



Finanziato
dall'Unione europea
Next Generation EU



MIT
MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Comune
di Padova



APS Holding S.p.A.



Comune
di Vigonza



Comune
di Rubano

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Diego Galiazzo

NGEU PNRR M2C214.2 - MISSIONE 2 - COMPONENTE 2 - INVESTIMENTO 4.2 -
SVILUPPO TRASPORTO RAPIDO DI MASSA - REALIZZAZIONE DELLA LINEA
TRANVIARIA SIR 2

CIG B67BB4F3ED - CUP H94I19000130004

PERIZIA DI VARIANTE N°2

LOTTO EST - STRALCIO PONTE DI BRENTA

LOTTO OVEST - STRALCIO CENTRO

COMMITTENTE:

APS Holding S.p.A.

R.U.P.:

Dott. Ing. Diego GALIAZZO

IMPRESA APPALTATRICE:



REDATTO DA:



E-Farm engineering & consulting
35010 Peraga di Vigonza (PD) - via Germania, 7
Società con Sistema Qualità
Certificato secondo UNI EN ISO 9001:2008

A - ADEGUAMENTO PONTE SUL BRENTA

Relazione generale - Piattaforma Ponte sul fiume Brenta

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	AUTORIZZATO	ALL. N.
0	Luglio 2026	PRIMA EMISSIONE	EF	EF	EF	PW_2_PV_P_RE_099_0005
						Rif. Progetto Esecutivo:
						Rif. Progetto Costruttivo:
						DATA : LUGLIO 2026

NGEU PNRR M2C2I4.2 - MISSIONE 2 – COMPONENTE 2 – INVESTIMENTO
4.2 – SVILUPPO TRASPORTO RAPIDO DI MASSA - REALIZZAZIONE
DELLA LINEA TRAMVIARIA SIR 2

PONTE DI BRENTA - Padova

Ponte sul fiume Brenta:
valutazioni statiche per il passaggio del SIR2

Calcoli:



*Studio di ingegneria RS S.r.l.
Galleria Trieste 5 - 35121 Padova
Tel.: 049 8648626
email: ingrs@rsingegneria.com*

Padova, 28/04/2026

REVISION RECORD

N°	DATE	COMMENTS	R	V	A
00	28/04/2026	Emissione	AM		SS

SOMMARIO

1.	INTRODUZIONE	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	5
1.2	DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.	INDAGINI ESEGUITE	7
3.	VALUTAZIONE PRELIMINARE DELL'OPERA	9
3.1	STATO DI FATTO (NORMATIVA DELL'EPOCA)	9
3.2	CARICO DI PROGETTO (NORMATIVA NTC18).....	10
3.2.1	NTC18 CON TRE CORSIE VEICOLARI	10
3.2.2	NTC18 CON CORSIA RISERVATA AL TRAM	11
3.2.3	LINEE GUIDA 'CONDIZIONE DI TRANSITABILITÀ' CON CORSIA CENTRALE RISERVATA AL TRAM.....	13
4.	CONCLUSIONI	16
4.1.1	CONDIZIONE DI OPERATIVITÀ	16
5.	INTERVENTI DI PROGETTO PER IL PASSAGGIO TRAMVIARIO	17
5.1	INTERVENTO DI PROGETTO.....	17
5.1.1	SCHEMA STATICO DEI GIUNTI	17
5.2	INTERVENTO DI RINFORZO	18

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il ponte presenta tre campate di calcestruzzo armato. Quella intermedia ha, al centro, una campata tampone su selle Gerber.

Le luci sono le seguenti:

- prima campata (spalla-pila): 28 m
- Seconda campata (pila - pila): 24 m, in cui si colloca la campata 'tampone' di luce 10 m circa.
- Terza campata (pila-spalla, simmetrica della prima): 28 m.

Nell'immagine seguente si riporta il modello 3D della struttura realizzato con elaborazioni di immagini:



Fig.2 Modello 3D della struttura: campata centrale (rif. doc. "PROGETTO DEFINITIVO - VERIFICA PONTI- PW_0_D_R_PO_099_0875_30")

La larghezza della carreggiata è 10 m. La campata centrale è costituita da 5 travi poste ad interasse di 3 m. Da entrambi i lati della carreggiata è presente un marciapiede di larghezza 3 m. La larghezza complessiva è 16 m.

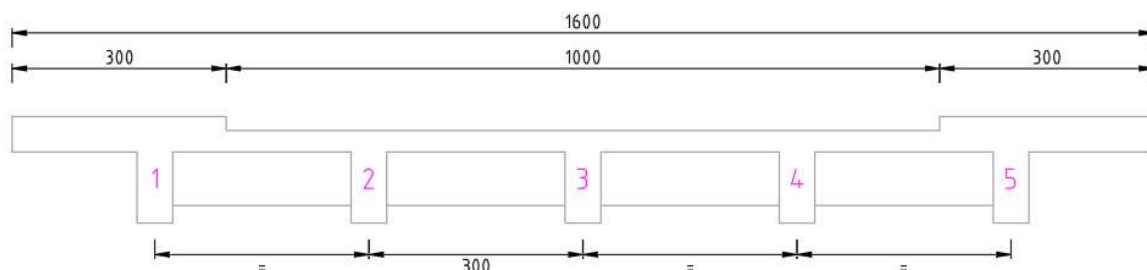


Fig.3 Sezione trasversale di calcolo dell'impalcato (trave tampone)

La campata 'tampone' ha uno schema statico riconducibile a quello di una trave in semplice appoggio con luce di circa 10 m (da verificare in opera).

