

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC VERONA - PADOVA

SUB TRATTA VERONA – VICENZA

1° SUB LOTTO VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

VI PONTI E VIADOTTI

VI00 GENERALE IMPALCATI: IMPALCATO C.A.P. DA 25M

RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 25M IN C.A.P.

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR S.p.A.		SCALA:
ATI bonifica Progettista integratore	Consorzio IRICAV DUE Il Direttore			-
Franco Persio Bocchetto Dottore in Ingegneria Civile iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n° 8664 – Sez. A settore Civile ed Ambientale				

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

I N 0 D 0 0 D I 2 C L V I 0 0 0 7 0 0 1 B

ATI bonifica	VISTO ATI BONIFICA	
	Firma	Data
	Ing.F.P. Bocchetto	Luglio 2015

Programmazione

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	EMISSIONE	G. Cocito	Maggio 2015	G. Nizzi	Maggio 2015	F. Momoni	Maggio 2015	F. Momoni Luglio 2015
B	REVISIONE ISTRUTTORIA ITALFERR	G. Cocito	Luglio 2015	G. Nizzi	Luglio 2015	F. Momoni	Luglio 2015	

File: IN0D00DI2CLVI0007001B_00A.DOCX	CUP.: J41E9100000009	n. Elab.:
	CIG.: 3320049F17	

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	NORMATIVE	5
3	MATERIALI	7
3.1	Calcestruzzi	7
3.2	Acciai	7
4	FASI COSTRUTTIVE	8
5	MODELLO A GRATICCIO	9
5.1	Analisi dei carichi	9
5.1.1	Azioni sismiche.....	14
5.2	Caratteristiche geometriche e meccaniche delle sezioni	16
5.2.1	Trave in c.a.p.....	16
5.2.2	Maschera trefoli.....	16
5.2.3	Larghezza collaborante	17
5.2.4	Inerzie omogeneizzate	17
5.3	Proprietà dei materiali, ritiro, viscosità e precompressione.....	19
5.4	Modello di calcolo.....	23
5.4.1	Descrizione	23
5.4.2	Carichi elementari	28
5.4.3	Combinazioni di carico	29
5.4.4	Reazioni globali.....	33
5.4.5	Reazioni allineamento fisso.....	34
5.4.6	Reazioni allineamento mobile.....	35

5.4.7	Sollecitazioni elementari.....	36
5.5	Verifica flessionale SLE	38
5.6	Verifica flessionale SLU	43
5.7	Verifica torsione e taglio SLU	45
6	MODELLO TRASVERSALE A TELAIO	46
6.1	Analisi dei carichi	46
6.1.1	Carichi permanenti	46
6.1.2	Azioni variabili verticali	46
6.1.3	Carichi sui marciapiedi	48
6.1.4	Azioni variabili orizzontali	48
6.1.5	Azioni variabili ambientali	50
6.1.6	Azioni eccezionali.....	51
6.1.7	Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari.....	51
6.1.8	Riepilogo delle azioni sul modello a telaio	52
6.1.9	Combinazioni di carico	52
6.2	Modello trasversale a telaio: verifiche soletta	53
7	Verifiche di deformazione	56
7.1	Verifica deformazioni torsionali (sghembo).....	56
7.2	Verifica stato limite di confort	56

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 25M IN C.A.P.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007001B	Pag. 4 di 56

1 INTRODUZIONE

La seguente relazione di calcolo si riferisce alla progettazione definitiva della campata tipologica in c.a.p. di luce $L = 25.0$ m relativa alla Linea T.A.V. Torino-Venezia / Tratta Verona-Padova.

L'impalcato è costituito da 4 travi in c.a.p. a cassoncino prefabbricate (precompressione a fili aderenti) solidarizzate da 4 traversi (2 sull'asse appoggi e 2 in campata) prefabbricati insieme alle travi (precompressione con trefoli post-tesi) e da una soletta superiore in c.a. gettata in opera. La larghezza complessiva dell'impalcato è pari a 13.40 m, su cui gravano 2 binari posti ad interasse pari a 4.50 m.

Per i calcoli si è considerato un raggio di curvatura orizzontale pari a 3200 m, una velocità di progetto pari a 300 km/h.

Lo schema di vincolo prevede due appoggi fissi centrali con dispositivo elastico per il controllo della corsa e due appoggi laterali multidirezionali ad una estremità dell'impalcato; all'estremità opposta sono previsti un appoggio unidirezionale longitudinale centrale e tre appoggi multidirezionali; sui piani di appoggio di pile e spalle sono previsti ritegni sismici trasversali e dispositivi di fine-corsa longitudinali lato appoggi mobili.

Unità di misura

- lunghezza [m]
- forze [kN]
- angoli [rad]
- tensioni [N/mm²]

2 NORMATIVE

- [NTC] D.M. LL.PP. 14/01/2008, Norme tecniche per le costruzioni
- [CIR] C.S. LL.PP. 02/02/2009, Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.
- [EC2] UNI EN 1992-1-1:2005, Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-1: regole generali e regole per gli edifici
- [EC2-2] UNI EN 1992-2:2006, Eurocodice 2 – Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi
- [EC2-EC] UNI EN 1992-2:2005/AC:2008 (E), Eurocodice 2 – Parte 2: Errata corrige
- [IFS 1] 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.
- [IFS 2] Specifica RFI DTC INC SP IFS 002 A - Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria.
- [IFS 3] Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 003 A - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari.
- [IFS 4] Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 004 A - Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo.
- [IFS 5] Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 005 A - Specifica per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti negli impalcati ferroviari e nei cavalcavia.
- [IFS 6] Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 006 A - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.
- [44 C] Istruzione 44 C - Visite di controllo ai ponti, alle gallerie ed alle altre opere d'arte del corpo stradale. Frequenza, modalità e relative verbalizzazioni.

- [44 M] Istruzione 44 M - Specifica tecnica relativa al collaudo dei materiali ed alla costruzione delle strutture metalliche per ponti ferroviari e cavalca ferrovia.
- [44 S] Istruzione 44 S - Specifica tecnica per la saldatura ad arco di strutture destinate ai ponti ferroviari.
- [44 V] Istruzione 44 V - Cicli di verniciatura per la protezione dalla corrosione di opere metalliche nuove e per la manutenzione di quelle esistenti.

3 MATERIALI

3.1 Calcestruzzi

Per tutti i calcestruzzi:

$\gamma = 1.5$ coefficiente di sicurezza

$\alpha_{cc} = 0.85$ coefficiente riduttivo

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma$ resistenza a compressione di progetto

travi prefabbricate: C45/55 ($f_{ck} / R_{ckj} = 36/42$ MPa)

getto di completamento e predalles: C30/37

3.2 Acciai

acciaio per cemento armato: B450C

$f_{yk} \geq 450$ N/mm²

$f_{tk} \geq 540$ N/mm²

acciaio per trefoli ($\varnothing 0.6''$ standard) stabilizzato:

A 139 mm²

$f_{ptk} \geq 1860$ N/mm²

$f_{p(1)k} \geq 1670$ N/mm²

E 195000 N/mm²

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 25M IN C.A.P.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. IN0D00DI2CLVI0007001B	Pag. 8 di 56

4 FASI COSTRUTTIVE

Sono previste le seguenti fasi costruttive:

- fase 1 Posizionamento apparecchi di appoggio.
- fase 2 Varo delle travi centrali stabilizzate mediante ritegni verticali da posizionarsi sotto i traversi (2+2 per ogni trave). Varo delle travi di bordo stabilizzate ognuna mediante 2+2 ritegni verticali da posizionarsi sotto i traversi sia internamente che esternamente all'asse appoggi.
- fase 3 Inserimento tubi in gomma nelle guaine dei traversi e loro gonfiaggio.
- fase 4 Sigillatura dei traversi.
Sgonfiaggio tubi in gomma e loro sfilaggio.
- fase 5 Inserimento cavi di precompressione nei traversi.
Tesatura al 10% dei cavi nei traversi e sbloccaggio degli apparecchi di appoggio.
Completamento tesatura contemporanea dei 2 cavi dei traversi di testata.
Completamento tesatura contemporanea dei 2 cavi dei traversi di campata.
Iniezione delle guaine sotto vuoto.
- fase 6 Inghisaggio zanche inferiori appoggi e loro bloccaggio.
- fase 7 Posa in opera delle predalles.
Sigillatura elementi contigui con mastice.
- fase 8 Getto soletta non oltre 150 giorni dal getto della trave.
- fase 9 Posizionamento velette.
Getto cordoli e muretto paraballast.
- fase 10 Posizionamento giunti.
Posizionamento pluviali di scarico.
Opere di impermeabilizzazione e protezione.
Fissaggio barriera fonoassorbente.

5 MODELLO A GRATICCIO

5.1 Analisi dei carichi

Principali dimensioni

sviluppo totale impalcato	L	=	25.0 m
luce appoggio-appoggio	L _o	=	22.8 m
asse giunto / asse appoggi	d	=	1.1 m
retrotrave	L _r	=	0.7 m
sviluppo carpenteria	L'	=	24.2 m
sviluppo ringrosso appoggi	L ₁	=	0.88 m
sviluppo transizione	L ₂	=	1.64 m

Azioni permanenti (NTC §5.2.2.1)

Peso proprio (NTC §5.2.2.1)

travi sezione corrente	q _{pp}	=	4 ×	1.09 m ² ×	25 kN/m ³	=	109.00 kN/m
travi sezione appoggio	q _{pp2}	=	4 ×	2.23 m ² ×	25 kN/m ³	=	223.00 kN/m
traversi	w _t	≅	0.315 m ×	10.5 m ² ×	25 kN/m ³	=	82.69 kN/cad
traversi appoggio	w _{t2}	≅	0.43 m ×	9.5 m ² ×	25 kN/m ³	=	102.13 kN/cad
soletta	q _{sol}	=		5.13 m ² ×	25 kN/m ³	=	128.25 kN/m

Carichi permanenti portati (NTC §5.2.2.1.1)

ballast			9.6 m ×	0.8 m ×	18 kN/m ³	=	138.24 kN/m
ballast sovralz			× 9.6 m ×	0.8 m ×	2 kN/m ³	=	15.36 kN/m
muretti paraballast	2 ×	0.2 m ×	0.7 m ×	25 kN/m ³	=	7.00 kN/m	
cordoli laterali	2 ×	0.19 m ×	0.92 m ×	25 kN/m	=	8.74 kN/m	
cavidotti	2 ×			1.5 kN/m	=	3.00 kN/m	
velette	2 ×			6.75 kN/m	=	13.50 kN/m	
barriere anti rumore	2 ×		4 m ×	4 kN/m ²	=	32.00 kN/m	

$$q_{perm} = 217.84 \text{ kN/m}$$

Carico distribuito

$$q_{tot} = q_{pp} + q_{sol} + 2 \times w_t \times (4 \times a / L_o^2) + q_{perm} \cong 464.76 \text{ kN/m}$$

Peso Totale Campata

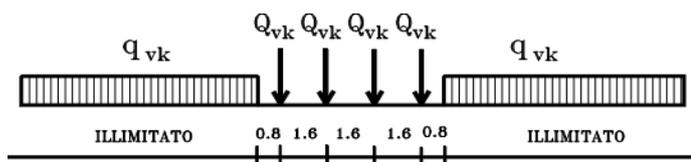
travi zona sezione corrente	L' × q _{pp}	=	2638 kN
traversi	2 × w _t	=	165 kN
incremento zona appoggi	2L ₁ × (q _{pp2} - q _{pp})	=	201 kN
incremento zona transizione	2L ₂ × (q _{pp2} - q _{pp}) / 2	=	187 kN
traversi appoggio	2 × w _{t2}	=	204 kN
soletta	L × q _{sol}	=	3206 kN
permanente	L × q _{perm}	=	5446 kN

