

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA

Elaborati Generali

Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate

SCALA:

-

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

R S 3 E 5 0 D 0 9 C L V I 0 0 0 7 0 0 6 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Emissione esecutiva	M. Franchinotti	Novembre 2019	A. Ferri	Novembre 2019	F.Sparacino	Novembre 2019	Autorizzato A. Vitozzi Novembre 2019 ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vitozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A20753

File: RS3E50D09CLVI0000006A

n. Elab.: 1104

INDICE

1. PREMESSA	4
2. SCOPO DEL DOCUMENTO	4
3. DOCUMENTI CORRELATI.....	4
4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
5.1 Calcestruzzo per travi in c.a.p. e traversi.....	5
5.2 Calcestruzzo per getti in opera impalcato e predalles.....	5
5.3 Acciaio per c.a.	6
5.4 Acciaio per c.a.p.....	6
6. DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	7
7. GEOMETRIA IMPALCATO	8
8. ANALISI DEI CARICHI.....	10
8.1 Peso proprio e sovraccarichi permanenti.....	10
8.2 Carichi variabili.....	10
8.2.1 Treno LM71.....	10
8.2.2 Treno SW/2.....	12
8.2.3 Coefficiente dinamico	12
8.2.4 Frenatura ed avviamento.....	12
8.2.5 Serpeggio.....	13
8.2.6 Centrifuga.....	14
8.2.7 Vento.....	14
8.2.8 Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari.....	16
8.2.9 Carico sui marciapiedi.....	16
8.3 Azione sismica.....	17
8.4 Resistenze parassite nei vincoli	17
8.5 Deragliamenti	17
9. SOLLECITAZIONI.....	19
9.1 Sollecitazioni sulla fascia resistente di 4.0m	19
9.1.1 Momento flettente e taglio	19
9.1.2 Coppie torcenti a metro lineare di impalcato	20
9.2 Sollecitazioni sulla trave di bordo della fascia.....	21

9.2.1	<i>Azioni verticali</i>	21
9.2.2	<i>Azioni orizzontali</i>	23
9.3	Riepilogo delle sollecitazioni sulla trave di bordo	25
10.	VERIFICHE DI RESISTENZA	26
11.	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ.....	28
11.1	Frequenza propria dell'impalcato	29
11.2	Freccia sotto i carichi accidentali dinamizzati LM71	29
11.3	Rotazione agli appoggi.....	30
11.4	Sghembo.....	30
12.	VERIFICA DELLO SBALZO TRASVERSALE.....	32
13.	RITEGNI SISMICI LONGITUDINALI.....	34
13.1	Verifica profilo	34
13.2	Verifica bulloni.....	35
13.3	Verifica piastra.....	37
14.	VERIFICA SBALZO PER DISPOSITIVI DI SOLLEVAMENTO	39

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A	FOGLIO 4 di 40

1. PREMESSA

Nell'ambito del *Lotto 1: Taormina (e) - Giampilieri (e)* si inserisce il *Raddoppio della Tratta Giampilieri – Fiumefreddo*, oggetto di progettazione definitiva.

2. SCOPO DEL DOCUMENTO

Nel presente documento si riporta il dimensionamento dell'impalcato tipologico a travi in acciaio a doppio T incorporate nel calcestruzzo, condotto con riferimento alle prescrizioni riportate nell' *Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture*.

3. DOCUMENTI CORRELATI

Vengono presi a riferimento tutti gli elaborati grafici progettuali di pertinenza.

4. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- [1] *Ministero delle Infrastrutture, DM 14 gennaio 2008, «Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni»*
- [2] *Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008»*
- [3] *Istruzione RFI DTC SI PS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 - Ponti e Strutture*
- [4] *Istruzione RFI DTC SI CS MA IFS 001 A - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 - Corpo Stradale*
- [5] *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*

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

5. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

5.1 Calcestruzzo per travi in c.a.p. e traversi

Classe	C45/55	
$R_{ck} =$	55 MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	45 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} =$	53 MPa	valor medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0,85	coeff. rid. Per carichi di lunga durata
$g_M =$	1,5 -	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	25,50 MPa	resistenza di progetto
$f_{ctm} =$	3,80 MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctfm} =$	4,55 MPa	resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctk} =$	2,66 MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
$E_{cm} =$	36283 MPa	Modulo elastico di progetto
$\nu =$	0,2	Coefficiente di Poisson
$G_c =$	15118 MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto

5.2 Calcestruzzo per getti in opera impalcato e predalles

Classe	C32/40	
$R_{ck} =$	40 MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	32 MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} =$	40 MPa	valor medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0,85	coeff. rid. Per carichi di lunga durata
$g_M =$	1,5 -	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	18,13 MPa	resistenza di progetto
$f_{ctm} =$	3,02 MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctfm} =$	3,63 MPa	resistenza media a trazione per flessione
$f_{ctk} =$	2,12 MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
$E_{cm} =$	33346 MPa	Modulo elastico di progetto
$\nu =$	0,2	Coefficiente di Poisson
$G_c =$	13894 MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto

5.3 Acciaio per c.a.

B450C

$f_{yk} \geq$	450 MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540 MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_{k \geq}$	1,15	
$(f_t/f_y)_{k <}$	1,35	
$g_s =$	1,15 -	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391,3 MPa	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	200000 MPa	Modulo elastico di progetto
$\epsilon_{yd} =$	0,196%	deformazione di progetto a snervamento
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$	7,50%	deformazione caratteristica ultima

5.4 Acciaio per c.a.p.

Trefoli $\Phi 0.6'' A=140\text{mm}^2$

$f_{pk} \geq$	1860 MPa	tensione caratteristica di rottura
$f_{p(0,1)k} \geq$	- MPa	tensione caratteristica allo 0,1% di def. Residua
$f_{p(1)k} \geq$	1670 MPa	tensione caratteristica allo 1% di def. Totale
Allung. Per carico max.	3,50% -	
$E_p =$	195.000 MPa	Modulo elastico di progetto
$\gamma_s =$	1,15 -	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{pd} =$	1456 MPa	tensione caratteristica di snervamento
$\epsilon_{ypd} = f_{pd} / E_p$	0,75%	deformazione di progetto a snervamento
$\epsilon_{ud} = 0,9 \times \epsilon_{uk}$	3,15%	deformazione caratteristica ultima

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A	FOGLIO 7 di 40

6. DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'impalcato tipologico in esame ha una luce di calcolo, definita come distanza netta tra gli allineamenti degli assi degli appoggi, pari a 17.0m. La lunghezza complessiva dell'impalcato è pari a 17.86m.

L'impalcato è costituito da 19 travi metalliche HEB900 e da una soletta superiore in c.a. gettata in opera di larghezza complessiva pari a 13.7m su cui gravano 2 binari posti ad interasse pari a 4.0m.

La distanza tra il piano ferro e l'intradosso impalcato risulta pari a 1.853 m.

La velocità di progetto della linea è pari a 160 km/h. Nei viadotti in esame l'andamento planimetrico del tracciato ferroviario presenta nel caso più restrittivo un raggio di curvatura pari a 1274m.