Stante la tipologia strutturale si ritiene che la progettazione e la costruzione dell'opera risalgano agli anni 60. Attualmente il ponte è aperto al traffico di tipo stradale, senza limitazioni.

Per ulteriori informazioni si rimanda alla relazione dell'ing. Pipinato che ha eseguito le analisi di livello 0, 1 e 2 previste nelle linee guida per la classificazione dei ponti esistenti.

1.2 DOCUMENTI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Normativa

- [1] DM 17 GENNAIO 2018. AGGIORNAMENTO DELLE «NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI, MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI, GU 20 FEBBRAIO 2018.

- [2] CIRCOLARE N. 7/C.S.LL.PP. DEL 21 GENNAIO 2019 – “ISTRUZIONI PER L’APPLICAZIONE DELLE ‘NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI’ DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018”.
- [3] LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE E GESTIONE DEL RISCHIO, LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA ED IL MONITORAGGIO DEI PONTI ESISTENTI, DECRETO MINISTERIALE NUMERO 204 DEL 1 LUGLIO 2022

Documenti

- [1] Progettazione stradale - Plan A
- [2] PROGETTAZIONE STRADALE - PLAN B
- [3] PROGETTAZIONE STRADALE - PLAN C
- [4] PROGETTO DEFINITIVO – VERIFICA PONTI- PW_0_D_R_PO_099_0875_30
- [5] INDAGINI ING. PIPINATO - 007_2022_002_PONTE 009

2. INDAGINI ESEGUITE

Si fa riferimento al documento “007_2022_002_PONTE 009” redatto dall'ing. Pipinato che riporta i risultati delle ispezioni. Da un punto di vista statico nelle relazioni non si segnalano situazioni critiche.

Nel documento citato emerge uno stato di degrado diffuso che richiede interventi di manutenzione straordinaria. Le anomalie riscontrate sono riconducibili a fenomeni di degrado con ossidazione delle armature e distacchi di copriferro.



Fig.4 Espulsione del copriferro e armature in vista campata centrale



Fig.5 Stato delle travi e della soletta campata centrale

3. VALUTAZIONE STRUTTURALE PRELIMINARE

Con riferimento alla capata tampone si ripercorre l'approccio seguito nel "Progetto definitivo – verifica ponti – PW_0_D_R_PO_099_0875_30", riportando i risultati del confronto tra le sollecitazioni sulle travi calcolate con la normativa dell'epoca di costruzione e i corrispondenti valori determinati secondo le normative vigenti (approccio di livello III secondo linee guida).

Il confronto è limitato alle sollecitazioni flessionali e taglianti e con contempla, quindi, gli effetti dovuti al degrado del materiale e alle incertezze conoscitive (livello di conoscenza). Si tratta, quindi, di un giudizio preliminare che dovrà trovare i necessari riscontri e approfondimenti passando alle verifiche accurate di livello IV, così come previsto anche nelle linee guida.

Nel confronto si introduce anche il nuovo scenario con corsie stradali e linee tramviarie (riservata e promiscua). Con lo stesso approccio si valutano anche le condizioni di Operatività e Transitabilità, secondo quanto definito nelle Linee Guida dei ponti esistenti.

Infine, vengono determinati i coefficienti ζ definiti come il rapporto tra il parametro di sollecitazione calcolato secondo la normativa attuale e lo stesso parametro calcolato con le normative dell'epoca.

3.1 STATO DI FATTO (NORMATIVA DELL'EPOCA)

I carichi sono valutati secondo il D.M 1962 considerando lo schema statico 1-2 e 6 dalla circolare n°384 del 14/02/1962. Si considerano i carichi dipendenti dalla luce della trave con la tabella seguente ammettendo, per le luci intermedie, l'interpolazione lineare dei valori tabellati.