12047 kN

Azioni variabili verticali (NTC §5.2.2.3)

Treno di carico LM71 (NTC §5.2.2.3.1.1)

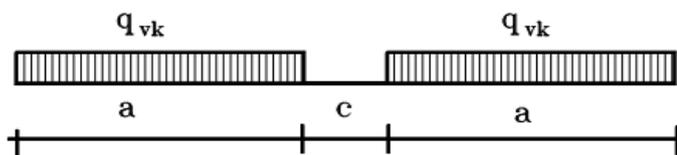
$Q_{vk} = 250$ kN
 $q_{vk} = 80$ kN/m
 $\alpha = 1.1$ -
 $\Delta e = 0.08$ m eccentricità (s/18)
 $e_{tot} = 0.0922$ m eccentricità totale ($e_o + \Delta e$)



Treno di carico SW (NTC §5.2.2.3.1.2)

SW/0 $q_{vk} = 133$ kN $a = 15$ m $c = 5.3$ m $\alpha = 1.1$
 SW/2 $q_{vk} = 150$ kN $a = 25$ m $c = 7$ m $\alpha = 1.0$

$e_{tot} = 0.0122$ m eccentricità totale (e_o)



Carichi sui marciapiedi (NTC §5.2.2.3.2)

$q = 10$ kN/m² (non contemporanei al transito dei convogli)

Tale azione non è dimensionante nelle verifiche degli elementi principali dell'impalcato (modello a graticcio)

Effetti dinamici (NTC §5.2.2.3.3)

$L_\phi = 22.8$ m	lunghezza caratteristica (cfr. Tab5.2.II)
$\delta_o = 12.8$ mm	freccia in mezzeria dovuta alle azioni permanenti
$n_{sup} = 9.1388$ Hz (eq. 5.2.2)	limite superiore fuso
$n_{inf} = 3.7038$ Hz (eq. 5.2.4)	limite inferiore fuso
$n_o = 4.9613$ Hz (eq. 5.2.5)	prima frequenza propria flessionale
	la frequenza è nel fuso
$\Phi_2 = 1.135$ - (eq. 5.2.6)	incremento dinamico per linee con elevato standard manutentivo
$\Phi_3 = 1.202$ - (eq. 5.2.7)	incremento dinamico per linee con ridotto standard manutentivo

Azioni variabili orizzontali (NTC §5.2.2.4)

Forza centrifuga (NTC §5.2.2.4.1)

$r = 3200$ m

$e_v = 1.8$ m

$e_o = 0.0122$ m

$V_{max} = 300$ km/h

αR_v

αR_o

raggio di curvatura minimo

eccentricità verticale da P.F.

eccentricità orizzontale tracciamento $\sim (1 - \cos(L/2R)) \times R/2$

velocità massima della linea

massima risultante verticale sull'impalcato

massima risultante orizzontale di forza centrifuga

	αR_v	V	L_f	f	$\frac{f \cdot V^2}{127r}$	αR_o	(eq. 5.2.10)
	kN	km/h	m	-		kN	
LM71 _a	2807	120		1.000	0.035	99.5	$f = \left[1 - \frac{V-120}{1000} \left(\frac{814}{V} + 1,75 \right) \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2,88}{L_f}} \right) \right]$
LM71 _b	2807	300	25.0	0.469	0.104	291.7	
SW/0	2882	100		1.000	0.025	70.9	
SW/2	3750	100		1.000	0.025	92.3	

Azione laterale di serpeggio (NTC §5.2.2.4.2)

$e = 0$ m

$Q_{sk} = 100$ kN

eccentricità verticale da P.F.

azione trasversale (escluso α)

Azione di avviamento o frenatura (NTC §5.2.2.4.3)

	LM71	SW/0	SW/2		LM71	SW/0	SW/2	
avviamento	33	33	33	kN/m	αF_{avv}	907.5	907.5	825 kN
limite max	1000	1000	1000	kN				
frenatura	20	20	35	kN/m	αF_{fren}	550	550	875 kN
limite max	6000	6000	-	kN				

Riepilogo massime azioni orizzontali convogli con 2 binari carichi

	$\alpha F_{a/f}$	$\alpha F_{centrif}$	αF_{serp}
LM71 LM71	1458	583	220
LM71 SW2	1783	384	210
LM71 SW0	1458	363	220
SW2 SW0	1783	163	210
SW0 SW0	1458	142	220

Azioni variabili ambientali (NTC §5.2.2.5)

Azione del vento (NTC §5.2.2.5.1)

$q = 2.5 \text{ kN/m}^2$

pressione massima

$h = 8.0 \text{ m}$

altezza esposta impalcato (carpenteria + barriere)

$p = 20.0 \text{ kN/m}$

 carico trasversale ($q \times h$)

Temperatura (NTC §5.2.2.5.2)

 Tipologia di impalcato **calcestruzzo, c.a. e c.a.p.**

$\Delta T = \pm 15^\circ$

variazione termica uniforme

$\Delta T' = \pm 22.5^\circ$

 variazione termica uniforme per escursione giunti ($1.5 \times \Delta T$)

$\Delta T_s = \pm 5^\circ$

gradiente sullo spessore della soletta

$\Delta T_d = \pm 5^\circ$

variazione differenziale tra soletta e impalcato (solo strutture miste)

$\Delta T_f = \pm 10^\circ$

gradiente tra intradosso ed estradosso (solo per verifiche deformazioni)

Tali azioni non sono dimensionanti nelle verifiche degli elementi principali dell'impalcato (modello a graticcio)

Effetti di interazione statica Treno-Binario-Struttura (NTC §5.2.2.6)

Tali azioni non sono dimensionanti nelle verifiche degli elementi principali dell'impalcato (modello a graticcio)

Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari (NTC §5.2.2.7)

Tali azioni sono cumulate nella pressione del vento assunta.

Azioni sismiche (NTC §5.2.2.8)

$\psi_2 = 0.2$

valore quasi permanente dei carichi da traffico

Tali azioni non sono dimensionanti nelle verifiche degli elementi principali dell'impalcato (modello a graticcio)

Azioni eccezionali (NTC §5.2.2.9)

Rottura catenaria (NTC §5.2.2.9.1)

$F = \pm 20 \text{ kN}$

Tale azione non è dimensionante nelle verifiche degli elementi principali dell'impalcato (modello a graticcio)

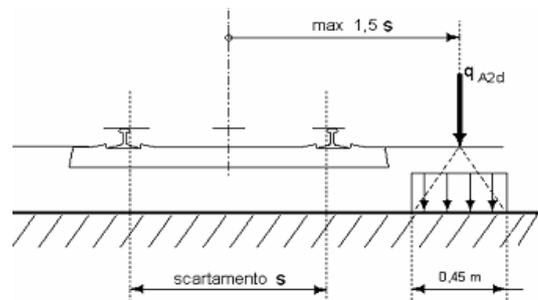
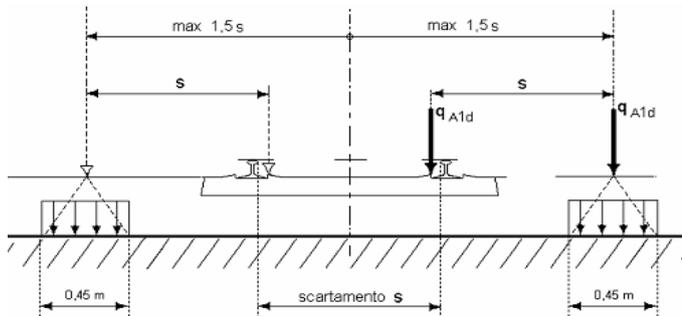
Deragliamento al di sopra del ponte (NTC §5.2.2.9.2)

$q_{A1d} = 60 \text{ kN/m}$ carico caso 1

$L_{A1d} = \text{indefinito}$

$q_{A2d} = 112 \text{ kN/m}$ carico caso 2

$L_{A2d} = 20 \text{ m}$



Azioni indirette (NTC §5.2.2.10)

Distorsioni (NTC §5.2.2.10.1)

Non presenti nell'impalcato in oggetto

Ritiro e viscosità (NTC §5.2.2.10.2)

Vedere paragrafo generale sulla precompressione

Resistenze parassite dei vincoli (NTC §5.2.2.10.3)

Tali azioni non sono dimensionanti nelle verifiche degli elementi principali dell'impalcato (modello a graticcio)

5.1.1 Azioni sismiche

Il riferimento per la descrizione del moto sismico è costituito dallo spettro di risposta elastico, indicato nel [NTC] dall'equazione 3.2.4:

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta F_0} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \quad \text{per } 0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \quad \text{per } T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \quad \text{per } T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right) \quad \text{per } T_D \leq T$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Nelle stesse inoltre:

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione $S = S_S \cdot S_T$, essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica (NTC Tab. 3.2.V) e S_T il coefficiente di amplificazione topografica (NTC Tab. 3.2.VI);

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali diversi dal 5%, secondo la 3.2.6 del [NTC];

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = C_C \cdot T_C^*$, dove T_C^* è definito in [NTC] - §3.2 e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (NTC Tab. 3.2.V);

$T_B = T_C/3$ è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$T_D = 4.0 \cdot a_g/g + 1.6$ è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante, espresso in secondi.

Ai fini della determinazione dello spettro di progetto dell'azione sismica, vengono definiti i seguenti parametri, che sono inseriti nel foglio di calcolo elettronico messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:

- vita nominale della costruzione: $V_N = 100$ anni;
- classe d'uso III, cui corrisponde un coefficiente d'uso: $C_U = 1.5$.

Ne consegue che il periodo di riferimento è $V_R = V_N C_U \geq 150$ anni.

La condizione più sfavorevole della Tratta è alle seguenti coordinate geografiche:

Latitudine 45.449169, Longitudine 11.386918

Per definire lo spettro di risposta elastico è necessario identificare la categoria del sottosuolo. Nel caso in esame le indagini geognostiche hanno riscontrato la categoria D, con categoria topografica T1.

Sulla base di quanto stabilito, si ottengono i parametri riportati nella seguente Tabella 1.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]	S [-]	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]
SLO	90	0.068	2.492	0.267	1.800	0.215	0.645	1.870
SLD	151	0.086	2.469	0.271	1.800	0.217	0.651	1.943
SLV	1424	0.212	2.435	0.288	1.626	0.224	0.671	2.448
SLC	2475	0.260	2.385	0.294	1.471	0.226	0.678	2.638

Tabella 1 – Valore dei parametri a_g , F_0 , T_C^* , T_B , T_C , T_D per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

Le azioni sismiche verticali non sono dimensionanti per l'impalcato.

