max taglio in appoggio

$$p_2 = 155.86 \text{ kN/m}$$

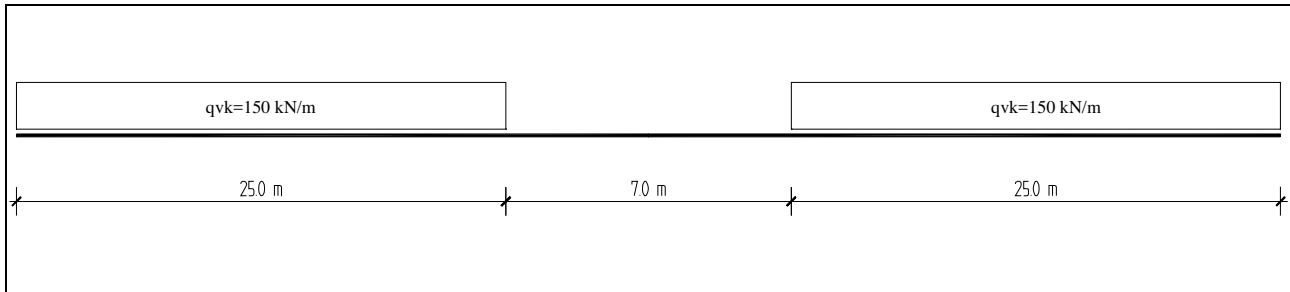


## 6.2.2 Treno SW/2

Tale carico schematizza gli effetti prodotti dal traffico ferroviario pesante come riportato nella sottostante figura.

$$q_{vk} = 150 \text{ kN/m}$$

$$\alpha = 1.0 \text{ (coefficiente di adattamento)}$$



Considerando la luce dell'impalcato in esame il treno di carico SW/2 è costituito da un carico verticale uniformemente distribuito di intensità 150.0 kN/m comprensivo del coefficiente di adattamento  $\alpha$ .

### 6.2.3 Coefficiente dinamico

Il coefficiente dinamico adottato è quello previsto per le linee con un livello *normale* dello standard manutentivo che risulta pari a:


$$\phi_3 = 1.318$$

### 6.2.4 Frenatura ed avviamento

Le forze di frenatura ed avviamento agiscono in direzione longitudinale alla quota di sommità del binario posta a 1.345 m dal baricentro delle travi.

I valori caratteristici da considerare, comprensivi del coefficiente di adattamento  $\alpha$ , risultano pari a :

<u>- Frenatura</u>				
Treno LM71	$Q_{b,k}$	=	20.0	[kN/m]
	$Q_{lb}$	=	347.6	[kN]
Treno LSW/2	$Q_{b,k}$	=	35.0	[kN/m]
	$Q_{lb}$	=	553.0	[kN]
<u>- Avviamento</u>				
Treno LM71	$Q_{b,k}$	=	33.0	[kN/m]
	$Q_{lb}$	=	573.5	[kN]
Treno LSW/2	$Q_{b,k}$	=	33.0	[kN/m]
	$Q_{lb}$	=	521.4	[kN]

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	VI09 – Scavalco via per Biolo <i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLVI0907001	REV. A

### 6.2.5 Serpeggio

L'azione laterale associata al serpeggio è definita al par. 1.4.3.2 delle Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari, che riprende il par. 5.2.2.4.2 del DM 14.1.2008, ed equivale ad una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario, del valore di 100 kN.

Tale valore deve essere moltiplicato per il coefficiente di adattamento  $\alpha$ .

Il valore della forza laterale prodotta dal serpeggio comprensiva del coeff. di adattamento risulta pari a

$$F_L = \alpha Q_{sk}$$

Treno LM71	$F_L =$	1.1	x	100	=	110	KN
Treno SW/2	$F_L =$	1.0	x	100	=	100	KN

### 6.2.6 Vento

Il treno viene individuato come una superficie piana continua convenzionalmente alta 4 m dal P.F., indipendentemente dal numero dei convogli presenti sul ponte.				
Pressione del vento	p	=	2.50	[kN/m <sup>2</sup> ]
Altezza investita dal vento	Hv	=	5.94	[m]
Centro di spinta - intradosso travi	cv	=	2.97	[m]
Azione del vento	qv	=	14.85	[kN/m]


### 6.2.7 Carico sui marciapiedi

Il carico variabile sui marciapiedi è schematizzato come un carico uniformemente ripartito del valore di  $p_4 = 10.0 \text{ kN/m}^2$ .