7. GEOMETRIA IMPALCATO

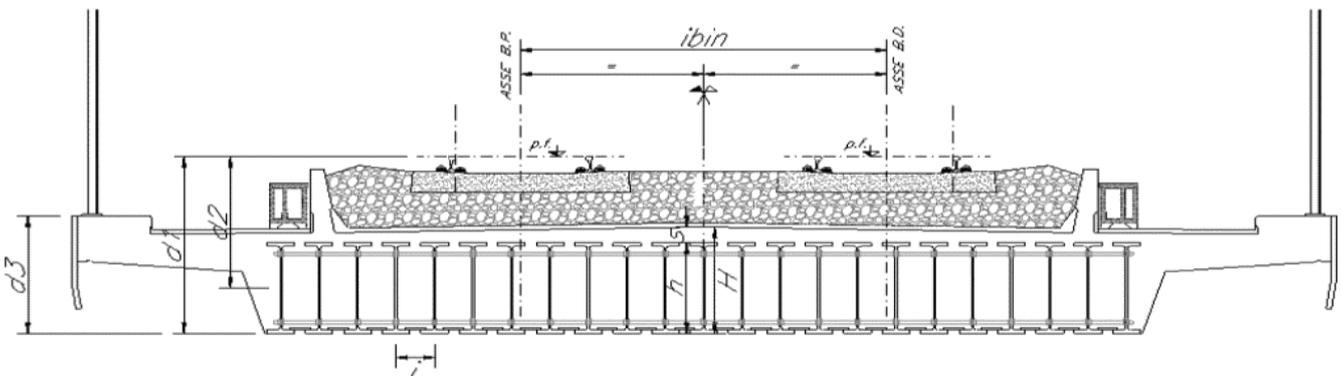
Caratteristiche tracciato

V =	160	Km/h	Velocità di progetto della linea
R =	1274	m	Raggio curvatura
s =	0	m	Sopraelevazione

Caratteristiche geometriche impalcato

Caratteristiche profilo

	HEB900	
A =	371.3 cm ²	area
J =	494065 cm ⁴	momento inerzia
W =	10979 cm ³	modulo di resistenza elastica
yg = h/2	45 cm	distanza baricentro
S =	6292 cm ³	momento statico metà sezione
h =	90.0 cm	altezza profilo
tw =	1.85 cm	spessore anima
b =	30.0 cm	larghezza ali
tf =	3.5 cm	spessore ali
p =	2.915 kN/m	peso /m



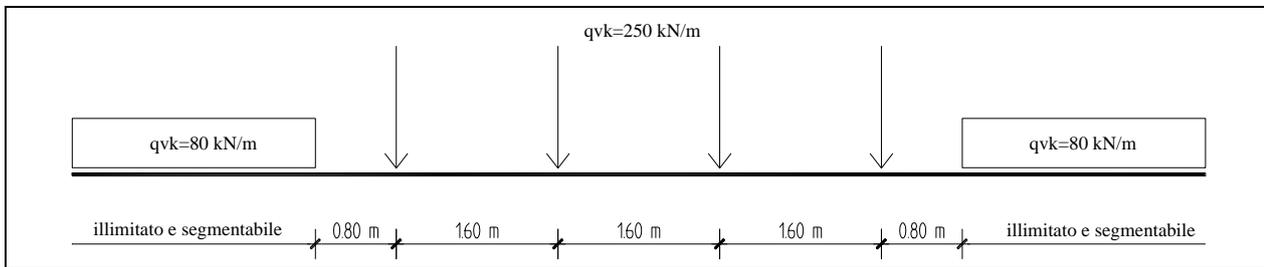
$h =$	90 cm	altezza trave
$s_{sol} =$	17 cm	spessore soletta superiore
$H = h + s_{sol} =$	107 cm	spessore impalcato
$d1 =$	1.853 m	distanza p.f. - intradosso travi
$d2 =$	1.403 m	distanza p.f. - baricentro travi
$d3 =$	1.20 m	altezza impalcato investito dal vento
$H_b =$	4.65 m	altezza barriera antirumore
$i =$	51.3 cm	interasse travi
$n_{tot} =$	19 -	n.ro complessivo travi
$n =$	8 -	numero di travi investite su 4.0m
$n_{tr} =$	10 -	numero di travi investite su 5.0m
$B =$	13.7 m	larghezza complessiva impalcato
$L =$	17.0 m	luce di calcolo
$L_{tot} =$	17.8 m	lunghezza totale impalcato
$n_{bin} =$	2 -	n.ro binari
$i_{bin} =$	4.0 m	intervallo
$y_{G,ca} =$	0.59 m	distanza intrados. Impalc. - baricentro sez. solo c.a.

distribuito di 80 kN/m in entrambe le direzioni a partire da 0.80m dagli assi d'estremità e per una lunghezza illimitata.

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

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

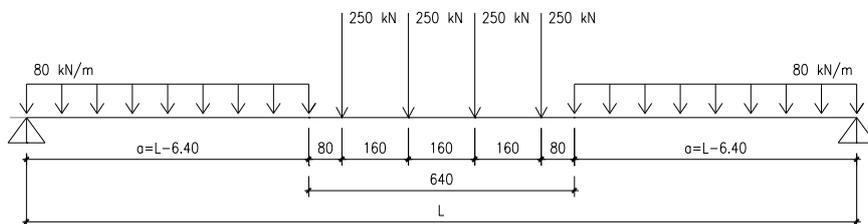
$$\alpha = 1.1 \text{ (coefficiente di adattamento)}$$



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 compressivi del coefficiente di adattamento α .

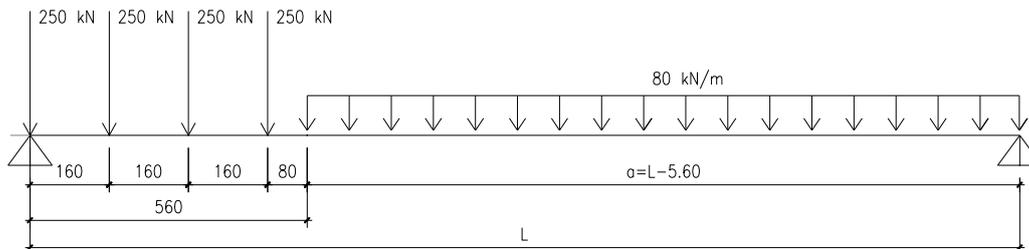
- Configurazione 1: max momento flettente in mezzeria

$$p_2 = 139.3 \text{ kN/m}$$



- Configurazione 2: max taglio in appoggio

$$p_2 = 154.5 \text{ kN/m}$$

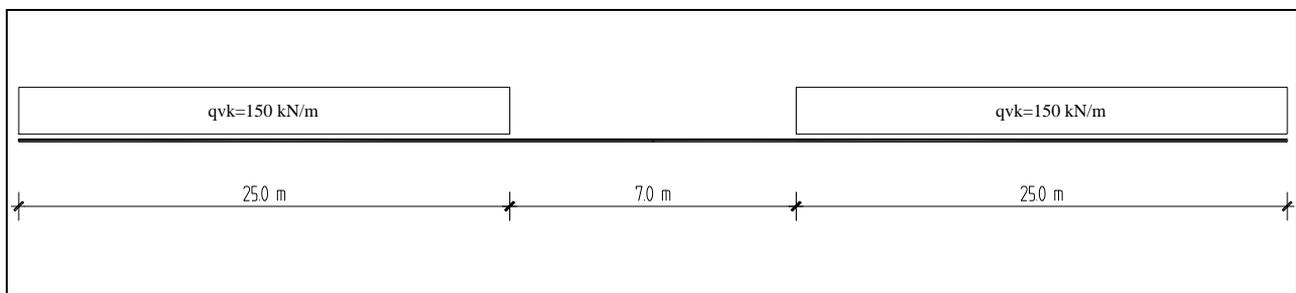


8.2.2 Treno SW/2

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 α .

8.2.3 Coefficiente dinamico

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

$$\phi_3 = 2.16/(L^{1/2}-0.2) + 0.73 = 1.281$$

8.2.4 Frenatura ed avviamento

Le forze di frenatura ed avviamento agiscono in direzione longitudinale alla quota di sommità del binario posta a 1.403 m dal baricentro delle travi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

I valori caratteristici da considerare, comprensivi del coefficiente di adattamento α , risultano pari a:

Frenatura

Treno LM71

$$Q_{lb} = \alpha Q_{lb,k} = 1.1 \times 20 \times 17.80 = 391.6 \text{ KN}$$

Treno SW/2

$$Q_{lb} = \alpha Q_{lb,k} = 1.0 \times 35 \times 17.80 = 623.0 \text{ KN}$$

Avviamento

Treno LM71

$$Q_{la} = \alpha Q_{la,k} = 1.1 \times 33 \times 17.80 = 646.1 \text{ KN}$$

Treno SW/2

$$Q_{la} = \alpha Q_{la,k} = 1.0 \times 33 \times 17.80 = 587.4 \text{ KN}$$

8.2.5 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 α .