5.2 Caratteristiche geometriche e meccaniche delle sezioni

5.2.1 Trave in c.a.p.

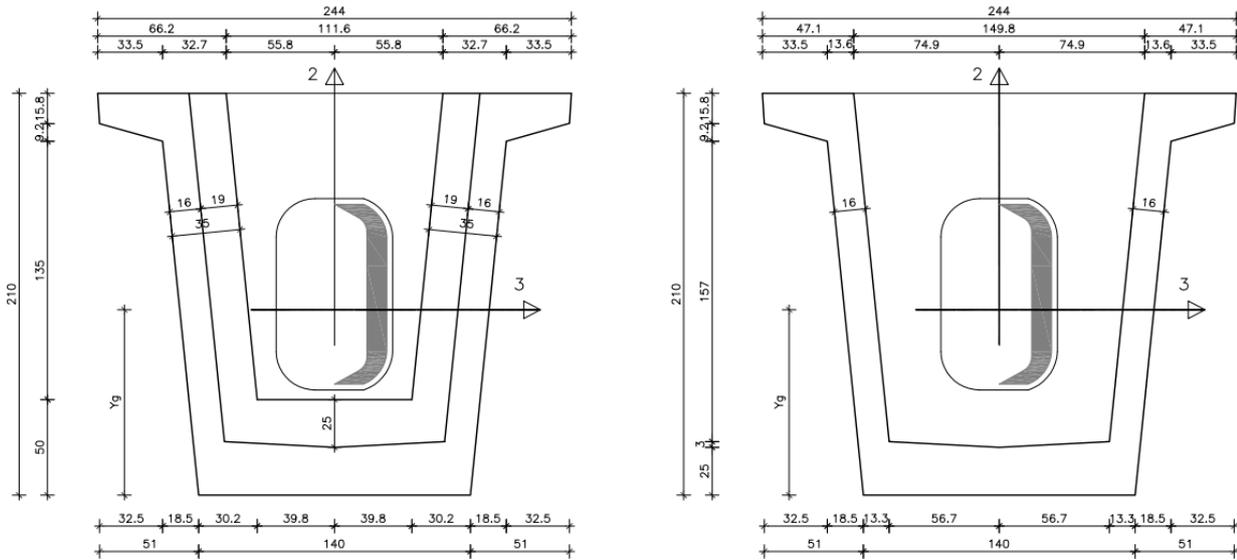


Figura 1 – carpenteria trave c.a.p.

5.2.2 Maschera trefoli

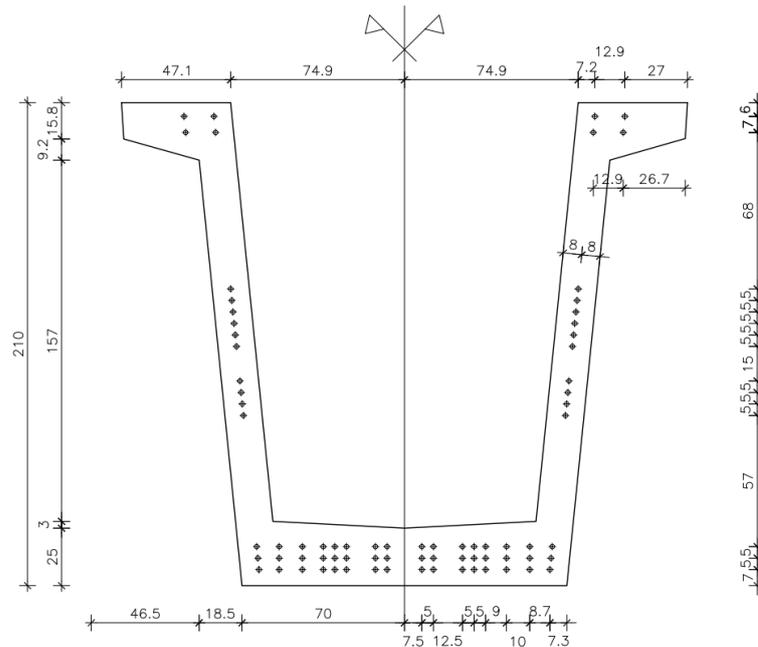


Figura 2 – maschera trefoli

5.2.3 Larghezza collaborante

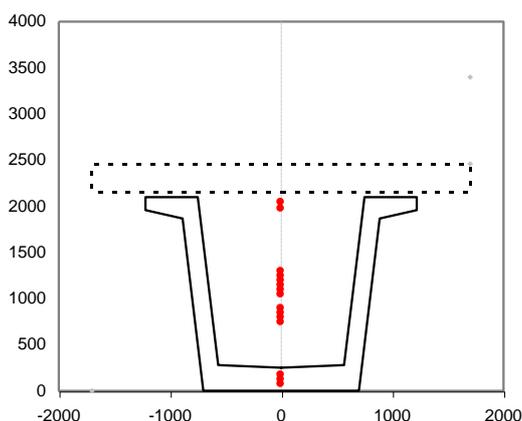
Assunta una lunghezza della campata pari a 22.8m (appoggio-appoggio) e ammessa collaborante tutta la porzione di soletta contenuta all'interno delle due anime (b_c), la larghezza collaborante per la sezione di mezzeria è pari a:

$$\begin{aligned}
 B_{\text{eff,est}} &= \min(L_o/8, b_{sx}-b_o/2) + b_c + \min(L_o/8, b_{dx}-b_o/2) = \\
 &= \min(22.8\text{m}/8, 2.16\text{m}-2.44\text{m}/2) + 2.44\text{m} + \\
 &\quad + \min(22.8\text{m}/8, 1.24\text{m}-2.44\text{m}/2) = 0.94 + 2.44 + 0.02 = 3.4\text{m} \\
 &\hspace{15em} \text{larghezza collaborante travi esterne}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B_{\text{eff,int}} &= 2 \times \min(L_o/8, b_{\text{int}}-b_o/2) + b_c = \\
 &= 2 \times \min(22.8\text{m}/8, 1.24\text{m}-2.44\text{m}/2) + 2.44\text{m} = \\
 &= 2 \times 0.02 + 2.44 = 2.48\text{m} \hspace{5em} \text{larghezza collaborante travi interne}
 \end{aligned}$$

5.2.4 Inerzie omogeneizzate

Con riferimento alla sezione di mezzeria della trave esterna, avendo depurato il contributo delle predalles (~50mm) e considerato uno spessore medio di soletta di 310mm, le inerzie elementari ed omogeneizzate di trave, soletta ed armatura di precompressione, sono:



INERZIE

elemento		A mm ²	z _G mm	I _G mm ⁴
trave	C	1087391	907.7	5.826E+11
soletta	S	1054000	2305.0	8.441E+09
precomp.	A _p	10564	556.6	4.324E+09
trave	A _c	0	0.0	0.000E+00
soletta	A _s	0	0.0	0.000E+00

MODULI DI OMOGENIZZAZIONE

sezione	E _{trv} MPa	E _{sol} MPa	E _p MPa	E _{arm} MPa
vuoto	33259	0	195000	206000
T _o	36283	32837	195000	206000
T _{oo}	10540	8629	195000	206000

5.3 Proprietà dei materiali, ritiro, viscosità e precompressione

Si ipotizza che il taglio dei trefoli avvenga ad una maturazione equivalente corrispondente a ~6gg (f_{ckj} ~32 MPa), e che il getto della soletta avvenga entro i ~150gg. I valori caratteristici del calcestruzzo di trave e soletta (viscosità, ritiro, deformabilità e resistenza) sono riportati nella tabella seguente, avendo assunto un cemento di classe N:

CLS		TRAVE			SOLETTA		
A_c	m ²	1.087			4.417		area soggetta a ritiro
u	m	11.85			14.72		perimetro esposto
h_o	mm	183			600		spessore caratteristico
RH	-	65%					umidità relativa
t_j	g	oo	9.0	150.0	oo		
$f_{ck,j}$	MPa	45.0	35.8	45.0	30.0	resistenza cilindrica caratteristica a t_j	
$\varphi_{o,j}$	-	2.442	0.655	1.582	2.805	coeff. di viscosità a t_j [EC2 B.1]	
$\varepsilon_{cs,j}$	-	3.80E-04	5.62E-05	2.55E-04	3.30E-04	deformazione totale per ritiro t_j [EC2 §3.1.4]	
$E_{cm,j}$	MPa	36283	34263	36283	32837	modulo istantaneo del cls a t_j	
						limiti tensionali compressione	
0.60 fck	MPa		21.47	27.00		a vuoto (taglio dei trefoli) o al getto	
0.55 fck	MPa	24.75			16.50	in esercizio combinazione rara	
0.40 fck	MPa	18.00			12.00	in esercizio combinazione quasi permanente	

I valori caratteristici dell'armatura di precompressione (trefoli) e lenta sono:

ACCIAIO DA PRECOMPRESSIONE

E_p	MPa	195000	modulo dell'armatura di precompressione
f_{pk}	MPa	1860	tensione caratteristica di rottura [NTC 11.3.VII]
f_{p1k}	MPa	1670	tensione caratteristica all'1% di deformazione
classe	-	2	Trecce, filo o trefolo stabilizzato
ρ_{1000}	-	2.5%	perdite a 1000 ore sotto 0.7 f_{pk} [NTC 11.3.VIII]
			limiti tensionali
0.8 fptk	MPa	1488.0	a vuoto (taglio dei trefoli)
0.9 fp1k	MPa	1503.0	
0.8 fp1k	MPa	1336.0	in esercizio

ARMATURA LENTA

E_s	MPa	206000	modulo dell'armatura lenta
f_{yk}	MPa	450	tensione caratteristica di snervamento
$0.75 f_{yk}$	MPa	337.5	limite tensionale in esercizio

L'azione di coazione indotta dal ritiro differenziale tra trave e soletta è pari a:

COAZIONI TRAVE SOLETTA

$\Delta\varepsilon_{cs}$	-	7.52E-05	deformazione differenziale trave / soletta
$\Delta\sigma_{cs,sol}$	MPa	0.65	tensione di coazione ($\Delta\varepsilon_{cs} E_{cm,sol} / (1 + \rho_{o,sol})$)
N_{rit}	kN	2866.2	sforzo normale di coazione ($A_{sol} \Delta\sigma_{cs,sol}$)

In accordo con la carpenteria della trave e la maschera trefoli, assumendo un tiro iniziale dei trefoli pari a $\sigma_{pi}^* = 1350$ MPa, le principali componenti delle perdite di precompressione sono:

PERDITE PER ACCORCIAMENTO ELASTICO

σ_{pi}^*	MPa	1350.0	tiro iniziale
A	m ²	1.087	area della trave
z_G	m	0.908	baricentro della trave
A_p	mm ²	10564	armatura di precompressione
z_p	m	0.557	baricentro armatura di precompressione
Δz	m	0.351	distanza baricentro / baricentro trefoli
I_G	m ⁴	0.5826	momento d'inerzia
n_j	-	5.691	coeff. di omogenizzazione (E_p/E_{cmj})
$\Delta\sigma_{short}$	MPa	91.82	$=n_j \cdot A_p \cdot \sigma_{pi}^* (1/A + \Delta z^2/I_G)$
σ_{pi}	MPa	1258.2	tiro iniziale effettivo ($\sigma_{pi}^* - \Delta\sigma_{short}$)

PERDITE PER RILASSAMENTO (acciai stabilizzati classe 2)

μ	-	0.676	tasso di lavoro (σ_{pi} / f_{pk})
t	ore	500000 ore	periodo di riferimento
p_{relax}	-	3.51%	perdite per rilassamento [NTC 11.3.17]
$\Delta\sigma_{relax}$	MPa	44.21	caduta di tensione per rilassamento ($p_{relax} \cdot \sigma_{pi}$)

PERDITE PER RITIRO

$\Delta\sigma_{rit}$	MPa	74.07	caduta di tensione per ritiro ($E_p \cdot \epsilon_{cs}$)
----------------------	-----	-------	---

PERDITE PER VISCOSITA'

σ_{qp}	MPa	8.34	tensione q.p. sul cls al baricentro dei trefoli
$n_o \varphi_o$	-	13.127	coeff. di omogenizzazione ($E_p/E_{cm,oo}$)
$\Delta\sigma_{vis}$	MPa	109.48	caduta di tensione per viscosità ($n_o \cdot \varphi_o \cdot \sigma_{qp}$)

PERDITE TOTALI

$\Sigma\Delta\sigma$	MPa	227.8	somma perdite di precompressione
$\Delta\sigma_{tot}$	MPa	184.0	perdite totali di precompressione [EC2 §5.10.6]
ΔP	-	13.6%	percentuale ($\Delta\sigma_{tot} / \sigma_{pi}$)

Si stima di poter ripartire le perdite totali di precompressione α_{tot} in due aliquote α_I e α_{II} . La prima si esaurisce nel periodo iniziale tra il taglio dei trefoli e il getto della soletta, mentre la seconda tra il getto della soletta e T_{∞} .