CARICHI RIPARTITI EQUIVALENTI											
Luce m	Carichi flessionali p_1 in t/ml					Luce m	Carichi taglianti p_2 in t/ml				
	Carichi civili		Carichi militari				Carichi civili		Carichi militari		
	Schema 1	Schema 2	Schema 4	Schema 5	Schema 6		Schema 1	Schema 2	Schema 4	Schema 5	Schema 6
1	16,000	24,000	28,000	10,667	38,000	1	16,000	24,000	28,000	12,160	36,000
1,5	10,667	16,000	18,667	9,027	25,333	1,5	10,667	16,000	24,640	10,287	31,680
2	8,000	12,000	15,541	8,188	19,981	2	8,000	12,000	20,860	9,787	26,820
2,5	6,400	9,600	14,193	7,285	18,248	2,5	6,400	9,600	17,830	9,114	22,920
3	5,333	8,000	12,859	7,329	16,534	3	5,333	8,000	15,493	8,770	19,295
3,5	4,571	6,857	11,677	7,561	15,013	3,5	4,898	7,347	13,669	8,620	17,574
4	4,000	6,000	10,658	7,455	13,703	4	4,500	6,750	12,215	8,400	15,705
4,5	3,556	5,333	9,784	7,252	12,579	4,5	4,148	6,222	11,034	8,217	14,187
5	3,200	4,800	9,032	7,143	11,612	5	3,840	5,760	10,058	7,936	12,931
5,5	2,921	4,382	8,381	6,954	10,776	5,5	3,570	5,355	9,497	7,617	12,229
6	2,778	4,167	7,814	6,727	10,047	6	3,333	5,000	9,147	7,289	11,803
6,5	2,651	3,965	7,316	6,486	9,407	6,5	3,314	4,686	8,788	6,968	11,359
7	2,612	3,778	6,877	6,243	8,842	7	3,265	4,408	8,434	6,661	10,917
7,5	2,560	3,603	6,486	6,005	8,339	7,5	3,200	4,160	8,094	6,372	10,487
8	2,500	3,445	6,136	5,776	7,889	8	2,125	3,938	7,770	6,133	10,077
8,5	2,436	3,297	5,990	5,559	7,728	8,5	3,045	3,737	7,464	5,950	9,687
9	2,370	3,160	5,854	5,352	7,561	9	2,963	3,550	7,258	5,813	9,401
9,5	2,305	3,034	5,713	5,157	7,387	9,5	2,925	3,391	7,057	5,717	9,125
10	2,240	2,916	5,599	4,974	7,209	10	2,880	3,240	6,877	5,639	8,873
11	2,128	2,705	5,411	4,639	6,857	11	2,777	2,975	6,609	5,554	8,474
12	2,111	2,521	5,206	4,342	6,518	12	2,667	2,750	6,331	5,511	8,079
13	2,083	2,360	4,997	4,231	6,200	13	2,651	2,556	6,057	5,453	7,700
14	2,122	2,217	4,793	4,137	5,933	14	2,612	2,388	5,809	5,355	7,358
15	2,133	2,091	4,597	4,110	5,710	15	2,560	2,240	5,607	5,234	7,072
16	2,125	1,978	4,420	4,106	5,521	16	2,531	2,109	5,408	5,117	6,798
17	2,104	1,876	4,340	4,120	5,357	17	2,491	1,993	5,216	5,032	6,537
18	2,086	1,784	4,291	4,136	5,195	18	2,444	1,889	5,098	4,982	6,291
19	2,083	1,701	4,230	4,204	5,038	19	2,438	1,795	5,051	4,958	6,059
20	2,080	1,625	4,159	4,253	4,885	20	2,420	1,710	5,006	4,944	5,840
21	2,058	1,555	4,113	4,293	4,739	21	2,395	1,633	4,947	4,920	5,635
22	2,050	1,491	4,050	4,308	4,599	22	2,380	1,562	4,877	4,879	5,443

Fig.6 Tabella circolare n°384 del 14/02/1962 per carichi ripartiti

La luce di calcolo è 12.5 m quindi i carichi assunti sono:

- Carico militare (schema 6): $q_m=6359 \text{ kg/m}$
- Colonna indefinita di autocarri da 12 ton (schema 1): $q_c=2097 \text{ kg/m}$

Il coefficiente dinamico, da decreto, è pari a:

$$\phi=1+(100-L)^2 / (100 \times (250-L)) = 1.32$$

Sul marciapiede si considera la folla compatta, pari a 4 kN/m^2 .

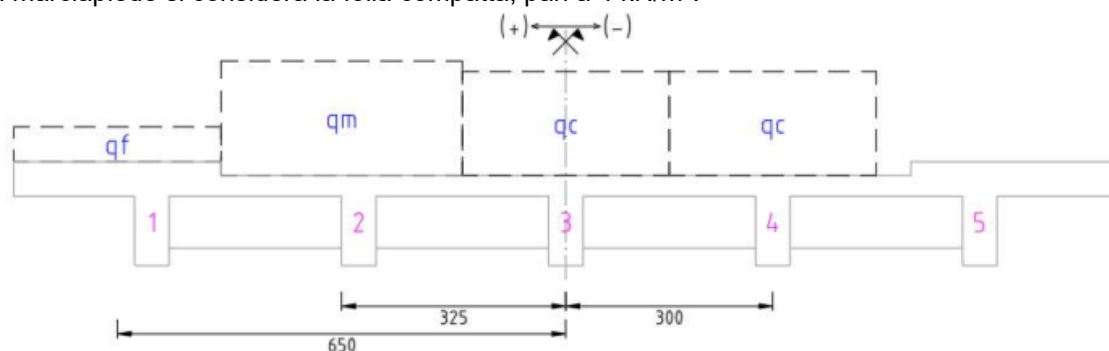


Fig.7 Carichi sezione trasversale del ponte

Si calcola il momento in mezzera della trave numero 1. Per calcolare il carico agente nella trave si utilizza il metodo di Courbon:

$$\eta_1 = 1/n + (e \times y_1) / (\sum y_i^2) = 1/5 + (1.5 \times -6.50) / 97.81 = 0.30$$

$$q_1 = P_{tot} \times \eta_1 \times \phi = 148 \times 0.30 \times 1.32 = 58 \text{ kN/m}$$

Il momento in mezzera della trave numero 1 è pari a:

$$M = 58 \text{ kN/m} \times 12.5^2 / 8 = 1133 \text{ kNm}$$

Dove 58 kN/m è il carico uniformemente distribuito nella trave numero 1 calcolata con il metodo di Courbon.