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

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

$$\text{Treno LM71} \quad F_L = 1.1 \times 100 = 110 \text{ KN}$$

$$\text{Treno SW/2} \quad F_L = 1.0 \times 100 = 100 \text{ KN}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

8.2.6 Centrifuga

L'azione centrifuga è definita in funzione del raggio di curvatura R in pianta del tracciato ferroviario nel tratto considerato. Nei viadotti in esame l'andamento planimetrico del tracciato ferroviario presenta nel caso più restrittivo un raggio di curvatura pari a 1274m.

La forza centrifuga si considera agente in direzione orizzontale applicata alla quota di 1.80m al di sopra del piano del ferro (p.f.) e quindi a 3.203 m dal baricentro delle travi.

$$F_c = q_{tk} = (f \times \alpha q_{vk}) V^2 / (127 \times R)$$

$h_c =$	1.8 m
$R =$	1274 m
$L_f =$	17.00 m
$f =$	-
$h_{c-g} =$	3.203 m

valore caratteristico forza centrifuga

distanza Fc - p.f.

Raggio curvatura

lunghezza di influenza della parte curva di binario

fattore di riduzione

distanza Fc - baricentro travi

Treno LM71

$V =$	160 Km/h
$\alpha =$	1.1 -
$f =$	0.8 -

Velocità di progetto della linea

$$q_{tk} = 18.49 \text{ KN/m}$$

effetto flettente

$$q_{tk} = 20.51 \text{ KN/m}$$

effetto tagliante

Treno SW/2

$V =$	100 Km/h
$\alpha =$	1.0 -
$f =$	1.0 -

Velocità di progetto

$$q_{tk} = 9.27 \text{ KN/m}$$

effetto flettente

$$q_{tk} = 9.27 \text{ KN/m}$$

effetto tagliante

8.2.7 Vento

Il calcolo dell'azione del vento è stato condotto secondo quanto riportato al par. 3.3 del DM 2008 e si riportano di seguito i principali parametri di calcolo:

zona 4, $v_b = 28.66 \text{ m/s}$ (vel. di riferimento), $a_0 = 500 \text{ m}$, $k_a = 0.015 \text{ 1/s}$

Poiché si considera un $TR = 1.5 \times 75 = 112.5$ anni, la velocità di riferimento assume il seguente valore, secondo quanto riportato al par. C3.3.2 del DM 14/02/2008:

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA</p>					
<p>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</p>	<p>COMMESSA RS3E</p>	<p>LOTTO 50</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI 00 00 006</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 15 di 40</p>

$$v_b (TR) = \alpha R \cdot v_b = 1.045 \times 28.0 = 29.26 \text{ m/s}$$

dove

$$\alpha R = 0,75 \cdot [1 - 0,2 \cdot \ln (-\ln (1-1/ TR))]^{0,5} = 1.045 \quad (\text{con } TR = 112.5 \text{ anni})$$

La pressione cinetica di riferimento è pari a:

$$q_b = 0.5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 536 \text{ N/m}^2$$

$$\text{con } \rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$$

Considerando una classe di rugosità del terreno tipo *D* ed una categoria di esposizione *II* il coefficiente di esposizione c_e vale

$$c_e (z) = k_r^2 c_t \ln (z/z_0) [7 + \ln (z/z_0)]$$

$$\text{dove: } k_r = 0.19$$

$$c_t = 1.0$$

$$z_0 = 0.05 \text{ m}$$

la pressione del vento è valutata con l'espressione

$$p_{\text{vento}} = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

in cui

$$c_d = 1.0 \quad \text{coefficiente dinamico}$$

$$c_p = 1.4 \quad \text{coefficiente di forma} \quad (\text{NTC08 par. 3.3.10.4.1 per } \phi=1)$$

L'altezza massima del p.f. rispetto al piano campagna è assunta pari a 11m.

Per l'analisi delle travi d'impalcato e degli appoggi si considera l'azione del vento agente sul treno individuato come una superficie piana continua convenzionalmente alta 4.0m dal p.f..

La pressione media sulla superficie investita dal vento vale

$$p = (p_1 + p_2) / 2 = 1.9 \text{ kN/m}^2$$

in cui si è posto

$$c_e(z_{\text{max}}=15.0\text{m}) = 2.62$$

$$p_1/c_p = 1.40 \text{ kN/m}^2$$

$$p_1 = 2.0 \text{ kN/m}^2$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

$$c_e(z_{max}=11.0m) = 2.41$$

$$p_2/c_p = 1.29 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = 1.8 \text{ kN/m}^2$$

$p_5 =$	1.90	KN/m^2	Pressione del vento
$d_1 =$	1.853	m	distanza p.f. - intradosso travi
$H_{treno} =$	4.00	m	Altezza superficie piana continua convenzionale del treno
$p_5^* = p_5 \times H_{treno} =$	7.60	KN/m	Vento sull'impronta treno
$b_5 = H_{treno}/2 + d_2 =$	3.403	m	Distanza tra il centro spinta del vento ed il baricentro delle travi
$mt_8 = p_5^* \times b_5 =$	25.9	KNm/m	Coppia torcente a metro lineare di impalcato

Per la valutazione degli effetti prodotti a livello globale dall'impalcato sulle sottostrutture si considera l'azione del vento agente sulla superficie sopravento comprensiva della barriera antirumore e del lato esposto dell'impalcato. Il coefficiente di forma sia assume $c_p=1.4$; in questo caso il valore medio della pressione del vento è stato posto cautelativamente pari a quello utilizzato per l'analisi delle travi d'impalcato

$$p = 1.90 \text{ kN/m}^2$$

$p_6 =$	1.90	KN/m^2	Pressione media del vento sul lato esposto (impalc + barriera)
$H_b =$	4.65	m	Altezza barriera
$H_{tot} = d_3 + H_b =$	5.85	m	Altezza superficie complessiva investita dal vento
$p_6^* = p_6 \times H_{tot} =$	11.12	KN/m	Carico lineare del vento agente sul lato esposto al vento
$b_6 = H_{tot}/2 - y_g =$	2.48	m	Dist. tra il centro spinta vento sul lato esposto ed il baric. delle trav.
$mt_8 = p_6^* \times b_6 =$	27.5	KNm/m	Coppia torcente a metro lineare di impalcato

8.2.8 Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari

Gli effetti aerodinamici associati al passaggio dei treni sono analoghi a quelli del vento (carichi equivalenti statici sulle barriere anti-rumore). L'intensità della pressione da considerare viene determinata secondo quanto indicato nel punto 1.4.6. delle Istruzioni, che riportano la figura 5.2.8 del DM 14 gennaio 2008. Tali azioni saranno utilizzate per il progetto delle barriere e delle relative strutture di sostegno.

Nel caso in esame con la distanza delle barriere dai binari pari a circa 4.80 m, e una velocità di progetto della linea pari a 160 km/h si ottiene:

$$q_{1k} = \pm 0.20 \text{ kN/m}^2$$

8.2.9 Carico sui marciapiedi

Il carico variabile sui marciapiedi è schematizzato come un carico uniformemente ripartito del valore di

$$p_4 = 10.0 \text{ kN/m}^2.$$

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
<i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A	FOGLIO 17 di 40

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

8.3 Azione sismica

Le azioni sismiche, non risultando significative ai fini del dimensionamento degli elementi strutturali costituenti l'impalcato in oggetto, non sono state considerate nei calcoli a seguire.