α_{TOT}	-	13.6%	percentuale perdite adottata nel calcolo
α_I	60%	8.2%	aliquota di perdite in I fase
α_{II}	40%	5.4%	aliquota di perdite in II fase

In accordo con [EC2-2 §KK7] ed [EC2-EC] è possibile stimare gli effetti della viscosità, nel cambio di sezione resistente da trave (I fase) a trave+soletta (II fase), mediante la seguente espressione:

$$S_{oo} = S_o + (S_1 - S_o) \frac{E_c(t_1)}{E_c(t_o)} \left[\frac{\varphi_{oo,t_o} - \varphi_{t_1,t_o}}{1 + \chi\varphi_{oo,t_1}} \right]$$

dove

- S_o indicano le sollecitazioni calcolate nello schema iniziale (solo trave)
- S_1 indicano le sollecitazioni calcolate nello schema finale (trave + sol.)
- t_o è l'età del calcestruzzo all'applicazione dei carichi permanenti
- t_1 è l'età del calcestruzzo all'atto della variazione di sezione resistente

e nel caso specifico:

RIDISTRIBUZIONE VISCOSA

t_o	g	9.0	applicazione carichi permanenti
t_c	g	150.0	variazione di sezione resistente
φ_{oo,t_o}	-	1.990	viscosità totale a T_{oo}
φ_{oo,t_1}	-	1.164	viscosità da t_1 a T_{oo}
φ_{t_1,t_o}	-	1.277	viscosità da t_o a t_1
χ	-	0.8	coeff. media carichi permanenti
E_{c,t_1}	-	36283	modulo istantaneo a t_1
E_{c,t_o}	-	31101	modulo istantaneo a t_o
$1-\gamma$	-	57%	coeff. moltiplicativo schema iniziale
γ	-	43%	coeff. moltiplicativo schema finale = $E_{c,t_1}/E_{c,t_o} (\varphi_{oo,t_o} - \varphi_{t_1,t_o}) / (1 + \chi\varphi_{oo,t_1})$

5.4 Modello di calcolo

5.4.1 Descrizione

I modelli di calcolo impiegati per la determinazione delle sollecitazioni, sono dei modelli a graticcio tridimensionali, realizzati con un preprocessore (foglio di calcolo Excel) ed analizzati con il programma di calcolo Sap2000 (CSI Berkeley). Tali modelli di calcolo riproducono correttamente sia la geometria sia la rigidità delle travi di impalcato, dei traversi e della soletta trasversale.

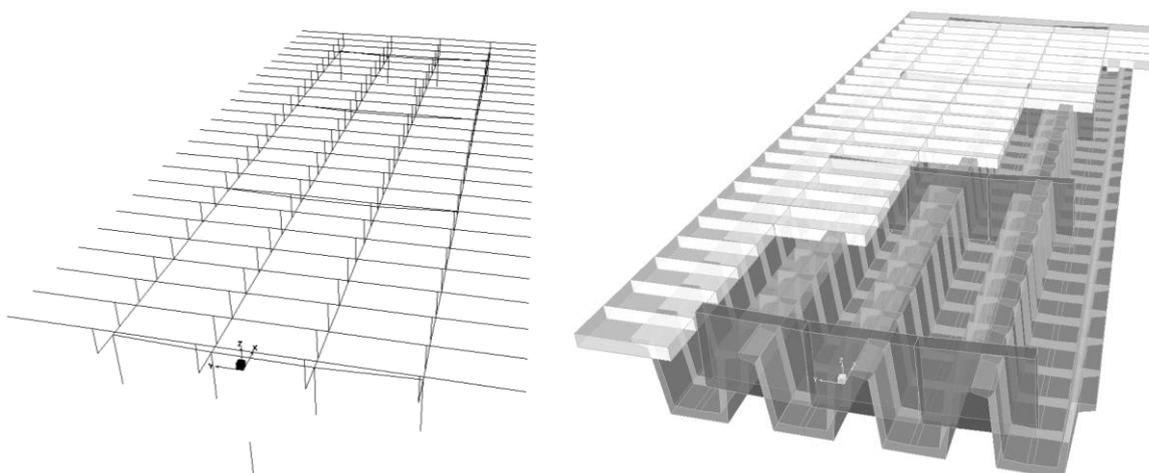


Figura 3 – viste modello di calcolo: assi elementi (sx) ed ingombro elementi (dx)

Il sistema di riferimento è una terna destra con l'asse X parallelo all'impalcato e l'asse Z verticale (positivo verso l'alto). L'ascissa zero X è posta in asse alla prima sottostruttura, quella zero Z ad estradosso travi (intradosso soletta).

Nel rispetto della verifica per fasi, sono stati realizzati tre differenti modelli di calcolo, ciascuno con le corrette proprietà delle sezioni e con i carichi pertinenti: *modello getto*, *modello a T_{∞}* e *modello a T_0* . Ciascuna trave è stata discretizzata con passi di avanzamento di ~1m; per ciascuna di esse sono state calcolate inerzie omogeneizzate e posizione del baricentro, calcolando la larghezza efficace della soletta variabile da sezione a sezione (cfr. [NTC] §4.3.2.3), distinguendo tra travi

interne e travi esterne, e tenendo conto delle proprietà viscoso elastiche dei materiali (coefficienti di omogeneizzazione) pertinenti la fase modellata.

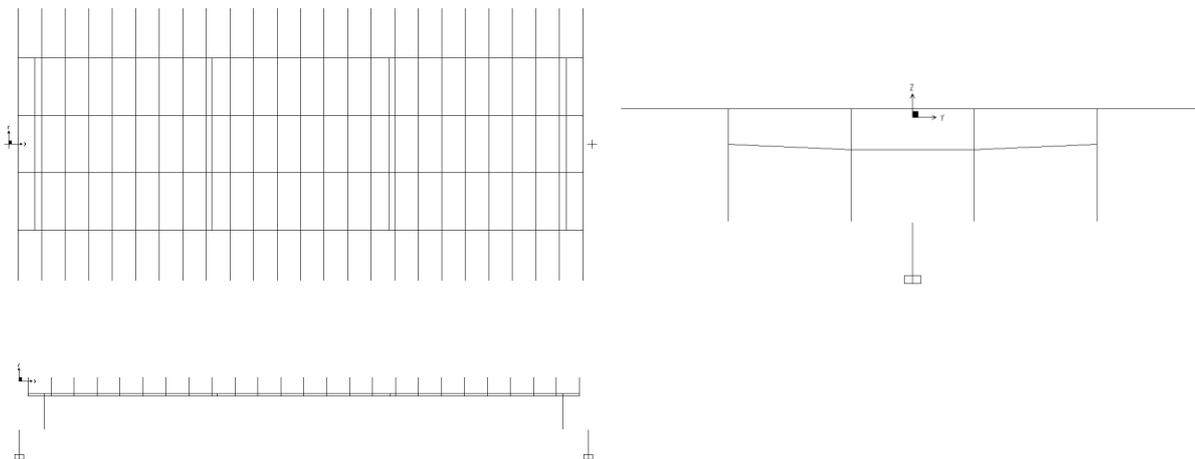


Figura 4 – viste modello di calcolo: pianta, prospetto e sezione

I traversi collegano mediante la loro reale inerzia e configurazione i baricentri delle travi. La soletta trasversale non è complanare alle travi di impalcato ma staccata da queste ultime mediante bracci rigidi, essa è posta nella sua reale posizione geometrica. La soletta **non** contribuisce alla rigidità flessionale delle travi, data la presenza di svincoli flessionali sia nel piano orizzontale sia nel piano verticale, poiché l'inerzia della soletta è già contenuta ed omogeneizzata nelle travi.

Gli appoggi sono stati modellati con dei bracci rigidi con opportuni svincoli flessionali e a taglio per rispettare i reali gradi di libertà svincolati. Il nodo inferiore di tali bracci rigidi è posto alla quota di intradosso delle travi.

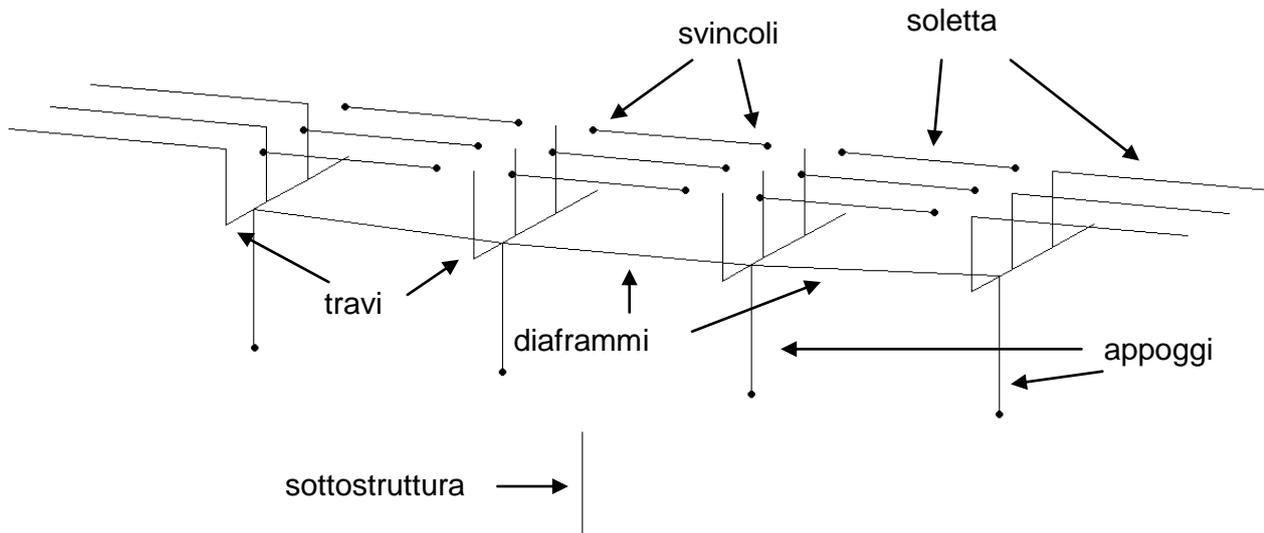


Figura 5 – stralcio dettagli modellazione

I nodi inferiori dei bracci rigidi degli appoggi sono connessi mediante un vincolo di corpo rigido (*constraint di tipo body*) al nodo superiore di un elemento fittizio rappresentativo le sottostrutture. Tale modellazione consente agevolmente di estrarre sia le sollecitazioni dei singoli elementi rappresentativi degli appoggi, sia la risultante in testa alle sottostrutture.

La modellazione rispetta la reale geometria dell'impalcato, ivi inclusa la presenza dei retrotrave ed il disassamento tra asse appoggi e asse sottostrutture.

I carichi variabili da traffico sono stati modellati mediante l'opzione offerta dal programma di calcolo *carichi mobili (moving loads)*. Ciascuno dei convogli analizzati è stato fatto transitare con una apposita eccentricità (*lane*), ed in particolare:

- le *lane* L_1 e L_2 , utili per l'SW2, hanno eccentricità rispetto all'asse dell'impalcato pari a -2.262 e 2.238 ($\pm 2.25m - 0.012m$)

- le *lane* L_{1e} e L_{2e} , utili per l'LM71, hanno eccentricità maggiorate lato trave 1 di 0.08m, e sono pari a -2.342 e 2.158
- le *lane* L_{1x} e L_{2x} , utili per i due casi di deragliamento, hanno eccentricità maggiorate rispetto alla *lane* L_1 pari ad uno scartamento s e uno scartamento e mezzo, -3.697 ed -4.4145.