Per questo tipo di carico, che non è considerato contemporaneo al transito dei convogli ferroviari, non si applica l'incremento dinamico.

## 6.3 Azione sismica

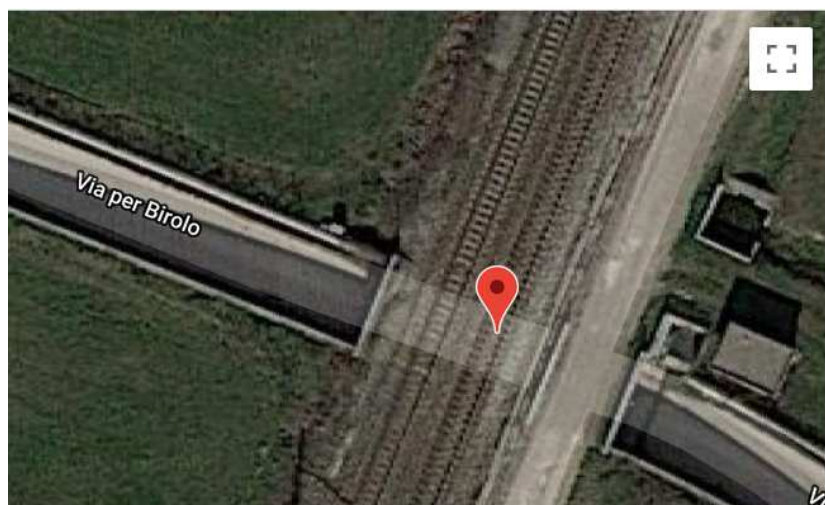
Le azioni sismiche di progetto, relative agli stati limite considerati, sono definite a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Quest'ultima è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	VI09 – Scavalco via per Biolo <i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLVI0907001	REV. A

condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (cat.A) e di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$  con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$

Le forme spettrali sono definite dalla normativa a partire dai seguenti parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito (cat. A)
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale



Latitudine (WGS84)	45.30232547	Longitudine (WGS84)	9.18029236	
Latitudine (ED50)	45.304108	Longitudine (ED50)	9.18136	
Altitudine (mt)	0			
Classe dell'edificio	III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi			
Vita Nominale Struttura	75			
Periodo di Riferimento per l'azione sismica	113			
Parametri di pericolosità Sismica				
Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g/g$ [-]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
Operatività	68	0.030	2.549	0.213
Danno	114	0.036	2.568	0.236
Salvaguardia Vita	1073	0.076	2.586	0.292
Prevenzione Collasso	2203	0.095	2.586	0.304
<a href="#">Termini e Condizioni di utilizzo di EdilUs-MS</a>				

Figura 6-1: Individuazione della pericolosità sismica del sito e scelta della strategia di progettazione

L'azione sismica risulta non essere dimensionante per le verifiche dell'impalcato; pertanto verrà trattata per definire l'entità delle azioni trasmesse sulle sottostrutture.

Per la valutazione dell'azione sismica si utilizza il metodo dell'analisi pseudostatica in cui il sisma è rappresentato da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ . Le forze sono pertanto:

Forza sismica orizzontale  $F_h = k_h W$

Forza sismica verticale  $F_v = k_v W$

I valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$ , relativi allo stato limite considerato, sono posti pari all'ordinata dello spettri di progetto corrispondente al periodo  $T=0$  per la componente orizzontale ed a quella corrispondente al periodo proprio  $T=T_0$  per la componente verticale.

Stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV				
probabilità di superamento nel periodo di riferimento		$P_{VR}$	10%	
Periodo di ritorno dell'azione sismica		$T_R$	1067.762	anni
<b>PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA</b>				
accelerazione orizzontale massima al sito		$a_g$	0.746	[m/s <sup>2</sup> ]
coefficiente di amplificazione spettrale massima		$F_0$	2.586	
periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione		$T_C^*$	0.292	[s]
<b>CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE</b>				
Categoria di sottosuolo			C	
coefficiente di amplificazione stratigrafica		$S_S$	1.50	
coefficiente di sottosuolo		$C_C$	1.58	
Categoria topografica			T1	
coefficiente di amplificazione topografica		$S_T$	1	
$S_S \times S_T$		$S$	1.50	
coefficiente di smorzamento viscoso		$x$	5%	
$\sqrt{10/(5+x)}$		$h$	1	
<b>PARAMETRI DI ANALISI</b>				
accelerazione orizzontale massima al sito		$a_{max}$	1.118	[m/s <sup>2</sup> ]
fattore di struttura		$q$	1	
coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima		$\beta_m$	1	
coefficiente sismico orizzontale		$k_h$	0.114	
coefficiente sismico verticale		$k_v$	0.057	