Le masse afferenti agli impalcati sono state bensì considerate per il dimensionamento delle sottostrutture, il cui calcolo è riportato degli elaborati di pertinenza.

8.4 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.

8.5 Deragliamento

Il deragliamento è un'azione derivante dall'esercizio ferroviario che deve essere considerata quale azione eccezionale, secondo quanto indicato al par. 1.5 delle *Istruzioni per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari*.

- **Caso 1**

Si devono considerare due carichi verticali lineari $q_{A1d} = 60 \text{ kN/m}$ ciascuno, posizionati longitudinalmente su una lunghezza di 6,40 m, ad una distanza trasversale pari allo scartamento S . Il carico più eccentrico tra i due deve essere posto ad una distanza massima di $1,5S$ dall'asse dei binari.

- **Caso 2**

Si deve considerare un unico carico lineare $q_{A2d} = 80 \times 1.4 \text{ kN/m}$ esteso per 20 m e disposto con una eccentricità massima, lato esterno, di $1,5 S$ rispetto all'asse del binario.

	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
<i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A	FOGLIO 18 di 40

Nel caso in esame la forza del deragliamento non è stata considerata ai fini del dimensionamento in quanto con la geometria in esame non può pregiudicare la stabilità globale dell'opera.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

9. SOLLECITAZIONI

Le azioni verticali prodotte dai carichi permanenti e variabili e quelle prodotte dalla frenatura/avviamento sono ugualmente ripartite sulle n travi contenute all'interno della fascia resistente di 4.00m. 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 alla fascia considerata.

9.1 Sollecitazioni sulla fascia resistente di 4.0m

9.1.1 Momento flettente e taglio

Peso proprio e sovraccarichi permanenti

$$\begin{aligned}
 M1 &= p_1 L^2 / 8 / n_{\text{tot}} \times n = 516.46 \times 289.0 / 8 \times 8 / 19 = 7855.7 \text{ KNm} \\
 T1 &= p_1 L / 2 = 516.46 \times 17.0 / 2 \times 8 / 19 = 1848.4 \text{ KN} \\
 R1_{\text{max}} &= p_1 L_{\text{tot}} / 2 = 516.46 \times 17.8 / 2 \times 8 / 19 = 1935.4 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Variabili ferroviari

Treno LM71

$$\begin{aligned}
 M2 &= \phi p_2 L^2 / 8 = 1.281 \times 139.3 \times 289.0 / 8 = 6442.6 \text{ KNm} \\
 T2 &= \phi p_2 L / 2 = 1.281 \times 154.5 \times 17.0 / 2 = 1681.6 \text{ KN} \\
 R2_{\text{max}} &= \phi p_2 L_{\text{tot}} / 2 = 1.281 \times 154.5 \times 17.8 / 2 = 1760.8 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Treno SW/2

$$\begin{aligned}
 M2 &= \phi p_2 L^2 / 8 = 1.281 \times 150.0 \times 289.00 / 8 = 6939.2 \text{ KNm} \\
 T2 &= \phi p_2 L / 2 = 1.281 \times 150.0 \times 17.00 / 2 = 1632.7 \text{ KN} \\
 R2_{\text{max}} &= \phi p_2 L_{\text{tot}} / 2 = 1.281 \times 150.0 \times 17.80 / 2 = 1709.6 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Frenatura ed avviamento

Treno LM71

taglio appoggio	$R4_{max} = Q_1 \times d1 / L =$	646.1	x	1.853	/	17	=	70.4 KN
mom. flettente appoggio	$M4_{app} = Q_1 \times h/2 =$	646.1	x	0.45			=	290.8 KNm
mom. flettente campata	$M4_m = M_{app} / 2 =$	290.8	/	2			=	145.4 KNm

Treno SW/2

taglio appoggio	$R4_{max} = Q_1 \times d1 / L =$	623.0	x	1.853	/	17	=	67.9 KN
mom. flettente appoggio	$M4_{app} = Q_1 \times h/2 =$	623.0	x	0.45			=	280.4 KNm
mom. flettente campata	$M4_m = M_{app} / 2 =$	280.4	/	2			=	140.2 KNm

9.1.2 Coppie torcenti a metro lineare di impalcato

Forza centrifuga

Treno LM71

effetto flettente	$mt5 = F_c \times h_{c-g} =$	18.49	x	3.203	=	59.2 KNm
effetto tagliante	$mt5 = F_c \times h_{c-g} =$	20.51	x	3.203	=	65.7 KNm

Treno SW/2

effetto flettente	$mt5 = F_c \times h_{c-g} =$	9.27	x	3.203	=	29.7 KNm
effetto tagliante	$mt5 = F_c \times h_{c-g} =$	9.27	x	3.203	=	29.7 KNm

Eccentricità di carico LM71

effetto flettente	$mt6 = p_2 \times e =$	139.3	x	0.08	=	11.1 KNm
effetto tagliante	$mt6 = p_2 \times e =$	154.5	x	0.08	=	12.4 KNm

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

Effetto sopraelevazione

La sopraelevazione produce un'eccentricità di carico e_s il cui effetto in parte bilancia l'azione della forza centrifuga.

$$\begin{aligned} \text{sopraelevazione} & \quad s = & 0 & \text{ m} \\ \text{eccentricità di carico} & \quad e_s = 180^* s / 143.5 = & 0.000 & \text{ m} \end{aligned}$$

Treno LM71

$$\begin{aligned} \text{effetto flettente} & \quad mt7 = p_2 \times e_s = & 139.3 & \times & 0.000 & = & 0.0 & \text{ KNm} \\ \text{effetto tagliante} & \quad mt7 = p_2 \times e_s = & 154.5 & \times & 0.000 & = & 0.0 & \text{ KNm} \end{aligned}$$

Treno SW/2

$$\begin{aligned} \text{effetto flettente} & \quad mt7 = p_2 \times e_s = & 150.0 & \times & 0.000 & = & 0.0 & \text{ KNm} \\ \text{effetto tagliante} & \quad mt7 = p_2 \times e_s = & 150.0 & \times & 0.000 & = & 0.0 & \text{ KNm} \end{aligned}$$

Vento

$$mt8 = \quad = \quad 25.9 \text{ KNm}$$

Azione laterale

$$mt9 = F_L \times d2 = \quad 110 \quad \times \quad 1.403 \quad = \quad 154.3 \text{ KNm}$$

9.2 Sollecitazioni sulla trave di bordo della fascia

9.2.1 Azioni verticali

Peso proprio e permanenti

$$\begin{aligned} M_1 = M1 / n & = & 7855.7 & / & 8 & = & 982.0 & \text{ KNm} \\ T_1 = T1 / n & = & 1848.4 & / & 8 & = & 231.0 & \text{ KN} \\ R_1 = R1 / n & = & 1935.4 & / & 8 & = & 241.9 & \text{ KN} \end{aligned}$$

Variabili

Treno LM71

$M_2 = M2/ n=$	6442.6	/	8	=	805.3	KNm
$T_2 = T2/ n=$	1681.6	/	8	=	210.2	KN
$R_2 = R2/ n=$	1760.8	/	8	=	220.1	KN

Treno SW/2

$M_2 = M2/ n=$	6939.2	/	8	=	867.4	KNm
$T_2 = T2/ n=$	1632.7	/	8	=	204.1	KN
$R_2 = R2/ n=$	1709.6	/	8	=	213.7	KN

Frenatura/Avviamento

Treno LM71

mom. flett. in mezzeria	$M_4 = M4/ n=$	145.4	/	8	=	18.17	KNm
taglio all'appoggio	$T_4 = T4/ n=$	70.4	/	8	=	8.80	KN
sforzo normale	$N_4 = Q_1 / n=$	646.1	/	8	=	80.77	KN