Si omettono in sicurezza le eccentricità dovute al sovrizzo del ballast in curva in quanto hanno, di regola, segno opposto ai momenti indotti dalla forza centrifuga. Si ammette cautelativamente, inoltre, di mantenere la stessa eccentricità su tutto l'impalcato.

I carichi variabili da traffico sono applicati esclusivamente alla soletta mediante i *carichi mobili*, ciò avviene sostanzialmente per aree di influenza. Le travi di impalcato ripartiscono quindi il carico, tenendo conto della rigidità dei traversi e l'interazione tra rigidità flessionale e torsionale delle travi stesse.

In accordo con [NTC §5.2.2.3.1.2] si omette l'analisi del transito dei convogli tipo SW0 per la tipologia di opera in oggetto.

In via semplificativa per le azioni orizzontali da traffico (frenatura, centrifuga e serpeggio), sono state considerate delle condizioni di carico statiche coerenti con quelle corrispondenti agli effetti peggiori sull'impalcato in termini di carico verticali. Tali effetti peggiori sono stati identificati nella contemporanea presenza di un SW2 sul primo binario e un LM71 sul secondo binario.

Tutti gli altri carichi (peso proprio, permanenti, ritiro, frenatura, centrifuga, etc.) sono applicati direttamente alle travi di impalcato mediante ripartizione uniforme, risultando tale approssimazione del tutto trascurabile ai fini della determinazione delle sollecitazioni. I carichi a risultante orizzontale (ritiro, frenatura, centrifuga, etc.) essendo applicati al baricentro della trave (che varia da sezione a sezione e da fase a

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 25M IN C.A.P.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 27 di 56
	IN0D00DI2CLVI0007001B	

fase) sono costituiti anche da un momento distribuito (variabile da sezione a sezione e da fase a fase) che simula la corretta posizione del carico (eccentricità verticale).

I carichi relativi alla precompressione sono gli unici non inseriti nei modelli di calcolo, ma direttamente calcolati in sede di verifica.

I tabulati di calcolo, con i dettagli della modellazione, sono riportati in allegato.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 25M IN C.A.P.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 28 di 56
	IN0D00DI2CLVI0007001B	

5.4.2 Carichi elementari

I carichi elementari contenuti nel primo modello (Getto) sono:

G_{k_pp} peso proprio delle travi (~118.67 kN/m)

G_{k_sol} peso proprio della soletta (~128.25 kN/m)

I carichi elementari contenuti nel secondo modello (Too) sono:

G_{k_perm} peso dei permanenti portati (~218 kN/m)

G_{k_rit} coazione di ritiro (~2866 kN)

I carichi elementari contenuti nel terzo modello (To) sono:

L_{1_SW2} transito SW2 sul primo binario

L_{2_SW2} transito SW2 sul secondo binario

L_{1e_LM71} transito LM71 sul primo binario

L_{2e_LM71} transito LM71 sul secondo binario

L_{1x_D1} deragliamento di tipo 1 sul primo binario

L_{2x_D2} deragliamento di tipo 2 sul primo binario

Q_{k_Fren} azione di avviamento/frenatura, due binari carichi (~1783 kN)

$Q_{k_Centrif}$ azione centrifuga, due binari carichi (~384 kN)

Q_{k_Serp} azione di avviamento/frenatura, due binari carichi (~210 kN)

W_k azione del vento su impalcato (~20 kN/m)

Tutti i carichi da traffico, inseriti nel modello di calcolo, includono il rispettivo coefficiente maggiorativo α ma non quello di amplificazione dinamica Φ .

5.4.3 Combinazioni di carico

Le singole azioni elementari vengono combinate in accordo alla [IFS 1].

Gruppi di carico

Si considera la simultaneità delle azioni di traffico; i valori caratteristici delle azioni sono combinati in gruppi di carico.

Gli effetti dei carichi verticali, generati dalla presenza dei convogli, sono combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati in Tabella 2.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo.2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ, α , ecc..)
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tabella 2 – Valutazione dei carichi da traffico

Per le verifiche agli **stati limite ultimi** si adottano i valori dei coefficienti parziali indicati nella seguente Tabella 3.

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 3 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sisma

I significati dei simboli in tabella sono i seguenti:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili;
- γ_P coefficiente parziale delle azioni di precompressione.

Per le verifiche agli **stati limite di esercizio** si adottano i valori dei coefficienti parziali indicati nella seguente Tabella 4.

Azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti Ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 4 – Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

In luogo dei gruppi delle azioni da traffico ferroviario definiti in Tabella 2 possono considerarsi le singole azioni con i coefficienti di combinazione indicati nella seguente Tabella 5.

	Azioni	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	⁽¹⁾	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,0 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	⁽²⁾ ⁽³⁾	⁽²⁾	⁽²⁾
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Si usano gli stessi coefficienti ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.

(3) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 5 – Ulteriori coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Essendo i contributi di carico elementari suddivisi su modelli di calcolo differenti, non è possibile, per il modello a graticcio, impostare le combinazioni di carico direttamente nel programma di calcolo in quanto a ciascun modello mancherebbero dei contributi. Si evidenzia inoltre che le sollecitazioni combinate non risultano utili alla verifica per fasi, in quanto non sarebbe possibile utilizzare sezioni di verifica differenti da fase a fase (moduli W).

Per tale modello, si terrà conto delle combinazioni di carico direttamente in sede di verifica, identificando preventivamente solo quelle realmente dimensionanti.

5.4.4 Reazioni globali

MODELLO	Carico		FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
Getto	Gk_pp		0	0	2872	0	-35895	0
Getto	Gk_sol		0	0	3104	0	-38792	0
Too	Gk_perm		0	0	5275	0	-65940	0
Too	Gk_rit		0	0	0	0	0	0
To	Qk_Fren		-1783	0	0	0	-2139	0
To	Qk_Centrif		0	384	0	-1152	0	4800
To	Qk_Serp		0	210	0	-252	0	2625
To	Wk		0	500	0	-950	0	6249
To	L1_SW2	Max	0	0	3630	0	0	0
To	L1_SW2	Min	0	0	0	-8210	-45368	0
To	L2_SW2	Max	0	0	3630	8123	0	0
To	L2_SW2	Min	0	0	0	0	-45368	0
To	L1e_LM71	Max	0	0	2737	0	0	0
To	L1e_LM71	Min	0	0	0	-6409	-40291	0
To	L2e_LM71	Max	0	0	2737	5905	0	0
To	L2e_LM71	Min	0	0	0	0	-40291	0
To	L1x_D1	Max	0	0	2904	0	0	0
To	L1x_D1	Min	0	0	0	-10735	-36294	0
To	L2x_D2	Max	0	0	2240	0	0	0
To	L2x_D2	Min	0	0	0	-9888	-32700	0

Tabella 6 – reazioni globali carichi elementari (kN e kNm)

5.4.5 Reazioni allineamento fisso

MODELLO	Carico		P	V2	V3	T	M2	M3
Getto	Gk_pp		-1436	0	0	0	0	1580
Getto	Gk_sol		-1552	0	0	0	0	1707
Too	Gk_perm		-2638	0	0	0	0	2902
Too	Gk_rit		0	0	0	0	0	0
To	Qk_Fren		258	1783	0	0	0	-248
To	Qk_Centrif		0	0	-197	-330	-997	0
To	Qk_Serp		0	0	-107	-153	-353	0
To	Wk		0	0	-255	-389	-1019	0
To	L1_SW2	Max	2	0	0	3	1	1998
To	L1_SW2	Min	-1816	0	-30	-719	-4192	-2
To	L2_SW2	Max	2	0	32	756	4159	1998
To	L2_SW2	Min	-1816	0	0	-8	-8	-2
To	L1e_LM71	Max	8	0	1	16	11	1800
To	L1e_LM71	Min	-1636	0	-26	-613	-3875	-9
To	L2e_LM71	Max	8	0	25	601	3603	1800
To	L2e_LM71	Min	-1636	0	-1	-27	-29	-9
To	L1x_D1	Max	1	0	0	7	5	1598
To	L1x_D1	Min	-1453	0	-40	-965	-5487	-1
To	L2x_D2	Max	1	0	0	4	2	1459
To	L2x_D2	Min	-1326	0	-42	-1015	-5951	-1

Tabella 7 – reazioni globali allineamento fisso (kN e kNm)

5.4.6 Reazioni allineamento mobile

MODELLO	Carico		P	V2	V3	T	M2	M3
Getto	Gk_pp		-1436	0	0	0	0	-1579
Getto	Gk_sol		-1552	0	0	0	0	-1707
Too	Gk_perm		-2638	0	0	0	0	-2901
Too	Gk_rit		0	0	0	0	0	0
To	Qk_Fren		-258	0	0	0	0	-284
To	Qk_Centrif		0	0	-187	206	-968	0
To	Qk_Serp		0	0	-103	114	-344	0
To	Wk		0	0	-245	270	-991	0
To	L1_SW2	Max	2	0	30	0	1	2
To	L1_SW2	Min	-1816	0	0	-33	-4020	-1998
To	L2_SW2	Max	2	0	0	35	3978	2
To	L2_SW2	Min	-1816	0	-32	0	-7	-1998
To	L1e_LM71	Max	8	0	26	1	9	9
To	L1e_LM71	Min	-1636	0	-1	-28	-3759	-1800
To	L2e_LM71	Max	8	0	1	28	3492	9
To	L2e_LM71	Min	-1636	0	-25	-1	-25	-1800
To	L1x_D1	Max	1	0	40	0	4	1
To	L1x_D1	Min	-1453	0	0	-44	-5256	-1598
To	L2x_D2	Max	1	0	42	0	1	1
To	L2x_D2	Min	-1326	0	0	-47	-5720	-1459

Tabella 8 – reazioni globali allineamento mobile (kN e kNm)

5.4.7 Sollecitazioni elementari

MODELLO	Carico		P	V2	V3	T	M2	M3
Getto	Gk_pp		0	0	0	0	0	1921
Getto	Gk_sol		0	0	0	0	0	2076
Too	Gk_perm		-25	0	0	1	-7	3715
Too	Gk_rit		-727	0	0	0	-3	634
To	Qk_Fren		217	65	0	1	0	355
To	Qk_Centrif		18	0	1	1	-257	169
To	Qk_Serp		12	0	0	0	-141	49
To	Wk		27	0	1	1	-335	157
To	L1_SW2	Max	0	164	12	17	0	3568
To	L1_SW2	Min	-51	-148	-13	-19	-90	-11
To	L2_SW2	Max	30	16	0	35	21	1413
To	L2_SW2	Min	0	-12	-9	-41	-5	-3
To	L1e_LM71	Max	1	179	18	26	1	3123
To	L1e_LM71	Min	-45	-168	-18	-26	-85	-35
To	L2e_LM71	Max	25	18	0	37	15	1189
To	L2e_LM71	Min	-1	-13	-9	-42	-8	-14
To	L1x_D1	Max	1	265	14	96	9	3692
To	L1x_D1	Min	-88	-214	0	-86	0	-12
To	L2x_D2	Max	1	263	37	203	96	3642
To	L2x_D2	Min	-94	-216	-11	-223	-5	-4

Tabella 9 – trave 1 – sezione di mezzeria (kN e kNm)