I valori complessivi delle masse associate ai carichi sismici (permanenti + 0.2 carico ferroviario) sono riportati nella sottostante tabella insieme alle distanze  $d$  ed i corrispondenti momenti valutati rispetto la quota d'intradosso delle travi di impalcato.

Operando a favore di sicurezza, la forza d'inerzia dell'impalcato è applicata alla quota del baricentro geometrico della sezione trasversale e quella relativa ai carichi permanenti viene applicata alla quota del p.f..

- Azione sismica

L'azione sismica verrà trattata per definire le azioni trasmesse sulle sottostrutture.

Per la valutazione dell' azione sismica si utilizza il metodo dell' analisi pseudostatica in cui il sisma è rappresentato da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico  $k$ .

	W [kN]	$\psi_{02}$ [-]	m [kN]	$k_h$ [-]	$F_h$ [kN]	d [m]	$F_h \times d$ [kNm]
Permanenti strutturali G1	5160.43	1.00	5160.43	0.114	588.29	0.56	332.21
Ballast	1770.39	1.00	1770.39	0.114	201.82	1.74	351.17
Sovraccariche G2	805.01	1.00	805.01	0.114	91.77	1.74	159.68
Treno LM71	2632.99	0.20	526.60	0.114	60.03	3.74	224.52
			8262.43		941.92		1067.58
Treno SW/2	3123.84	0.20	624.77	0.114	71.22	3.74	266.38
			8360.60		953.11		1109.44

#### 6.4 Resistenze parassite nei vincoli

Si considerano le resistenze parassite nei vincoli in condizioni di spostamento relativo incipiente prodotto dalle variazioni di temperatura.

In ciascun apparecchio di appoggio (fisso/mobile) la reazione parassita è pari al prodotto tra la reazione verticale associata ai carichi verticali, permanenti e mobili, per il coefficiente di attrito  $f$ .

$$H_{\text{long (fisso)}} = H_{\text{long (mobile)}} = f \cdot (R_G + R_Q) \quad \text{con } f = 0.06$$

L'azione in esame è stata considerata ai soli fini del calcolo delle azioni sugli apparecchi di appoggio e sulle spalle.



## 6.5 Sollecitazioni sulla fascia resistente e sulla trave di bordo

Le azioni verticali prodotte da permanenti e accidentali e quelle prodotte dalla frenatura/avviamento sono ugualmente ripartite sulle diverse travi contenute all'interno della fascia resistente di 4.0 m. Le azioni orizzontali, invece, riportate al baricentro delle travi, producono delle coppie torcenti lungo l'asse dell'impalcato che hanno come effetto quello di caricare maggiormente le travi più esterne della fascia considerata. Analoghi effetti hanno l'eccentricità di carico del treno LM71 e l'effetto della sopraelevazione.

<b>- Calcolo delle reazioni su una fascia di 4.00 m</b>					
<u>- Coppie torcenti a metro lineare di impalcato</u>					
Vento	mt8	=	38.24	[kNm]	
Azione laterale (Serpeggio)	mt9	=	147.95	[kNm]	
<b>- Sollecitazioni sulla trave di bordo fascia</b>					
L'incremento di carico verticale $D_p$ prodotto sulla trave di bordo dalle coppie torcenti mti si valuta, in prima approssimazione, considerando la flessione su una striscia unitaria trasversale di impalcato avente sezione $b \cdot h$ pari a 100 cm * 400 cm ed il cui momento d'inerzia $J'$ vale $1 \cdot 4^3 / 12 = 5.33 \text{ m}^4$					
$\Delta p = (m t / J') \cdot d \cdot i =$					
in cui					
i = interasse fra le travi	i	=	42	[cm]	
d = distanza fra l'asse della trave di bordo e l'asse impalcato	d	=	189	[cm]	
$d \times i / J'$		=	0.149	[1/m <sup>2</sup> ]	
<u>- Azioni orizzontali</u>					
Vento	$\Delta p_8$	=	5.695	[kN/m]	
Azione laterale (Serpeggio)	$\Delta p_9$	=	22.034	[kN]	