Treno SW/2

mom. flett. in mezzeria	$M_4 = M4/ n=$	140.2	/	8	=	17.52	KNm
taglio all'appoggio	$T_4 = T4/ n=$	67.9	/	8	=	8.49	KN
sforzo normale	$N_4 = Q_1 / n=$	623.0	/	8	=	77.88	KN

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

9.2.2 Azioni orizzontali

L'incremento di carico verticale Δp 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 $b \cdot h$ e momento d'inerzia J' ; mediante la relazione:

$$\begin{aligned} \Delta p &= (mt / J') \times d \times i = & mt & \times & 0.173 \\ \alpha &= d \times i / J' = & 0.173 & & m^{-2} \\ d &= (n - 1) / 2 \times i = & 179.55 & & cm \\ J' &= 1/12 b h^3 = & 5.333 & & m^4 \\ h &= & 4.0 & & m \\ b &= & 1.0 & & m \end{aligned}$$

essendo

$i = 51.3$ cm

interasse fra le travi

d

distanza tra l'asse della trave di bordo e l'asse dell'impalcato

Forza centrifuga

Treno LM71

effetto flettente	$\Delta p_5 =$	59.2 x	0.173	=	10.2 KN/m
effetto tagliante	$\Delta p_5 =$	65.7 x	0.173	=	11.3 KN/m
	$M_5 = \Delta p_5 L^2 / 8 =$	10.2 x	289.0 /	8	= 369.5 KNm
	$T_5 = \Delta p_5 L / 2 =$	11.3 x	17.0 /	2	= 96.4 KNm

Treno SW/2

effetto flettente	$\Delta p_5 =$	29.7 x	0.173	=	5.1 KN/m
effetto tagliante	$\Delta p_5 =$	29.7 x	0.173	=	5.1 KN/m
	$M_5 = \Delta p_5 L^2 / 8 =$	5.1 x	289.0 /	8	= 185.3 KNm
	$T_5 = \Delta p_5 L / 2 =$	5.1 x	17.0 /	2	= 43.6 KN

Eccentricità di carico LM71

effetto flettente	$\Delta p_6 =$	11.1 x	0.173	=	1.9 KN/m
effetto tagliante	$\Delta p_6 =$	12.4 x	0.173	=	2.1 KN/m
	$M_6 = \Delta p_6 L^2 / 8 =$	1.9 x	289.0 /	8 =	69.5 KNm
	$T_6 = \Delta p_6 L / 2 =$	2.1 x	17.0 /	2 =	18.1 KNm

Effetto sopraelevazione

Treno LM71

effetto flettente	$\Delta p_7 =$	0.0 x	0.173	=	0.0 KN/m
effetto tagliante	$\Delta p_7 =$	0.0 x	0.173	=	0.0 KN/m
	$M_7 = \Delta p_7 L^2 / 8 =$	0.0 x	289.0 /	8 =	0.0 KNm
	$T_7 = \Delta p_7 L / 2 =$	0.0 x	17.0 /	2 =	0.0 KNm

Treno SW/2

effetto flettente	$\Delta p_7 =$	0.0 x	0.173	=	0.0 KN/m
effetto tagliante	$\Delta p_7 =$	0.0 x	0.173	=	0.0 KN/m
	$M_7 = \Delta p_7 L^2 / 8 =$	0.0 x	289.0 /	8 =	0.0 KNm
	$T_7 = \Delta p_7 L / 2 =$	0.0 x	17.0 /	2 =	0.0 KNm

Vento

	$\Delta p_8 =$	25.9 x	0.173	=	4.47 KN/m
	$M_8 = \Delta p_8 L^2 / 8 =$	4.5 x	289.0 /	8 =	161.36 KNm
	$T_8 = \Delta p_8 L / 2 =$	4.5 x	17.0 /	2 =	37.97 KN

Azione laterale

	$\Delta p_9 =$	154.3 x	0.173	=	26.65 KN
	$M_9 = \Delta p_9 L / 4 =$	26.7 x	17.0 /	4 =	113.28 KNm
	$T_9 = \Delta p_9 / 2 =$	26.7	/	2 =	13.33 KN

9.3 Riepilogo delle sollecitazioni sulla trave di bordo

Le sollecitazioni di pressoflessione e taglio agenti nella trave maggiormente sollecitata sono riportate nella sottostante tabelle suddivise per condizioni elementari di carico e relative ai modelli di carico ferroviario LM/71 e SW/2.

Modello di carico: **Treno LM71**

Azione	M kNm	T kN	N kN
1 Permanenti	982.0	231.0	0.0
2 Variabili ferroviari dinamizzati	805.3	210.2	0.0
6 Eccentricità di carico LM71	69.5	18.1	0.0
7 Effetto sopraelevazione	0.0	0.0	0.0
2+6+7 Tot. carichi verticali	874.8	228.3	0.0
5 Frenatura / avviamento	18.2	8.8	80.8
3 Centrifuga	369.5	96.4	0.0
4 Azione laterale	113.3	13.3	0.0
8 Vento	161.4	38.0	0.0

Valore caratteristico delle azioni legate al transito dei treni

Qk1	M kNm	T kN	N kN
Gruppo 1	1366.7	342.5	40.4

Modello di carico: **Treno SW/2**

Azione	M kNm	T kN	N kN
1 Permanenti	982.0	231.0	0.0
2 Variabili ferroviari dinamizzati	867.4	204.1	0.0
6 Eccentricità di carico LM71	0.0	0.0	0.0
7 Effetto sopraelevazione	0.0	0.0	0.0
2+6+7 Tot. carichi verticali	867.4	204.1	0.0
5 Frenatura / avviamento	17.5	8.5	77.9
3 Centrifuga	185.3	43.6	0.0
4 Azione laterale	113.3	13.3	0.0
8 Vento	161.4	38.0	0.0

Valore caratteristico delle azioni legate al transito dei treni

Qk1	M kNm	T kN	N kN
Gruppo 1	1174.7	265.3	38.9

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

10. VERIFICHE DI RESISTENZA

Le verifiche sono condotte agli stati limite ultimi, facendo riferimento alla combinazione fondamentale si seguito riportata:

$$\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_{k2}$$

in cui

G_1 sono i carichi permanenti

G_2 sono i carichi permanenti non strutturali

Q_{k1} è il valore caratteristico delle azioni legate al transito dei treni. Tra i gruppi di azioni si assume per le verifiche il *gruppo 1* dove i coefficienti di simultaneità delle azioni valgono

1 per i carichi verticali

0.5 per frenatura ed avviamento

1 per forza centrifuga

1 per azione laterale

Q_{k2} è l'azione del vento con $\Psi_0 = 0.6$

Il calcestruzzo è considerato non collaborante e pertanto la resistenza è affidata alle sole n travi in acciaio comprese all'interno della zona di ripartizione del carico pari a 4.0m.

Le sollecitazioni di calcolo risultano

	M	T	N
	kNm	kN	kN
Treno LM71-Gruppo 1	3502.1	854.4	58.6
Treno SW/2-Gruppo 1	3223.8	742.4	56.5

Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 CL	VI 00 00 006	A	27 di 40

La verifica maggiormente restrittiva risulta

Treno LM71-Gruppo 1

$$\sigma = N/A + M/W = 1.6 + 319.0 = 320.6 \text{ MPa} < f_{yd} = 338.1 \text{ MPa}$$

$$\sigma / f_{yd} = 0.95 < 1 \text{ verifica soddisfatta}$$

$$\tau = T S / J t_w = 58.82 \text{ MPa} < f_{yd} / 3^{0.5} = 195.2 \text{ MPa}$$

$$S / J t_w = 145.3 \text{ cm}^{-2}$$

$$\tau / [f_{yd} / 3^{0.5}] = 0.30 < 1 \text{ verifica soddisfatta}$$

$$\text{momento statico di mezza sezione } S = 6292 \text{ cm}^3$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

11. VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ

Le verifiche di deformabilità sono condotte agli stati limite di servizio considerando la combinazione rara delle azioni e prendendo in esame le seguenti grandezze:

- inflexione nel piano verticale dell'impalcato (rotazione agli appoggi)
- deformazioni torsionali dell'impalcato (fenomeno dello sghembo)
- stato limite per il comfort passeggeri (freccia sotto il treno di carico LM71 dinamizzato)

Le verifiche sono condotte con il treno di carico LM71 incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico Φ_3 . Per l'inflexione si tiene in conto anche una variazione lineare di temperatura di 10° lungo l'altezza dell'impalcato.