3.2 CARICO DI PROGETTO (NORMATIVA NTC18)

3.2.1 NTC18 CON TRE CORSIE VEICOLARI

Si calcola il momento flettente massimo in mezzera della trave di bordo con la normativa vigente (NTC2018):

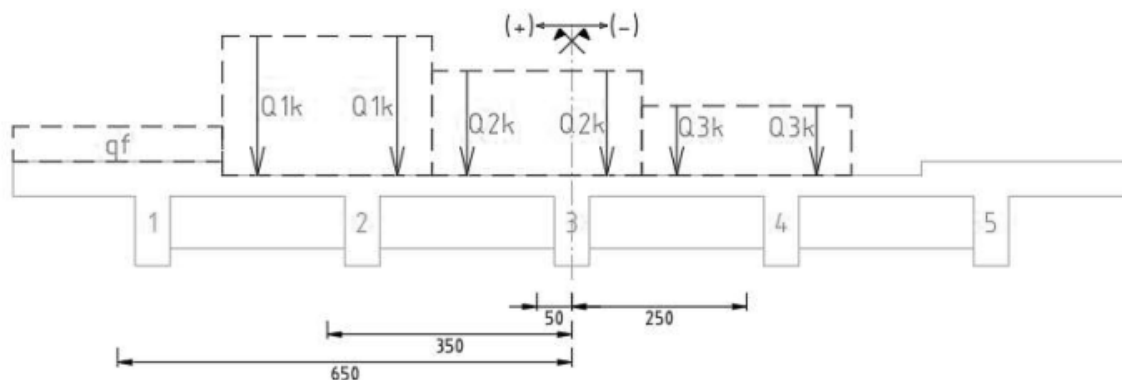
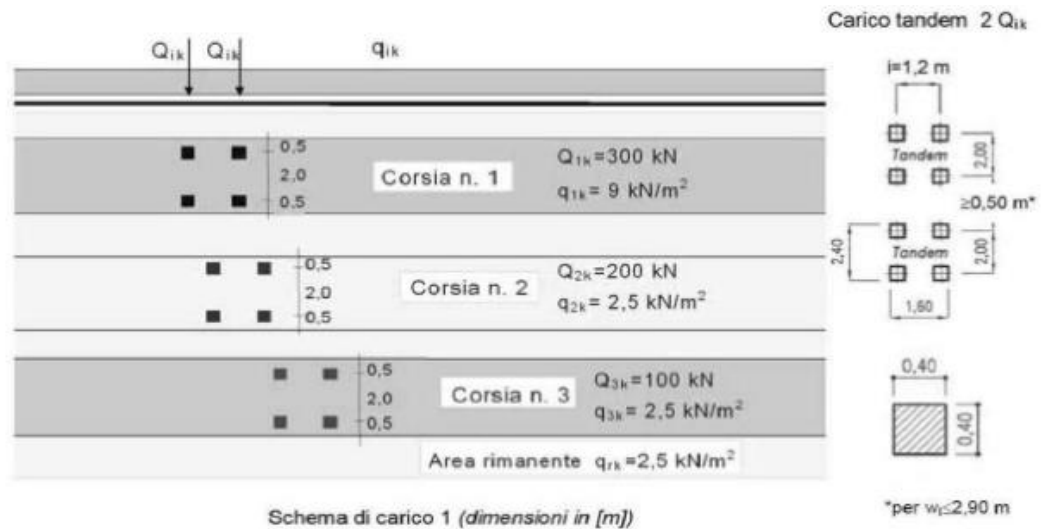


Fig.8 Sezione trasversale con carichi applicati

Come richiesto nelle NTC si prevedono tre carichi tandem per le tre corsie suddivisi come indicato nello schema seguente:

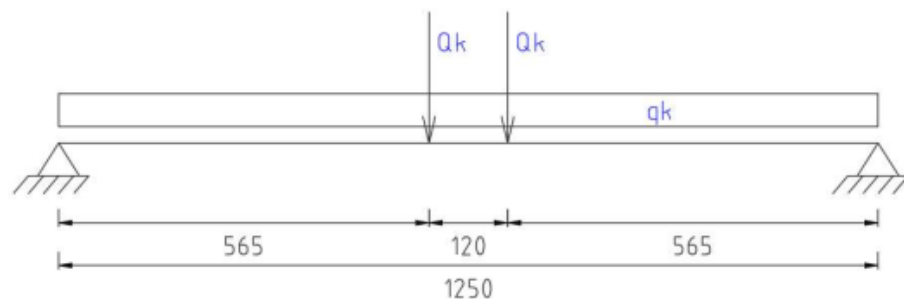


Per i marciapiedi si considera lo schema di carico 5 costituito dalla folla compatta con carico di 5 kN/m².