## 7. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPALCATO

In conformità con il *Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II-Sezione 2 – Ponti e Strutture* RFI DTC SI PS MA IFS 001 B la progettazione è condotta mediante l'ausilio di tabelle poiché sono rispettate le condizioni del paragrafo 2.9.3 dello stesso manuale, riportate di seguito per comodità:

- Velocità massima di progetto della Linea  $\leq 200$  km/h (vedi Nota 1);
- Impalcati retti o con obliquità non superiore a  $15^\circ$  (vedi Nota 2);
- Binario in rettilineo (vedi Nota 3);
- Impalcati a semplice o doppio binario.

Nel seguito è indicata la soluzione d'impalcato scelta:

Portata teorica (m)	Profilo	n. di travi	interasse (cm)	Hmax (cm)	h. travi (cm)	d. p.f.-s.trave (cm)	peso travi (daN/ml)
14.50 < L ≤ 15	HEA 800	12	42	91	79	174,3	2688
	HEA 900	9	57,7	101	89	184,3	2268
	HEB 800	11	46,2	92	80	175,3	2882
	HEM 800	9	57,7	93,4	81,4	176,7	2853
15 < L ≤ 15.50	HEA 900	10	51,3	101	89	184,3	2520
	HEB 800	12	42	92	80	175,3	3144
	HEM 800	10	51,3	93,4	81,4	176,7	3170
15.50 < L ≤ 16	HEA 900	10	51,3	101	89	184,3	2520
	HEA 1000	9	57,7	111	99	194,3	2448
	HEB 900	9	57,7	102	90	185,3	2619
	HEM 800	11	46,2	93,4	81,4	176,7	3487
16 < L ≤ 16.50	HEA 900	11	46,2	101	89	184,3	2772
	HEA 1000	9	57,7	111	99	194,3	2448
	HEB 900	9	57,7	102	90	185,3	2619
	HEM 800	12	42	93,4	81,4	176,7	3804
16.50 < L ≤ 17	HEA 900	12	42	101	89	184,3	3024
	HEA 1000	10	51,3	111	99	194,3	2720
	HEB 900	10	51,3	102	90	185,3	2910
	HEM 900	9	57,7	103	91	186,3	3997

### 7.1 Verifiche di deformabilità

Poiché l'impalcato è dimensionato secondo la tabella suddetta le verifiche di deformabilità, fra le quali il requisito relativo allo sghembo, si ritengono automaticamente soddisfatte.

## 8. AZIONI SUGLI APPOGGI

Al disotto delle travi disposte nella fascia centrale dell'impalcato si dispongono appoggi fissi su una spalla e unidirezionali longitudinali sull'altra. Sulle rimanenti travi sono previsti appoggi di tipo multidirezionale.

Uno schema in pianta della configurazione degli appoggi si riporta nella sottostante figura.