Il calcestruzzo è considerato interamente reagente ai fini della determinazione dell'inerzia flessionale dell'impalcato e della ripartizione trasversale dei carichi mobili con coefficiente di omogeneizzazione pari a $n = 6$. Nelle verifiche la fascia di impalcato reagente ha una larghezza $b = 5.0$ m.

Le caratteristiche della sezione reagente omogeneizzata in cls sono di seguito riportate:

Caratteristiche sezione reagente omogeneizzata

larghezza reagente striscia impalcato	b	=	5.0	m
altezza impalcato	h	=	1.07	m
coeff. di omogeneizzazione	n	=	6	-
spessore soletta in c.a.	s	=	17.0	cm
livello baricentro sezione omog. Impalcato	ygimp	=	51.0	cm
livello medio sezione impalcato	ycls	=	53.5	cm
momento d'inerzia sez. omog. in cls	J	=	0.77	m ⁴
modulo elastico cls	E	=	32837	MPa
n.ro travi metalliche comprese nella fascia larga b	ntr	=	10	-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

11.1 Frequenza propria dell'impalcato

Per controllare l'affidabilità del coefficiente di incremento dinamico ϕ_3 assunto nei calcoli si vuole accertare che la frequenza propria n_0 dell'impalcato sia contenuta all'interno del fuso in fig. 1.4.2-2 della *Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari*.

Il limite inferiore del fuso vale

$$n_{0,\min} = 80 / L = 4.71 \text{ Hz} \quad \text{per } 4\text{m} \leq L \leq 20\text{m}$$

$$n_{0,\min} = 23.58 / L^{-0.592} = 4.41 \text{ Hz} \quad \text{per } 20\text{m} < L \leq 100\text{m}$$

La frequenza flessionale propria dell'impalcato vale:

$$n_0 = 17.75 / (\delta_0)^{0.5} = 5.18 \text{ Hz}$$

$$n_0 / n_{0,\min} = 1.10 - > 1 \text{ verifica soddisfatta}$$

In cui la freccia δ_0 sotto i soli carichi permanenti vale

$$\delta_0 = 5 / 384 p L^4 / E J = 11.7 \text{ mm}$$

ed il carico uniforme vale

$$p = p = p_2 / n_{\text{tot}} \times n_{\text{tr}} = 271.8 \text{ kN/m}$$

11.2 Freccia sotto i carichi accidentali dinamizzati LM71

carico variabile ferroviario dinamizzato

$$p_{\text{eq}} = \phi_3 \times p_2 = 1.281 \times 139.3 = 178.3 \text{ KN/m}$$

freccia in mezzzeria

$$\delta = 7.7 \text{ mm}$$

stato limite per il comfort dei passeggeri

$$\delta_{\text{LIM}} = L / 1000 = 17.0 \text{ mm} \quad \leq L / 1000$$

$$\delta / \delta_{\text{LIM}} = 0.45 - < 1 \text{ verifica soddisfatta}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA					
	<i>Relazione di calcolo impalcato a travi incorporate</i>	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI 00 00 006	REV. A

11.3 Rotazione agli appoggi

Effetto LM71 dinamizzato

$$\theta_{LM71} = 16 / 5 \times \delta / L = 0.00145 \text{ rad}$$

Effetto termico

$$\theta_{DT} = L \alpha_T \Delta T / H^* = 0.00191 \text{ rad}$$

variazione termica lineare lungo altezza impalcato $\Delta T = 10 \text{ }^\circ$

coeff. dilatazione termica acciaio $\alpha = 1.20E-05$

altezza impalcato $H^* = 1.070 \text{ m}$

distanza del piano di regolamento del ballast dal centro di rotazione dell'apparecchio di appoggio dell'impalcato $H = 1.220 \text{ m}$

Rotazione totale $\theta_{tot} = \theta_{LM71} + 0.6 \theta_{DT} = 0.0026 \text{ rad} < 0.0065 \text{ rad}$

Rotazione limite $\theta_{LIM} = 8 / H[\text{mm}] = 0.0066 \text{ rad}$

$\theta_{tot} / \theta_{LIM} = 0.40 - < 1$ *verifica soddisfatta*

11.4 Sghembo

La verifica si effettua ipotizzando la presenza di un profilo metallico in corrispondenza di ciascuna rotaia e calcolando la differenza di abbassamento tra i due profili in corrispondenza della sezione posta a 3.00m dall'appoggio considerando una distribuzione trasversale degli abbassamenti di tipo lineare.

Si considerano i seguenti effetti

forza centrifuga	$\phi_3 \times mt5 =$	1.281 x	59.2 =	75.8 kNm
eccentricità del carico LM71	$\phi_3 \times mt6 =$	1.281 x	11.1 =	14.3 kNm
sopraelevazione	$\phi_3 \times mt7 =$	1.281 x	0.0 =	0.0 kNm
vento	mt8 =		=	25.9 kNm
azione laterale	$\phi_3 \times mt9 / L =$	1.281 x	9.1 =	11.6 kNm
			tot	<u>127.6 kNm</u>

L'incremento e decremento Δp del carico prodotti sulle due travi considerate da tali effetti si valuta ipotizzando la flessione su una striscia unitaria trasversale di impalcato avente sezione $b \times h$ e momento d'inerzia J' .

incremento di carico sulle due travi considerate poste a distanza di 1.5m

$$\begin{aligned} \Delta p &= (mt / J') \times d \times i = & mt & \times 0.072 = & 9.2045 \text{ kN/m} \\ \alpha &= d \times i / J' = & 0.072 & \text{ m}^{-2} \\ d &= 1.5\text{m} / 2 = & 0.75 & \text{ m} \\ J' &= 1/12 b h^3 = & 5.333 & \text{ m}^4 \\ h &= & 4.0 & \text{ m} \\ b &= & 1.0 & \text{ m} \end{aligned}$$

Le due travi subiscono una differenza di deformazione a 3.0m dall'appoggio pari a t che rappresenta il valore di sghembo cercato.

$$\begin{aligned} \text{valore di sghembo } t &= 1 / 24 \Delta p L^4 / E J'' \times \beta = & 1.69 \text{ mm} \\ \beta &= ab/L^2 * (1+ab/L^2) = & 0.16645 - \\ a &= & 3.00 \text{ m} \\ L &= & 17.0 \text{ m} \\ J'' &= J / ntr = & 0.09594 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Il valore limite per tale fenomeno, alla velocità di 160 km/h è pari a t_{LIM} .

$$\text{valore limite dello sghembo } t_{LIM} = 3.0 \text{ mm} / 3.0 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V \leq 120 \text{ km/h}; & \quad t \leq 4.5 \text{ mm} / 3.0 \text{ m} \\ 120 \text{ km/h} < V \leq 200 \text{ km/h}; & \quad t \leq 3.0 \text{ mm} / 3.0 \text{ m} \\ V > 200 \text{ km/h}; & \quad t \leq 1.5 \text{ mm} / 3.0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$t / t_{LIM} = 0.56 -$$

< 1 verifica soddisfatta

12. VERIFICA DELLO SBALZO TRASVERSALE

Caratteristiche geometriche

luce sbalzo	L =	1.85	m
spessore sbalzo soletta nella sezione d'attacco	s =	0.43	m
larghezza marciapiedi	Lm =	1.60	m
altezza barriere	Hb =	4.65	m
distanza estrad. cordolo - baric. Sez. di verifica	dw =	0.40	m