Con il metodo di Courbon si ricavano i carichi agenti sulla trave di bordo (trave 1):

$$Q_k = 180 \text{ kN}$$
$$q_k = 23 \text{ kN/m}$$

Tali carichi sono applicati secondo lo schema seguente per massimizzare il momento in mezz'ora



Il momento in mezzeria è quindi:

$$M_{NTC} = 180 \text{ kN} \times 5.65 \text{ m} + 23 \text{ kN/m} \times 12.5^2 \text{ m} / 8 = 1466 \text{ kNm}$$

Si confronta tale valore con il momento calcolato con la normativa del 1962: risulta un valore di $\zeta=0.77$.

3.2.2 NTC18 CON CORSIA RISERVATA AL TRAM

Nella corsia centrale del ponte è prevista la sola corsa dei veicoli tramviari che sono costituiti da 4 casse (quindi 5 assi complessivi):

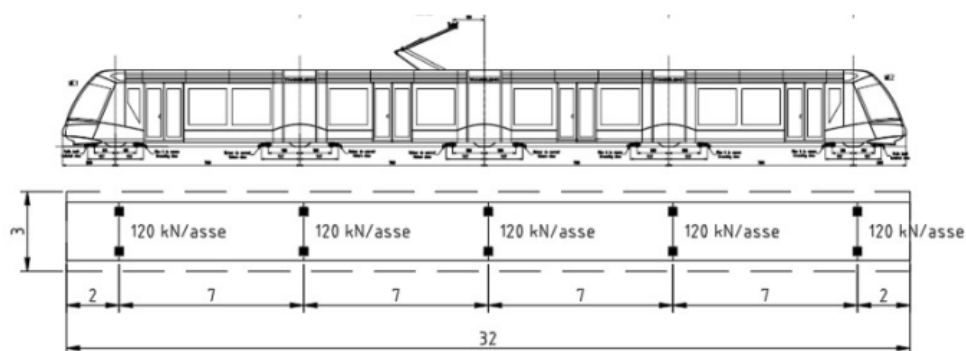


Fig.9 Tram tipo

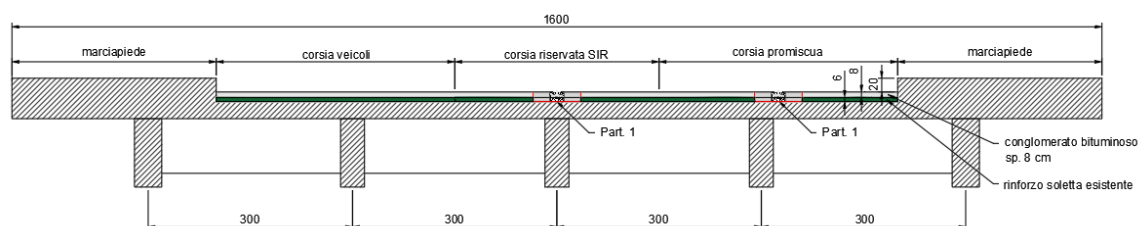


Fig.10 Sezione trasversale del ponte con interventi tramviari in rosso e rinforzo soletta in verde

L'interasse longitudinale degli assi è di 7 m, per la lunghezza complessiva di 32 m. Larghezza complessiva di 2.20 m.

Nelle altre corsie laterali si considerano i carichi NTC come indicato nella figura che segue. Per massimizzare le sollecitazioni sulla trave di bordo 1, la distribuzione trasversale dei sovraccarichi è la seguente:

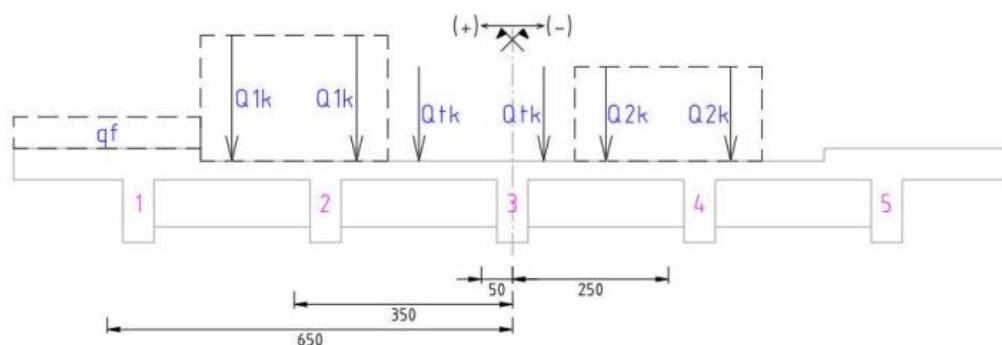


Fig.11 Distribuzione sovraccarichi sezione trasversale

dove:

$$Q_{k1} = 300 \text{ kN}$$

$$Q_{tk} = 120 \text{ kN (carico derivante dal tram)}$$

$$Q_{2k} = 200 \text{ kN}$$

Con il metodo di Courbon si ricavano i carichi agenti sulla trave di bordo (trave 1):

$$Q_k = 137 \text{ kN}$$

$$q_k = 21 \text{ kN/m}$$

Tali carichi sono applicati secondo lo schema seguente, con la distribuzione che massimizza il momento in mezzeria