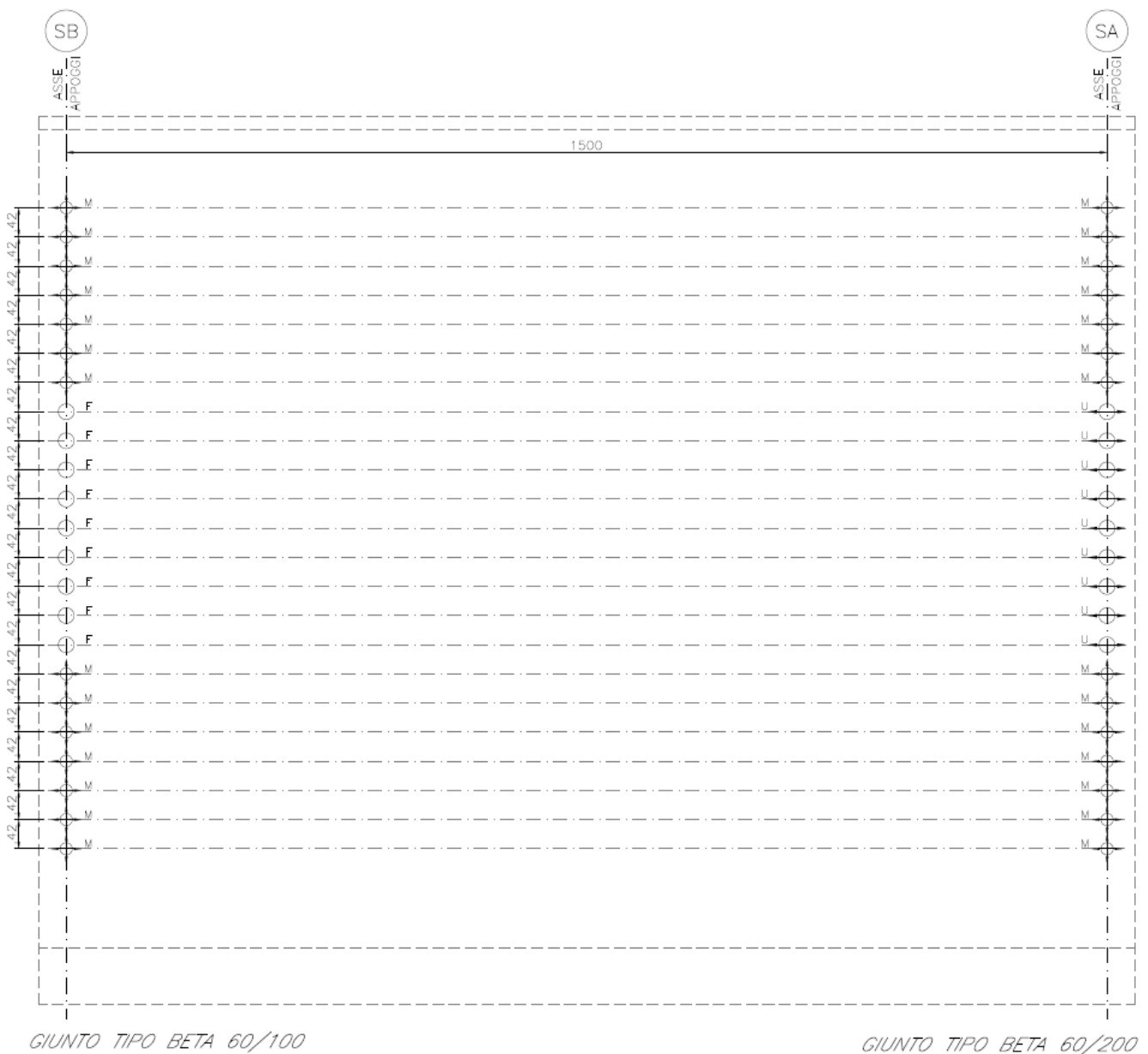


Fig. 2 – Schema configurazione appoggi

Per ciascuna tipologia si riporta il numero degli appoggi predisposti su ogni spalla.

Coefficiente di attrito per resistenze parassite	f	=	0.06
Numero di appoggi complessivi su ogni spalla	$n_T$	=	23
Spalla A - Numero di appoggi fissi F	$n_F$	=	9
Spalla A - Numero di appoggi mobili M	$n_M$	=	14
Spalla B - Numero di appoggi unidirezionali U	$n_U$	=	9
Spalla B - Numero di appoggi mobili M	$n_M$	=	14

Le azioni massime di taglio e sforzo normali agenti nelle condizioni elementari di carico su ciascuna tipologia di appoggio sono riportate nelle sottostanti tabelle in cui si è posto

V: forza normale  
 H<sub>t</sub>: forza di taglio orizz. direz. trasversale  
 H<sub>l</sub>: forza di taglio orizz. direz. longitudinale

<u>Appoggi Fissi (F)</u>	V [kN]	H <sub>T</sub> [kN]	H <sub>L</sub> [kN]
Peso proprio G1	112.18		
Ballast	38.49		
Sovraccarichi permanenti G2	17.50		
Treno LM71	162.29		
Treno SW/2	156.19		
Frenatura / Avviamento	6.65		63.73
Azione laterale (Serpeggio)	11.02	6.11	
Vento	44.99	16.34	
Resistenze parassite			47.43
Sisma longitudinale	3.87		112.57
Sisma trasversale		56.29	
Sisma verticale	55.46		
G1	112.18	0.00	0.00
Ballast + G2	55.99	0.00	0.00
gr1	179.96	6.11	63.73
vento	44.99	16.34	0.00