MODELLO	Carico		P	V2	V3	T	M2	M3
Getto	Gk_pp		0	-329	0	0	0	95
Getto	Gk_sol		0	-356	0	0	0	103
Too	Gk_perm		-27	-634	1	-9	-3	149
Too	Gk_rit		-727	-12	0	-4	-3	551
To	Qk_Fren		418	61	1	-1	3	692
To	Qk_Centrif		6	-28	45	110	13	-17
To	Qk_Serp		6	-8	25	31	6	-5
To	Wk		12	-26	60	100	15	-16
To	L1_SW2	Max	0	0	23	294	26	98
To	L1_SW2	Min	-67	-562	-1	-2	-5	-31
To	L2_SW2	Max	52	0	10	2	1	182
To	L2_SW2	Min	-1	-167	0	-342	-34	-1
To	L1e_LM71	Max	1	3	29	256	30	150
To	L1e_LM71	Min	-60	-496	-5	-4	-9	-67
To	L2e_LM71	Max	42	1	11	6	2	150
To	L2e_LM71	Min	-2	-142	0	-280	-27	-4
To	L1x_D1	Max	1	1	0	520	42	87
To	L1x_D1	Min	-124	-762	-12	-2	0	-108
To	L2x_D2	Max	1	0	0	801	46	77
To	L2x_D2	Min	-132	-745	-70	-15	-4	-119

Tabella 10 – trave 1 – sezione di appoggio (kN e kNm)

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo: RELAZIONE DI CALCOLO IMPALCATO DA 25M IN C.A.P.	
	PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.	Pag. 38 di 56
	IN0D00DI2CLVI0007001B	

5.5 Verifica flessionale SLE

Si riporta in Tabella 11 una verifica tensionale per sovrapposizione degli effetti delle tensioni assiali nella sezione di mezzeria della trave più esterna. Si distinguono in tabella quattro distinte verifiche:

- a vuoto i cui carichi sono il **peso proprio** travi e la **precompressione** (100%)
- I fase al getto, dove si aggiunge rispetto alla combinazione precedente il carico del **peso della soletta** e la precompressione è ridotta dell'aliquota di perdite di I fase
- Il fase q.p. nella combinazione di carico **quasi-permanente**, dove si aggiungono rispetto alla combinazione precedente il carico del **permanenti portati** e del **ritiro differenziale**, e la precompressione è ridotta delle perdite totali
- Il fase rara nella combinazione di carico **rara**, dove si aggiungono rispetto alla combinazione precedente i **carichi variabili da traffico e ambientali**

Le tensioni riportate in tabella includono gli effetti generanti le coazioni (ε di ritiro per la soletta e di precompressione per i trefoli).

Per ciascuna delle verifiche è riportato il relativo limite tensionale:

- a vuoto $0.6 f_{ckj}$ per le travi e $\min(0.8 f_{ptk}, 0.9 f_{p1k})$ per i trefoli
- I fase $0.6 f_{ckj}$ per le travi e $0.8 f_{p1k}$ per i trefoli
- Il fase (SLE q.p.) $0.4 f_{ckj}$ per le travi e la soletta, e $0.8 f_{p1k}$ per i trefoli
- Il fase (SLE rara) $0.55 f_{ckj}$ per le travi e la soletta, e $0.8 f_{p1k}$ per i trefoli

Le tensioni calcolate sono inferiori ai rispettivi limiti e in tutti i casi è verificata la non decompressione del cls. Si riporta in Figura 6 una sintesi grafica delle tensioni calcolate in Tabella 11.

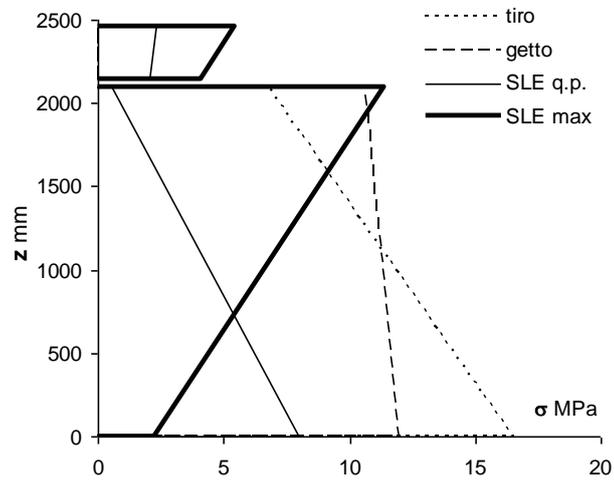


Figura 6 – andamento delle tensioni assiali sulla sezione composta trave + soletta (MPa) nella sezione di mezzeria

				INERZIE OMOGENEIZZATE			VERIFICA TENSIONI MPa (compressione +, trazione -)							
sezione				z_G mm	A_{om} mm ²	$I_{G,om}$ mm ⁴	trave			soletta		arm. precomp.		
							inf	Gpc	sup	inf	sup	inf	sup	
vuoto 1				889.3	1.148E+06	6.142E+11	0.0	556.6	2100.0	2150.0	2460.0	70.0	2040.0	
To 2				1533.5	2.098E+06	1.661E+12								
Too 3				1437.7	2.146E+06	1.776E+12								
a vuoto				coef	N kN	M kNm								
p.p.				1	0.0	1921.0	-2.78	-1.04	3.79			-14.6	20.5	
precomp. 100%				1	14261.4	-4745.7	19.30	15.00	3.07			-1243.2	-1329.9	
							Σ	16.52	13.96	6.86			-1257.8	-1309.4
							21.47						-1488	limiti verifica
							✓						✓	
I Fase				coef	N kN	M kNm								
p.p. + sol.				1	0.0	3966.0	-5.74	-2.15	7.82			-30.1	42.3	
precomp. (1- α_T) 91.8%				1	13097.7	-4358.5	17.72	13.78	2.82			-1141.8	-1221.3	
							Σ	11.98	11.63	10.64			-1171.9	-1179.1
							limite	27.00					-1336	limiti verifica
							✓						✓	
II Fase, azioni permanenti				coef	N kN	M kNm								
p.p. + sol. (1- γ) 57.0%				0.57	0.0	3966.0	-3.27	-1.22	4.46	0.00	0.00	-17.2	24.1	
p.p. + sol. γ 43.0%				0.43	0.0	3966.0	-1.38	-0.85	0.64	0.56	0.80	-24.3	10.7	
precomp. (1- α_T)(1- γ) 52.3%				1	7465.7	-2484.3	10.10	7.85	1.61	0.00	0.00	-650.8	-696.2	
precomp. (1- α_T) γ - α_{II} 34.1%				1	4856.2	-4278.6	5.73	4.39	0.67	0.45	-0.16	-356.9	-444.7	
permanenti portati				1	0.0	3715.0	-3.01	-1.84	1.39	1.22	1.75	-52.9	23.3	
ritiro differenziale				1	727.0	634.0	-0.17	0.02	0.58	-0.16	-0.07	-2.8	10.2	
							σ q.p.Σ	7.99	8.35	9.33	2.06	2.32	-1104.8	-1072.5
							limite		18.00		12.00		-1336	limiti verifica
								✓			✓		✓	
II Fase, azioni variabili				coef	N kN	M kNm								
convogli binario 1 SW2 To 2				1.20214	0.0	3568.0	-3.96	-2.52	1.46	1.44	2.16	-20.3	7.0	
convogli binario 2 LM71 To 2				1.32235	0.0	1081.0	-1.32	-0.84	0.49	0.48	0.72	-6.8	2.3	
frenatura/avviamento To 2 ±				0.5	-217.0	356.0	-0.22	-0.16	0.01	0.01	0.04	-1.1	0.0	
centrifuga To 2 ±				1	0.0	169.0	-0.16	-0.10	0.06	0.06	0.09	-0.8	0.3	
serpeggio To 2 ±				1	0.0	49.0	-0.05	-0.03	0.02	0.02	0.02	-0.2	0.1	
vento To 2 ±				0.6	0.0	157.0	-0.09	-0.06	0.03	0.03	0.05	-0.4	0.2	
termica differenziale To 2 ±				0.6	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	
							σ max	8.50	8.69	11.39	4.10	5.41	-1102.2	-1062.6
							σ min	2.21	4.65	9.21	1.95	2.12	-1134.5	-1073.0
							limite		24.75		16.50		-1336	limiti verifica
								✓			✓		✓	

Tabella 11 – verifica SLE sezione di mezzeria

Ripetendo le verifiche effettuate nella sezione di mezzeria sulle altre sezioni dell'impalcato, si riportano in Figura 7, Figura 8 e Figura 9 le tensioni del cls all'estradosso della soletta, all'estradosso e all'intradosso della trave. Tali grafici tengono conto del ringrosso e della transizione con la sezione in appoggio ma non tengono conto della lunghezza di introduzione della precompressione.



Figura 7 – sviluppo delle tensioni sulla soletta (MPa) su tutte le sezioni del ponte

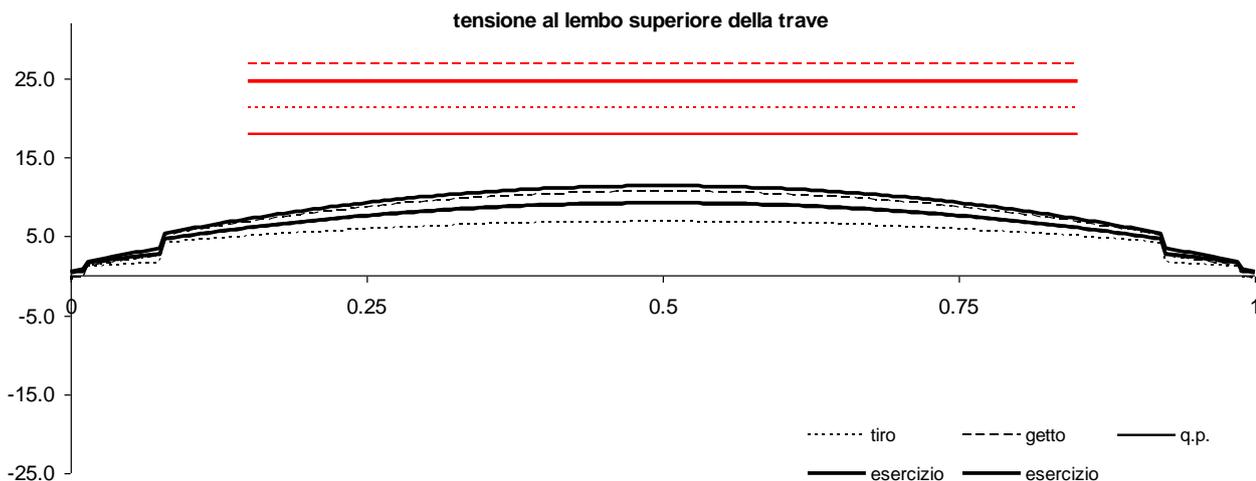


Figura 8 – sviluppo delle tensioni al lembo superiore della trave (MPa) su tutte le sezioni del ponte

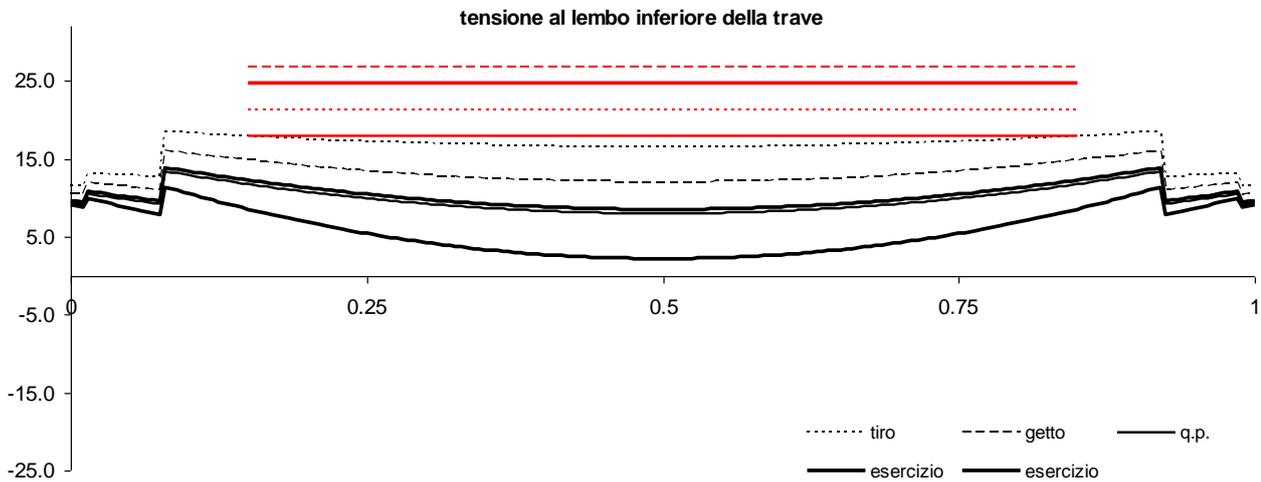


Figura 9 – sviluppo delle tensioni al lembo inferiore della trave (MPa) su tutte le sezioni del ponte

L'ascissa rappresentata nelle precedenti figure è normalizzata tra 0 e 1, corrispondenti rispettivamente alle due sezioni di appoggio. In rosso sono rappresentati i limiti tensionali suddivisi per fasi di verifica.