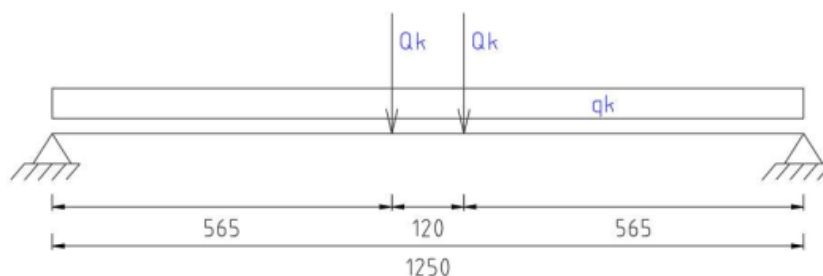


Fig. 12 Applicazione carichi stradali per massimizzare momento flettente in mezzeria

Si aggiunge il carico concentrato dato dal tram con il seguente schema statico per massimizzare il momento massimo in mezzeria:

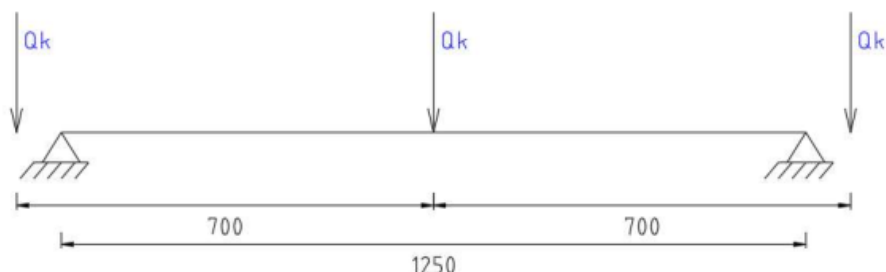


Fig. 13 Applicazione carico tramvia per massimizzare momento flettente in mezzeria

Il momento in mezzeria è pari a:

$$M_{\text{TRAMVIA}} = 137 \text{ kN} \times 5.65 \text{ m} + 21 \text{ kN/m} \times 12.5^2 \text{ m} / 8 + 28 \text{ kN} \times 12.5 \text{ m} / 4 = 1272 \text{ kNm}$$

Si confronta tale valore con il momento calcolato con la normativa del 1962 e risulta un valore di ζ di 0.89.

3.2.3 LINEE GUIDA IN 'CONDIZIONE DI TRANSITABILITÀ' CON CORSIA CENTRALE RISERVATA AL TRAM

Con riferimento al paragrafo 6.3.3.2 delle LL.G. sui ponti esistenti, si verifica il ponte con il livello di verifica di 'TRANSITABILITÀ' considerando, oltre il carico della tramvia, anche il carico di un autoarticolato da 44 t a 5 assi. Lo schema statico del carico, sulla trave, è il seguente:

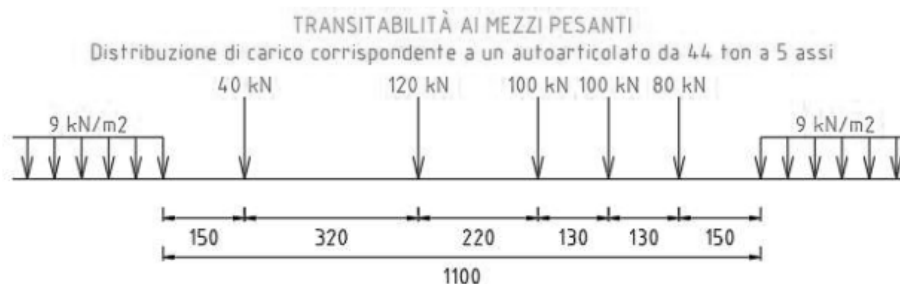


Fig. 14 Applicazioni carichi dell'autoarticolato da 44 tonnellate con 5 assi

Schema di carico trasversale:

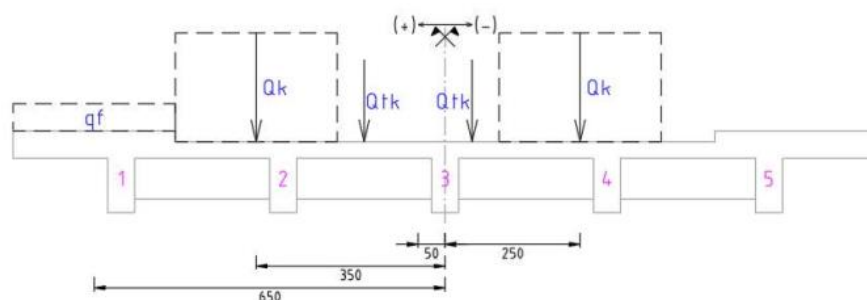


Fig.15 Colonne di carico 'transitabilità + tram'

Si sommano, quindi, i momenti derivanti dal solo passaggio del tram più folla e del carico di un autoarticolato di 44 tonnellate.