<u>Appoggi Unidirezionali Long. (U)</u>	V [kN]	H <sub>T</sub> [kN]	H <sub>L</sub> [kN]
Peso proprio G1	112.18		
Ballast	38.49		
Sovraccarichi permanenti G2	17.50		
Treno LM71	162.29		
Treno SW/2	156.19		
Frenatura / Avviamento	6.65		
Azione laterale (Serpeggio)	11.02	6.11	
Vento	44.99	16.34	
Resistenze parassite			
Sisma longitudinale	3.87		
Sisma trasversale		56.29	
Sisma verticale	55.46		
G1	112.18	0.00	0.00
Ballast + G2	55.99	0.00	0.00
gr1	179.96	6.11	0.00
vento	44.99	16.34	0.00

<u>Appoggi Multidirezionali (M)</u>	V [kN]	H <sub>T</sub> [kN]	H <sub>L</sub> [kN]
Peso proprio G1	112.18		
Ballast	38.49		
Sovraccarichi permanenti G2	17.50		
Treno LM71	162.29		
Treno SW/2	156.19		
Frenatura / Avviamento	6.65		
Azione laterale (Serpeggio)	11.02		
Vento	44.99		
Resistenze parassite			
Sisma longitudinale	3.87		
Sisma trasversale			
Sisma verticale	55.46		

I valori complessivi delle azioni sono mostrati nella tabella seguente:

**TABELLA SOLLECITAZIONI**  
**SINTESI ENV SLU+SLV**

	<i>V</i>	<i>Ht</i>	<i>HI</i>
	<i>kN</i>	<i>kN</i>	<i>kN</i>
<i>F</i>	<i>540</i>	<i>60</i>	<i>165</i>
<i>U</i>	<i>540</i>	<i>60</i>	<i>0.0</i>
<i>M</i>	<i>540</i>	<i>0.0</i>	<i>0.0</i>

## 9. AZIONI SULLE SPALLE

Le azioni trasmesse dall'impalcato sulle sottostrutture sono riportate per ogni condizione elementare di carico nelle sottostanti tabelle.

Si analizzano le configurazioni con un solo binario caricato dal treno LM71 o SW/2 e quella in cui gli stessi treni sono presenti contemporaneamente.

Le azioni sono riferite in pianta al baricentro degli appoggi a livello della quota d'intradosso dell'impalcato.

Il significato dei simboli utilizzati è il seguente:

- V: forza normale
- H<sub>T</sub>: forza orizzontale di taglio agente in dir. Trasversale
- H<sub>L</sub>: forza orizzontale di taglio agente in dir. Longitudinale
- M<sub>T</sub>: momento flettente in direzione trasversale
- e: eccentricità del carico che provoca momento trasversale sull'impalcato

<i>Treno LM71</i>	V [kN]	H <sub>T</sub> [kN]	H <sub>L</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	e [m]
Peso proprio G1	2580.22				
Ballast	885.20				
Sovraccarichi permanenti G2	402.51				
Treno LM71	1622.94			3406.55	2.10
Frenatura / Avviamento	66.53		573.54		
Azione laterale (Serpeggio)		110.00		191.40	1.74
Vento		147.02		407.83	2.97
Resistenze parassite			329.45		
Sisma longitudinale	71.17		941.92		
Sisma trasversale		470.96		533.79	
Sisma verticale	1185.88				

<i>Treno SW/2</i>	V [kN]	H <sub>T</sub> [kN]	H <sub>L</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	e [m]
Peso proprio G1	2580.22				
Ballast	885.20				
Sovraccarichi permanenti G2	402.51				
Treno SW/2	1561.92			-3153.52	-2.019
Frenatura / Avviamento	64.15		553.00		
Azione laterale (Serpeggio)		100.00		174.00	1.74
Vento		147.02		407.83	2.97
Resistenze parassite			325.79		
Sisma longitudinale	73.96		953.11		
Sisma trasversale		476.55		554.72	
Sisma verticale	1199.97				

<i>Treno SW/2</i>	V	H <sub>T</sub>	H <sub>L</sub>	M <sub>T</sub>
<i>Treno LM71</i>	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]
Peso proprio G1	2580.22			
Ballast	885.20			
Sovraccarichi permanenti G2	402.51			
Treni di carico	3184.86			253.03
Frenatura / Avviamento	130.68		1126.54	
Azione laterale (Serpeggio)		210.00		365.40
Vento		147.02		407.83
Resistenze parassite			423.17	
Sisma longitudinale	88.93		1013.14	
Sisma trasversale		506.57		666.98
Sisma verticale	1275.55			