Azioni

			V	e	M	γ	V_{Ed}	M_{Ed}
			KN/m	m	kNm/m	-	kN	kNm
Peso proprio	0.835 x	25.0	= 20.88	0.98	20.46	1.35	28.18	27.62
Veletta	1 x	1.50	= 1.50	1.89	2.84	1.50	2.25	4.25
Canaletta	0 x	2.10	= 0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
Barriera	4.0 x	4.00	= 16.00	1.85	29.60	1.50	24.00	44.40
			38.38		52.89		54.43	76.27
Carico sui marciapiedi	1.60 x	10.0	= 16.00	0.80	12.80	1.50	24.00	19.20
			N				N_{Ed}	
			KN/m				kN	
Vento	2.10 x	4.65	= 9.765	2.73	26.61	1.50	14.65	39.91

Coefficienti di combinazione

Azioni	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
-	-	-	-
Carico sui marciapiedi	0.8	0.8	0.0
Vento	0.6	0.5	0.0

Sollecitazioni di calcolo

Convenzione segni sollecitazioni

N < 0 trazione

M < 0 teso lato superiore

	N	M	V
	KN/m	kNm/m	KN/m
slu01	-8.8	-119.4	78.4
slu02	-14.6	-131.5	73.6
rara01	-5.9	-81.7	
rara02	-9.8	-89.7	
freq01	0.0	-63.1	
freq02	-4.9	-66.2	
qperm01	0.0	-52.9	
qperm02	0.0	-52.9	

Verifica di resistenza a pressoflessione e taglio

Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 CL	VI 00 00 006	A	33 di 40

Sezione			Sbalzo soletta			Materiali		
Carpenteria						Barre acciaio		
b	h	Acls				Calcestruzzo		
mm	mm	m ²						
1000	430	0.43						
						Tipo B450C		
						Tipo C30/37		
						f _{yk} 450.0 N/mm ²		
						f _{ck} 30.0 N/mm ²		
						γ _M 1.15 -		
						R _{ck} 37.0 N/mm ²		
						f _{yd} 391.3 N/mm ²		
Copriferro						Valore limite delle tensioni		
lato	c [mm]					rar		
inferiore	35					0.55 f _{ck} 16.5 N/mm ²		
superiore	35					qperm		
						0.40 f _{ck} 12.0 N/mm ²		

Armature					Lato superiore				
Lato inferiore					Lato superiore				
n	φ	Aa	c'	Aa/Acls	n	φ	Aa	c'	Aa/Acls
-	mm	mm ²	mm	%	-	mm	mm ²	mm	%
5	12	565	41		10	12	1130	41	
		0					0		
Aa,tot =		565		0.13	Aa,tot =		1130		0.26

Verifica presso/tenso flessione							
Verifica Stato Limite Ultimo							
Elem	Station	Comb	N _{Ed}	M _{Ed}	M _{Rd}	R/E	esito
-	m	[-]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[-]	
		SLU02	-14.6	-131.5	-164.3	1.25	ok
Verifiche Stato Limite d'Esercizio							
Combinazioni RARE							
Elem	Station	Comb	N	M	σ ⁺ _{ds}	σ ⁻ _{acc}	w
-	m	[-]	[kN]	[kNm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[mm]
		RAR02	-9.8	-89.7	4.8	-227.0	0.119
					E / R	0.67	wlim
					esito	ok	0.200
							0.60
							ok

Verifica a taglio

Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

V _{Ed}	bw	d	rl	k	S _{cp}	V _{Rd1}	F _s
[kN]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[-]
78.4	1.00	0.389	0.00145	1.7	0.0	169.8	2.16

$$V_{Rd1} > V_{Ed}$$

non risulta necessaria armatura trasversale resistente a taglio

13. RITEGNI SISMICI LONGITUDINALI

Per ogni impalcato sono previsti 8 ritegni sismici longitudinali realizzati con profili metallici HEB340 collegati sull'ala inferiore delle travi incorporate mediante un giunto bullonato.

Il giunto è realizzato con una piastra 300x560x30 collegata alla soprastante trave con 10 bulloni M27 di classe 10.9.

13.1 Verifica profilo

Sollecitazioni

Azione sismica longitudinale	F_L	4220.0	kN
Numero ritegni per spalla	n	8	-
Azione sul singolo ritegno	$F_{L,R}$	527.5	kN
Distanza punto di contatto	d	0.4	m
Taglio	V_{Ed}	527.5	kN
Momento flettente	M_{Ed}	211.0	kNm

Materiale

	Acciaio	S 355
Tensione di snervamento	f_{yk} [N/mm ²]	355
Coefficiente sicurezza resistenza	$\gamma_{M,0}$ [-]	1.05

Caratteristiche geometriche profilo

Profilo		HE340B
larghezza	b [mm]	300
Altezza	h [mm]	340
Spessore anima	t_w [mm]	12
Spessore flangia	t_f [mm]	21.5
Raggio di raccordo	r [mm]	27
Altezza utile	d [mm]	243
Area lorda	A [mm ²]	170.9

Asse forte y-y

Momento d'inerzia asse y	I_y [cm ⁴]	36656
Modulo di resistenza elastico	$W_{el,y}$ [cm ³]	2156.2
Modulo di resistenza plastico	$W_{pl,y}$ [cm ³]	2408.0

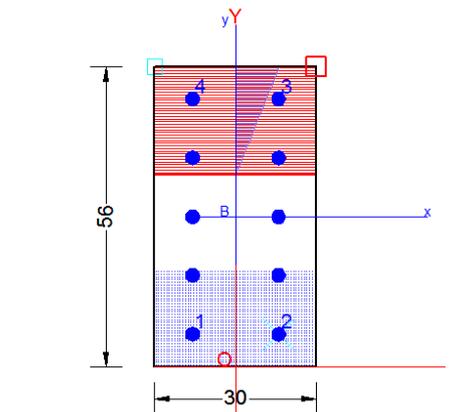
Raggio d'inerzia	i_y [cm]	14.65
Area di taglio in direzione z	$A_{v,zz}$ [cm ²]	56.09

Verifica di resistenza trave

Coefficiente amplificazione carichi	γ_E	1.0
	V_{Ed} [kN]	527.50
Taglio resistente in assenza di torsione	$V_{c,Rd}$ [kN]	1094.87
tasso lavoro	$V_{Ed} / V_{c,Rd}$	0.48
[4.2.17] stato verifica		ok
	ρ	0.0
Momento di calcolo	M_{Ed} [kNm]	211.00
Resistenza a flessione	$M_{c,Rd} = M_{y,V,Rd}$	814.13
tasso lavoro	$M_{Ed} / M_{c,Rd}$	0.26
stato verifica		ok

Sollecitazioni sul collegamento

Momento flettente	M_{Ed} [kNm]	211.0
Taglio	V_{Ed} [kN]	527.5
tensione bullone	σ_b [N/mm ²]	291
pressione sulla lamiera	σ_{lam} [N/mm ²]	13.2
forza di trazione nel bullone	$F_{T,Ed}$ [kN]	155



13.2 Verifica bulloni

Giunto bullonato a trazione e taglio

Sollecitazioni nel giunto allo Stato Limite Ultimo

Forza di taglio orizzontale

Forza di taglio verticale

Numero bulloni

Forza di taglio orizzontale per bullone

Forza di taglio verticale per bullone

Forza di taglio per bullone

Forza normale

H_{Ed}	527.0	[kN]
V_{Ed}	0.0	[kN]
nb	10	
$F_{x,Ed}$	52.7	[kN]
$F_{z,Ed}$	0.0	[kN]
$F_{V,Ed}$	52.7	[kN]
$F_{T,Ed}$	155.0	[kN]

il piano di taglio passa attraverso la parte filettata del bullone

bullone	M30	
classe di resistenza	10.9	
area nominale gambo del bullone	A	707 [mm ²]
area resistetne bullone	A _{res}	581 [mm ²]
coeff. parziale di sicurezza	γ _{M2}	1.25
valore nominale resistenza a trazione	f _{tb}	1000 [N/mm ²]
numero dei piani di taglio	n	1
Resistenza a taglio di un bullone	F_{v,Rd}	232.4 [kN]