Con il metodo di Courbon si ricavano i carichi agenti sulla trave di bordo (trave 1):

$$Q_k = 28 \text{ kN}$$

$$q_k = 12.6 \text{ kN/m}$$

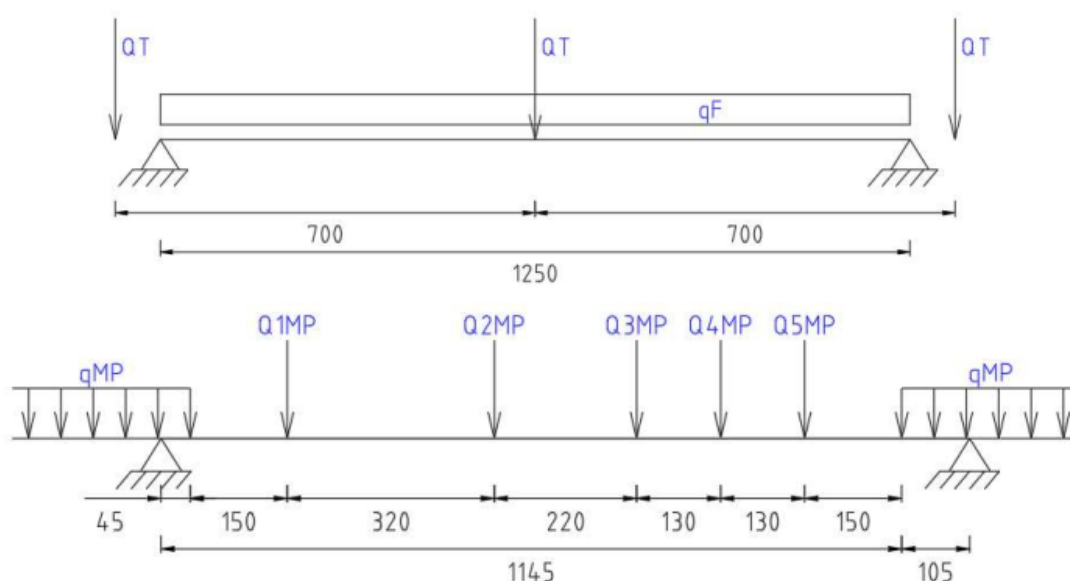


Fig.16 Applicazione dei carichi per massimizzare il momento flettente in mezzzeria: carico del tram (sopra) e carico dell'autoarticolato (sotto).

Il momento in mezzzeria derivante dalla tramvia e della folla è:

$$M = 28 \text{ kN} \times 12.5 \text{ m} / 4 + 12.6 \text{ kN/m} \times 12.5^2 / 8 = 334 \text{ kNm}$$

A questo carico va sommato il momento massimo dovuto allo schema di Transitabilità che, per la trave di bordo n.1, risulta di 442 kNm. Si considera anche il coefficiente di incremento dinamico fornito dal D.M. 4 maggio 1990:

$$\phi = 1.4 - (L-10)/150 = 1.38$$

Quindi il momento massimo vale:

$$M_{\max(MP)} = 334 \text{ kNm} + 1.38 \times 442 \text{ kNm} = 944 \text{ kNm}$$

Si confronta tale valore con il memento calcolato con la normativa del 1962 e risulta un valore di ζ di 1.20.

4. CONCLUSIONI

Si riportano i valori del coefficiente ζ :

NTC18: $\zeta = 0.77 < 1$

NTC18 + corsia Tram: $\zeta = 0.89 < 1$

Transitabilità + corsia Tram: $\zeta = 1.20$

Con lo scenario di 'transitabilità' le travi hanno sollecitazioni inferiori rispetto a quelli del progetto originale. In tutti i casi si deve procedere con indagini e analisi secondo quanto previsto per il livello IV delle linee guida.

4.1.1 CONDIZIONE DI OPERATIVITÀ

Pur non avendo svolto le verifiche accurate di livello IV, comunque necessarie, si ritiene verosimile che si possa assumere uno scenario di 'operatività', meno restrittivo di quello di 'transitabilità'.

Il passaggio alla condizione di operatività consente infatti una riduzione dei coefficienti di combinazione SLU da 1.35 a 1.26 per i carichi permanenti e da 1.35 a 1.20 per le azioni da traffico.

Per il materiale i coefficienti di sicurezza possono essere ridotti da 1.5 a 1.26 per il calcestruzzo e da 1.15 a 1.10 per l'armatura.

Queste valutazioni prescindono dal livello di degrado dei materiali che dovrà comunque essere stabilito con indagini approfondite e di cui si dovrà necessariamente tener conto nelle verifiche di livello IV.

5. INTERVENTI DI PROGETTO PER IL PASSAGGIO TRAMVIARIO

Come dimostrato nei paragrafi precedenti l'introduzione di una corsia dedicata al tram riduce le sollecitazioni sulle travi. Il passaggio del SIR2, con corsia centrale riservata al tram, si prefigura quindi come migliorativo per la sicurezza.

5.1 INTERVENTO DI PROGETTO

Il progetto della nuova linea SIR2 prevede il passaggio sul ponte di una corsia aperta al traffico stradale sul lato nord, una corsia riservata al passaggio del tram al centro dell'impalcato (interdetta al passaggio di mezzi pesanti) e una corsia promiscua sul lato sud dell'impalcato. I due marciapiedi restano geometricamente inalterati, a meno del passaggio dei nuovi impianti.