5.6 Verifica flessionale SLU

Si riporta, nella Tabella 12, la combinazione di sollecitazioni agenti più gravosa per la verifica a rottura della sezione di mezzeria della trave esterna. Tale combinazione risulta essere la AI, con gruppo di carico n° 1 e prevalenza dei carichi da traffico rispetto al vento.

Carichi	γ	α	ϕ	ψ	Ψ_{grp}	coef	N kN	M kNm
p.p. + sol.	1.35					1.35	0.0	3966.0
permanenti portati	1.5					1.5	0.0	3715.0
ritiro differenziale	1.2					1.2	727.0	634.0
convogli l SW2	1.45	1	1.202138	1	1	1.7431	0.0	3568.0
convogli l LM71	1.45	1.1	1.202138	1	1	1.91741	0.0	1081.0
frenatura/avviament	1.45	1		1	0.5	0.725	-217.0	356.0
centrifuga	1.45	1		1	1	1.45	0.0	169.0
serpeggio	1.45	1		1	1	1.45	0.0	49.0
vento	1.5			0.6		0.9	0.0	157.0
							N_S kN	M_S kNm
						Σ	715	20695

Tabella 12 – sollecitazioni di verifica SLU, sezione di mezzeria

Assumendo gli effetti della precompressione come un carico esterno, detratti delle perdite e riferite al baricentro della sezione di T_{00} :

$$N_p = 12322 \text{ kN}$$

$$M_p = -10856 \text{ kNm}$$

il momento resistente ultimo della sezione deve essere calcolato depurando i trefoli della loro tensione stimata in esercizio ($\sigma_{p,00}$). In particolare ciò è possibile adottando un legame costitutivo fittizio di tipo elasto-plastico rappresentato in figura, la cui soglia di snervamento ($\Delta\sigma$) è pari alla differenza tra la soglia reale ($f_{p0,1k}/\gamma_a$) e la tensione in esercizio ($\sigma_{p,00}$). Così facendo è possibile calcolare il momento ultimo della sezione come se questa fosse una sezione di c.a. ordinario soggetta ad uno sforzo normale pari ad N_p .

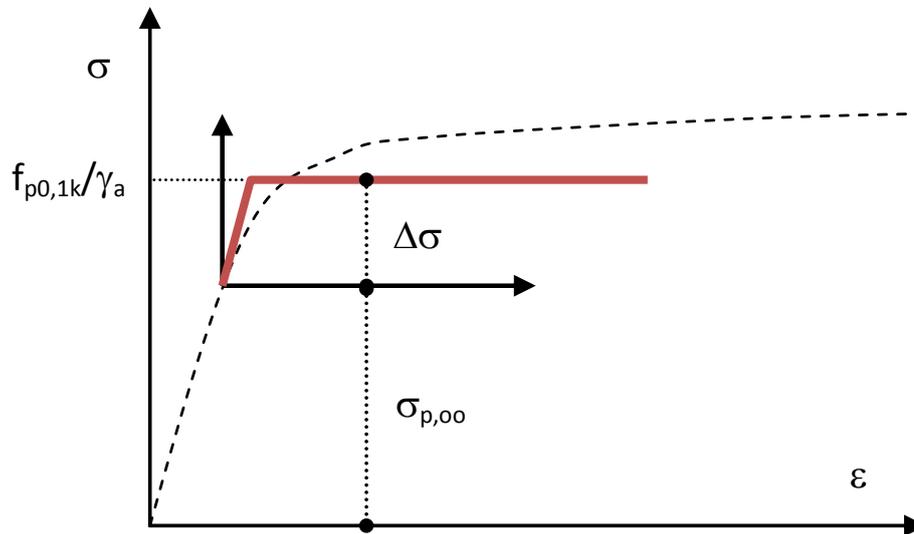


Figura 10 – legame costitutivo equivalente armatura di precompressione

Per l'opera in oggetto:

$$\Delta\sigma \cong f_{p0,1k}/\gamma_a - \sigma_{p,00} = 1600/1.15 - 1350 \times (1 - 0.136) = 1391 - 1166 \cong 225 \text{ MPa}$$

da cui

$$N_{Ed} = N_p + N_s = 13037 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_p + M_s = -10856 + 20695 = 9839 \text{ kNm}$$

$$M_R(N_{Ed}) = 13241 \text{ kNm} \geq M_{Ed}$$

5.7 Verifica torsione e taglio SLU

Si assume, cautelativamente, come sezione di verifica la sezione corrente e come sollecitazioni quelle d'appoggio (dedotte dal modello di calcolo).

V_E	kN	3149	taglio agente (SLU)
n_w	-	2	numero anime
b_w	m	0.16	spessore anime
d	m	2.34	altezza efficace
τ_V	MPa	4.21	tensione tangenziale di taglio, $V_E/(n_w b_w d)$

T_E	kNm	299	momento torcente agente (SLU)
Ω	m ²	3.23	area torsione
τ_T	MPa	0.29	tensione tangenziale di taglio, $T_E/(2\Omega b_w)$

N_p	kN	12322	sforzo normale di precompressione
A_{om}	m ²	2.15	area omogeneizzata (T_{o0})
σ_p	MPa	5.74	tensione di compressione media
τ	MPa	4.49	tensione tangenziale totale ($\tau_V + \tau_T$)

σ_I	MPa	-2.46	tensione principale di trazione
σ_{II}	MPa	8.20	tensione principale di compressione
$\tau / \sigma_I $	-	1.71	inclinazione della prima fessura (ctg θ_1)
ctg θ	-	2.50	inclinazione del puntone di calcestruzzo (< 2.5 e > ctg θ_1)

f_{yd}	MPa	391.3	resistenza di progetto armatura lente
$A_s/s_{\min V}$	mm ² /m	1528	staffe armatura minima a taglio
$A_s/s_{\min T}$	mm ² /m	47	staffe armatura minima a torsione
$\Sigma A/u_{\min T}$	mm ² /m	296	armatura longitudinale minima a torsione
V_{Rsd}	kN	3149	resistenza a taglio staffe ($0.9 d A_s/s f_{yd} \text{ctg } \theta$)
T_{Rsd}	kNm	299	resistenza a torsione staffe ($2\Omega A_s/s f_{yd} \text{ctg } \theta$)

f_{cd}	MPa	25.5	resistenza di progetto compressione cls
σ_p/f_{cd}	-	0.23	percentuale di compressione media
α_c	-	1.23	coefficiente maggiorativo per taglio
V_{Rcd}	kN	3630	resistenza a taglio puntone ($0.9 d n_w b_w \alpha_c 0.5 f_{cd} \text{ctg } \theta / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$)
T_{Rcd}	kNm	4544	resistenza a torsione puntone ($2 \Omega b_w 0.5 f_{cd} \text{ctg } \theta / (1 + \text{ctg}^2 \theta)$)
V_E/V_{Rcd}	-	0.87	verifica a taglio (≤ 1)
T_E/T_{Rcd}	-	0.07	verifica a torsione (≤ 1)
$V_E/V_R + T_E/T_R$	-	0.93	verifica a torsione e taglio (≤ 1)

L'armatura a taglio disposta nella sezione corrente è pari a 2Ø16/0.25m per anima, ed è maggiore dell'armatura minima richiesta.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo:	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 46 di 56

6 MODELLO TRASVERSALE A TELAIO

Ai fini della valutazione degli effetti locali prodotti nella soletta dell'impalcato dalle azioni permanenti e variabili è stato utilizzato un modello a telaio, riferito ad una striscia di larghezza pari a 1 m, riportato in allegato.

Sia nel modello che nelle verifiche gli elementi strutturali sono stati introdotti con le seguenti altezze:

- altezza elementi soletta superiore variabile da ~0.32 m a ~0.41 m
- altezza elementi anime 0.16 m
- altezza elementi soletta inferiore travi 0.265 m

6.1 Analisi dei carichi

6.1.1 Carichi permanenti

Si rimanda al § 5.1

6.1.2 Azioni variabili verticali

Per il modello trasversale a telaio si considera il treno di carico LM71 di cui al § 5.1

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

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

Nella seguente figura è indicata la distribuzione longitudinale dei carichi assiali Q_{vk} nell'ipotesi di ripartizione nel ballast 4:1 e nella soletta 1:1 ipotizzata, a favore di sicurezza, alta sempre 0.30 m.

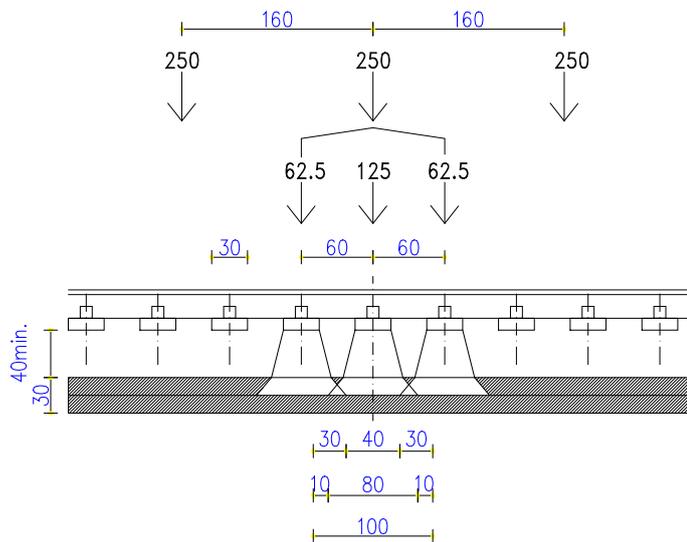


Figura 11 – Distribuzione longitudinale dei carichi Q_{vk}

Risulta il seguente carico complessivo agente su una striscia di soletta di lunghezza unitaria

$$Q_{vk} = 125 + 62.5 / 0.80 \times 0.30 \times 2 = 171.88 \text{ kN/m}$$

L'azione del carico Q_{vk} si distribuisce uniformemente nel senso trasversale, per il calcolo della soletta, su di una larghezza $b = 3.15$ metri ne deriva un carico verticale pari a:

$$Q_{vk} = 171.88 / 3.15 \times 1.1 = 60.02 \text{ kN/m}^2$$

applicato con una eccentricità $d = (4.50/2 + 0.06 + 0.08) = 2.89$ m rispetto alla mezzeria dell'impalcato con

- 4.50m interasse assi binario
- 0.06m deviazione in pianta per effetto della curvatura del tracciato e della pendenza del ballast
- 0.08 = $s/18$ eccentricità aggiuntiva treni tipo LM71

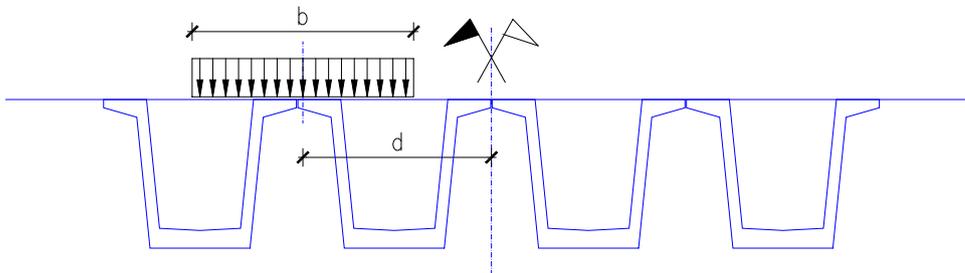


Figura 12 – Carico Q_{vk} applicato nel modello di calcolo

6.1.3 Carichi sui marciapiedi

I carichi accidentali sui marciapiedi sono schematizzati da un carico uniformemente ripartito del valore $q_{vk} = 10.0 \text{ kN/m}^2$. Viene applicato su una larghezza $b = 1.0 \text{ m}$.