Resistenza a rifollamento di un bullone	F_{b,Rd}	$k \alpha f_{tk} d t / \gamma_{M2}$	582.9 [kN]
	k		2.5
	α		0.63

Proprietà del materiale della piastra connessa

acciaio della piastra	S 355 [Fe510]
resistenza a rottura	f _{tk} 510 [N/mm ²]
diametro nominale del bullone	d 30 [mm]
spessore piastra	t 30 [mm]
diametro nominale del foro di alloggiamento	do 31.5 [mm]

Disposizione dei fori per i bulloni (refer to Fig.4.2.3 NTC 08)

Distanza dal bordo misurata in direzione di applicazione del carico	e1	60 [mm]
Distanza dal bordo misurata perpendicolarmente alla dir. di applicaz. del carico	e2	80 [mm]
Interasse misurato in direzione di applicazione del carico	p1	110 [mm]
Interasse misurato perpendicolarmente alla direzione di applicazione del carico	p2	160 [mm]

Resistenza complessiva del bullone a taglio	F_{V,Rd}	$\min[F_{v,Rd}; F_{b,Rd}]$	232.4 [kN]
Sollecitazione di taglio agente nel bullone	F_{V,Ed}		52.7 [kN]
		$F_{V,Ed} / F_{V,Rd}$	0.23 <1
		verifica ok	

Resistenza di calcolo a trazione del bullone	F_{t,Rd}	$0.9 f_{tb} A_{res} / \gamma_{M2}$	418.3 [kN]
---	-------------------------	------------------------------------	-------------------

Resistenza a punzonamento del piatto collegato	B_{p,Rd}	$0.6\pi d_m t_p f_{tk} / \gamma_{M2}$	1038.2 [kN]
---	-------------------------	---------------------------------------	--------------------

min tra diametro dado e diametro testa bullone	d_m	45 [mm]
spessore del piatto	t_p	30 [mm]
tensione di rottura acciaio piatto	f_{tk}	510 [N/mm ²]

Resistenza complessiva dell'unione a trazione $F_{T,Rd} \min[F_{t,Rd}; B_{p,Rd}]$ **418.32** [kN]

Sollecitazione di trazione agente nell'unione $F_{t,Ed}$ **155.0** [kN]

$F_{t,Ed} / F_{T,Rd}$ **0.37** <1

verifica ok

$F_{T,Ed} / F_{t,Rd}$ **0.37** <1

verifica ok

Presenza combinata di trazione e taglio

$F_{V,Ed} / F_{V,Rd}$ 0.23

$F_{T,Ed} / 1.4 F_{t,Rd}$ 0.26

0.49 <1

verifica ok

13.3 Verifica piastra

È stato eseguito il controllo della tensione presente sulla piastra nella zona soggetta alla tensione di contatto sul profilo soprastante.

Lo schema adottato è quello di trave a due campate e tre appoggi costituiti dalle costole d'irrigidimento soggetta ad un carico uniformemente distribuito.

Verifica piastra

Schema trave a due campate di luce

Luce	L [mm]	127.5
Carico uniforme	p [N/mm]	13.2
Sezione resistente		
	Larghezza b [mm]	1
	Altezza h [mm]	30
	Area A [mm ²]	30
	Modulo di resistenza W [mm ³]	150
Momento flettente $M = pL^2 / 8$	M [kNmm]	26.8
Taglio $V = 5/8 p L$	V [kN]	1.1
	σ [N/mm ²]	178.8

Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 CL	VI 00 00 006	A	38 di 40

	τ [N/mm ²]	35.1
Tensione ideale	σ_{id} [N/mm ²]	188.8
Tensione resistente	f_{yd} [N/mm ²]	338.1
Tasso di lavoro	σ_{id} / f_{yd}	0.56

< 1
verifica
soddisfatta

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA</p>					
<p><i>Relazione di calcolo impalcati a travi incorporate</i></p>	<p>COMMESSA RS3E</p>	<p>LOTTO 50</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI 00 00 006</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 39 di 40</p>

14. VERIFICA SBALZO PER DISPOSITIVI DI SOLLEVAMENTO

Lo sbalzo esterno della spalla predisposto per l'utilizzo dei dispositivi di sollevamento viene verificato con il modello a tirante puntone previsto per la verifica di resistenza degli elementi tozzi.

Durante le operazioni di sollevamento si prevede la disposizione di un dispositivo di sollevamento al di sotto di ognuna delle travi costituenti l'impalcato. Si assume inoltre la presenza dei soli carichi permanenti.

In tale condizioni il valore massimo della reazione verticale in corrispondenza di ciascun appoggio risulta pari a

$$P_{Ed} = 350 \text{ kN}$$

L'armatura del tirante è costituita da barre $\phi 16$ passo 20cm.

MENSOLE TOZZE (NTC 2008 - CIRCOLARE C.S.LL.PP.)

DATI DI INPUT

Riferimento normativo:	4.1.2.1.5 NTC08 + Circolare	
Tipo Acciaio	B450C	$f_{yk} = 450 \text{ Mpa}$
Classe Calcestruzzo	30/37	$R_{ck} = 37 \text{ MPa}$
Validità modello Strut&Tie	OK	$1 < \tan\psi < 2.5$

1) Resistenze materiali

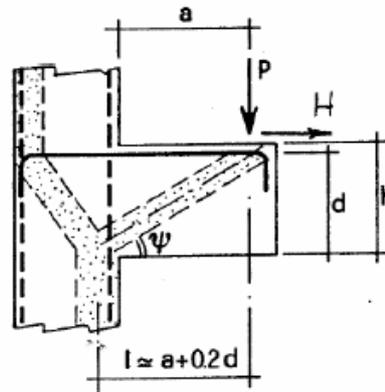
Resistenza compressione cilindrica	f_{ck}	30.7	Mpa
Resistenza di calcolo cls	f_{cd}	17.4	Mpa
Resistenza di calcolo acciaio	f_{yd}	391.3	Mpa

2) Carichi agenti

Carico verticale	P_{Ed}	350	KN
Carico orizzontale	H_{Ed}	0	KN

3) Geometria della mensola

Altezza mensola	h_c	500	mm
Lunghezza della mensola	l_c	150	mm
Distanza di applicazione carico	a	75	mm
Profondità mensola	b	500	mm
Ricoprimento cls tirante superiore	c_{op}	60	mm
Lunghezza minima della mensola	$l_{c,min}$	195	mm
Altezza utile tirante superiore	d	432	mm
Braccio delle forze interne	z	389	mm
Proiezione orizzontale del puntone	l	161	mm
Inclinazione puntone	ψ	1.177	rad
$ctg \psi$	λ	0.415	



RESISTENZE E VERIFICHE

1) Tirante

Sforzo di trazione nel tirante	F_t	145	KN
Armatura necessaria	$A_{s,nec}$	371	mm ²
Forza verticale agente	V_{Ed}	350	KN
Diametro dell'armatura principale	ϕ	16	
Numero di barre	n°	2.5	
	A_s	503	mm ²
Resistenza tirante	P_{Rs}	474	KN
Coefficiente di sicurezza	F_s	1.35	OK

2) Puntone e G.d.R.

In presenza di Staffe $c=1.5$, altrimenti $c=1$	c	1.0	
Resistenza puntone	P_{Rc}	1283	KN
Gerarchia delle resistenze	$P_{Rc} > P_{Rs} ?$		SI