<i>Treno LM71</i>	V	H <sub>T</sub>	H <sub>L</sub>	M <sub>T</sub>
<i>Treno LM71</i>	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]
Peso proprio G1	2580.22			
Ballast	885.20			
Sovraccarichi permanenti G2	402.51			
Treni di carico	3245.88			129.84
Frenatura / Avviamento	106.85		921.14	
Azione laterale (Serpeggio)		220.00		815.65
Vento		147.02		407.83
Resistenze parassite			426.83	
Sisma longitudinale	86.14		1001.95	
Sisma trasversale		500.97		646.05
Sisma verticale	1261.46			

## 10. GIUNTI

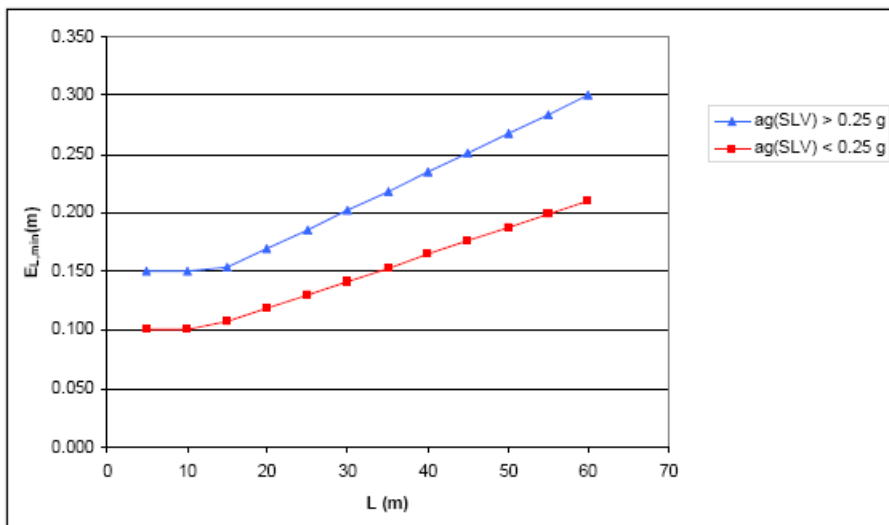
Viene di seguito riportato il calcolo del valore  $E_L$  dell'escursione totale dei giunti e degli apparecchi di appoggio secondo quanto riportato al §2.5.2.1.5 del *Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II-Sezione 2 – Ponti e Strutture* RFI DTC SI PS MA IFS 001 B.

Accelerazione orizzontale massima al sito  $a_g = 0.076g$

$$E_L \geq 2.3 * L / 1000 + 0.1 = 0.11 \text{ m}$$

$L$  = lunghezza del ponte 15.00 m

$$E_L = \max [ 0.10m; 0.11m ] = 0.11 \text{ m}$$




### 10.1 Corsa degli apparecchi d'appoggio mobili

La corsa degli apparecchi d'appoggio mobili deve essere non inferiore a  $\pm (E_L/2 + E_L/8)$  con un minimo di  $\pm (E_L/2 + 15 \text{ mm})$ .

$$\pm (E_L/2 + E_L/8) = \pm 6.9 \text{ cm}$$

$$\pm (E_L/2 + 15 \text{ mm}) = \pm 7.0 \text{ cm}$$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
VI09 – Scavalco via per Biolo <i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLVI0907001	REV. A	FOGLIO 27 di 27

## 10.2 Escursione dei giunti

Il giunto fra le testate di due travi adiacenti dovrà consentire una escursione totale pari a:

$\pm (E_L/2 + 10 \text{ mm})$  calcolata in accordo con il punto 2.1.5.1.

$\pm (E_L/2 + 10 \text{ mm}) = \pm 6.5 \text{ cm}$

## 10.3 Ampiezza dei varchi

Il varco da prevedere fra le testate degli impalcati adiacenti, a temperatura media ambiente, dovrà essere non inferiore a:

$V \geq E_L/2 + V_o$  ove  $V_o = 20 \text{ mm}$

$E_L/2 + 20\text{mm} = 7.5 \text{ cm}$

In corrispondenza della spalla mobile è previsto un giunto tipo Beta 60/200 mentre per la spalla fissa si dispone un giunto tipo Beta 60/100.