Tale carico non è contemporaneo al transito dei convogli ferroviari e viene applicato sopra i marciapiedi in modo da dar luogo agli effetti locali più sfavorevoli.

6.1.4 Azioni variabili orizzontali

Centrifuga

Si considera il caso (b) del treno di carico LM71 (cfr. § 5.1):

$V = 300 \text{ km/h}$, da cui

$f = 0.469$

$q_{tk} = 3002 / (127 \cdot 3200) \cdot (0.469 \cdot q_{vk}) = (0.1039 \cdot 171.88) = 17.86 \text{ kN/m}$

distribuzione longitudinale delle azioni = 1.00 m

distribuzione trasversale delle azioni $b = 3.15 \text{ m}$

eccentricità rispetto alla mezzzeria $d = 2.89 \text{ m}$

$h = 0.88 + 0.30/2 + 0.105/2 + 1.79 = 2.87 \text{ m}$ (assumendo $0.105/2 \text{ m}$ il sovrizzo medio dei due binari e 1.79 m la proiezione nel piano verticale dell'altezza di applicazione della forza centrifuga = 1.80 m)

da cui:

$$M = 17.86 \times 2.87 = 51.26 \text{ kNm/m}$$

$$s = 51.26 / (3.152 / 6 \cdot 1.00) = 31.0 \text{ kN/m}^2$$

Serpeggio

$$q_{tk} = 100 \text{ kN}$$

distribuzione longitudinale delle azioni = 2.00 m

distribuzione trasversale delle azioni $b = 3.15 \text{ m}$

eccentricità rispetto alla mezzzeria $d = 2.89 \text{ m}$

$h = 0.88 + 0.30/2 + 0.105 = 1.135 \text{ m}$ (assumendo il sovrizzo del binario più alto = 0.105m)

da cui:

$$M = 100 \times 1.135 = 113.5 \text{ kNm}$$

$$s = 113.5 / (3.152 / 6 \times 2) = 34.3 \text{ kN/m}^2$$

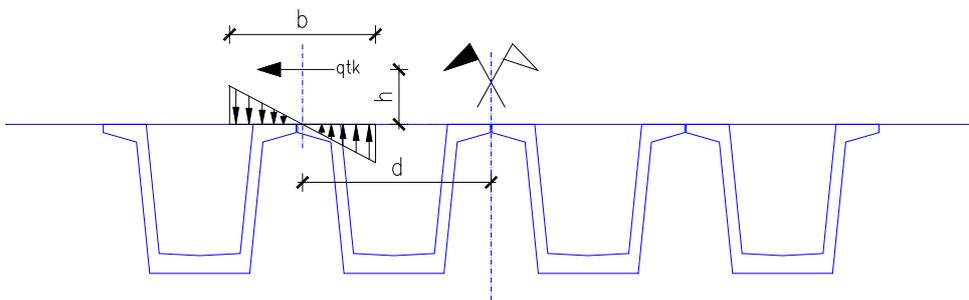


Figura 13 – Azione centrifuga e forza laterale indotta dal serpeggio applicate nel modello di calcolo

6.1.5 Azioni variabili ambientali

Temperatura

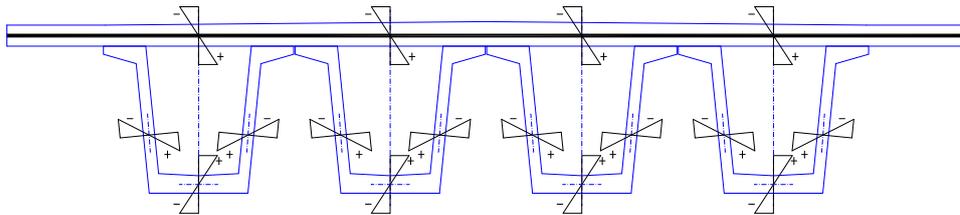


Figura 14 – Variazione termica applicata nel modello di calcolo

$$\Delta T = 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Vento

Vento su struttura scarica

Al fine di determinare la massima coppia agente si trascura la parte di veletta inferiore all'asse soletta. L'azione del vento risulta pertanto agente su un'altezza $h_1 = h + h_{\text{soletta}}/2 = 4.00 + 0.30/2 = 4.15 \text{ m}$.

La forza vento risulta pertanto:

$$F = 2.5 \text{ kN/m}^2 \times 4.15 \text{ m} = 10.38 \text{ kN/m}$$

$$M = 10.38 \times (4.15/2) = 21.54 \text{ kNm/m}$$

Vento su struttura carica

$$q_{\text{tk}} = 2.5 \text{ kN/m}^2 \times 4.00 \text{ m} = 10.0 \text{ kN/m}$$

distribuzione longitudinale delle azioni = 1.00 m

distribuzione trasversale delle azioni $b = 3.15 \text{ m}$

eccentricità rispetto alla mezzeria $d = 2.89 \text{ m}$

IN0D00DI2CLVI0007001B_00A.DOCX

$h = 0.88 + 0.30/2 + 0.105/2 + 3.98/2 = 3.07\text{m}$ (assumendo 0.105/2 m il sovrizzo medio dei due binari e 3.98 m la proiezione nel piano verticale dell'altezza del treno per l'applicazione del carico vento = 4.00 m)

da cui:

$$M = 10.00 \times 3.07 = 30.70 \text{ kNm/m}$$

$$s = 30.70 / (3.152 / 6 \times 1.00) = 18.56 \text{ kN/m}^2$$

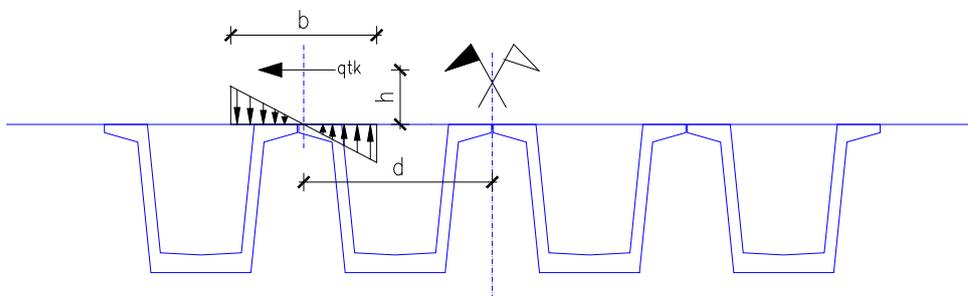


Figura 15 – Azione del vento su struttura carica applicata nel modello di calcolo

6.1.6 Azioni eccezionali

Deragliamento

Si rimanda al § 5.1

Le massime sollecitazioni flettenti e taglianti per entrambi i casi vengono determinate mediante carichi viaggianti.

6.1.7 Effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli ferroviari

In accordo al § 1.8.3.2 della [IFS 1], gli effetti aerodinamici associati al passaggio dei treni sono cumulati all'azione del vento. Il valore della risultante del vento e dell'azione aerodinamica è stato assunto pari a 2.5 kN/m^2 (§ 0).

6.1.8 Riepilogo delle azioni sul modello a telaio

Azione	Descrizione	Sigla nel modello di calcolo
1	Pesi propri	TRASV_01
2	Carichi permanenti portati	TRASV_02
3	Ballast	TRASV_03
4	DT=5°C	TRASV_04
5	Vento su struttura scarica	TRASV_05
6	Treno LM71	TRASV_06
7	Serpeggio	TRASV_07
8	Centrifuga	TRASV_08
9	Vento su struttura carica	TRASV_09
10	Carichi sui marciapiedi	TRASV_10
11	Deragliamenti Caso 1	TRASV_11
12	Deragliamenti Caso 2	TRASV_12

Nell'allegato, oltre alle caratteristiche geometriche e meccaniche sono riportati i valori delle azioni considerate nel modello di calcolo trasversale.

6.1.9 Combinazioni di carico

Per le combinazioni di carico, si rimanda al § 5.4.3

1Ø16/25 inf. (y=7.8cm)

$N_{SLU} = -39 \text{ kN}$ $M_{SLU} = 33 \text{ kNm /m}$

$N_{SLE} = -26 \text{ kN}$ $M_{SLE} = 22 \text{ kNm /m}$

Tipo	N [kN]	M [kNm]	C.S.	e ₁ +	s ₁ +	e ₂ -	s ₂ -	s ₁ +el	s ₁ -el	w _d
SLU	-39	33	2,41	2,3E-04	3,73	-9,1E-04	-188,3			
SLE	-26	22	3,13	1,7E-04	2,34	-6,2E-04	-127,8	0,89	-1,04	0,214

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	1° Sublotto: VERONA – MONTEBELLO VICENTINO	
	Titolo:	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag. 56 di 56

7 Verifiche di deformazione

7.1 Verifica deformazioni torsionali (sghembo)

L'abbassamento massimo delle travi 1 e 2 al transito di un LM71 (incluso α escluso Φ) è pari nella sezione a 3.0m dall'appoggio (da modello di calcolo) a:

$$\delta_1 = 0.836 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 0.945 \text{ mm}$$

Lo sghembo, amplificato dinamicamente, è pari a:

$$t \cong \Phi_3 \times [(\delta_2 - \delta_1) \times 3\text{m} / 2.48\text{m}] = 0.16 \text{ mm} / 3\text{m}$$

inferiore al valore limite 1.5 mm /3m pari a L/1400 ($V_{\max} > 200 \text{ km/h}$).

7.2 Verifica stato limite di confort

L'abbassamento massimo delle travi 1 e 2 al transito di un LM71 (incluso α escluso Φ) è pari nella sezione di mezzeria (da modello di calcolo) a:

$$\delta_1 = 3.0 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 2.58 \text{ mm}$$

Lo spostamento in asse al binario, amplificato dinamicamente, è pari a:

$$\begin{aligned} \delta &\cong \Phi_3 \times [\delta_2 + (\delta_1 - \delta_2) (2.25\text{m} - 1.24\text{m}) / (3.72\text{m} - 2.25\text{m})] = \\ &= 1.202 \times 2.87\text{mm} = 3.45 \text{ mm} \end{aligned}$$

inferiore al valore limite 16.3 mm pari a L/1400 ($V_{\max} = 300 \text{ km/h}$, $L \leq 25\text{m}$).