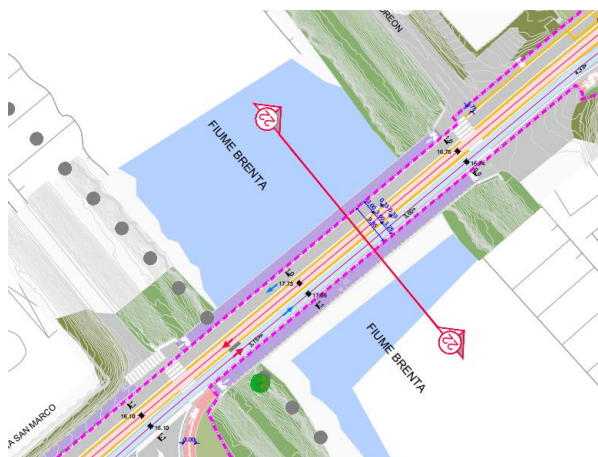


Fig.17 Planimetria generale passaggio rete tramviaria SIR2

Per il passaggio della rete tramviaria è prevista la rimozione del pacchetto di pavimentazione e la realizzazione di due nuovi cordoli di calcestruzzo 25x14 cm. Le solette, realizzate con calcestruzzo di classe XC4-XD3-XF4 C35/40, sono collegate all'impalcato del ponte con forcelle con ancoraggi chimici disposti a interasse di 20 cm. Lo spessore dei nuovi cordoli è circa 14 cm. Vedasi immagine che segue.

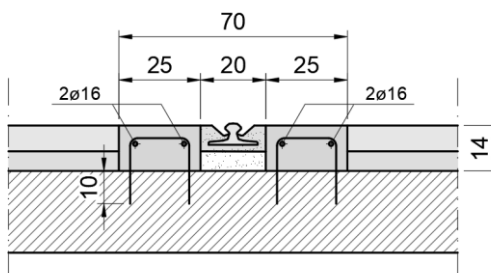


Fig.18 Particolare corsia tramviaria

5.1.1 SCHEMA STATICO DEI GIUNTI

Non si apportano modifiche allo schema strutturale originale.

5.2 INTERVENTO DI RINFORZO

In via cautelativa si prevede l'integrazione dell'armatura della soletta esistente con una nuova cappa di calcestruzzo armato di spessore 6 cm.

In particolare, si prevede la posa di un'armatura aggiuntiva integrativa costituita da $\varnothing 12$ maglia 20x20 cm.

In corrispondenza delle travi principali e nella campata si prevedono nuovi ganci come indicato negli schemi che seguono.

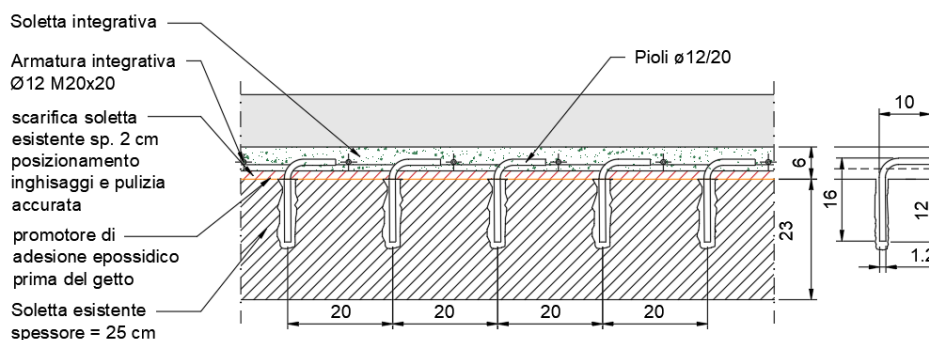


Fig. 19 Rinforzo soletta a livello delle travi

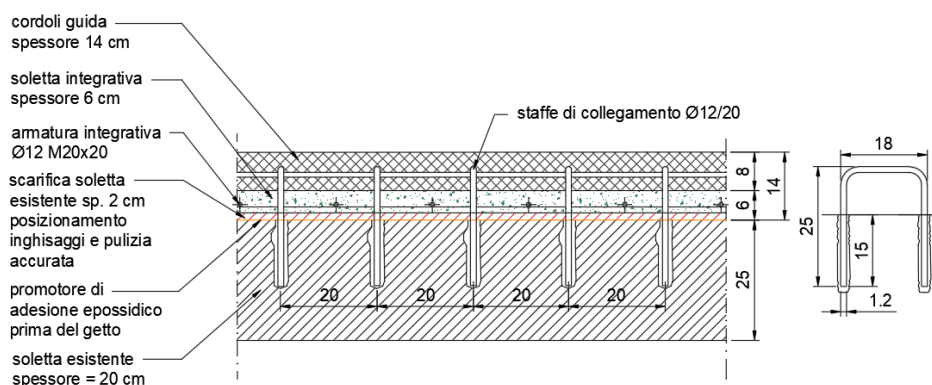


Fig. 20 Sezione longitudinale sul cordolo rotaia