

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.

CUP: J14H20000440001

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA

LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

RELAZIONE DI CALCOLO E DI VERIFICA FUNZIONALITA' OPERE ESISTENTI
Sottovia km 145+425 – Via Albere Nord

SCALA:

-

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

I N 1 0 1 0 D 2 6 C L S L 0 3 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P. Cucino	Sett. 2021	M. Rigo	Sett. 2021	C. Mazzocchi	Sett. 2021	A. Perego Sett. 2021



File: IN1010D26CLSL03003A.doc

INDICE

1	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	3
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2	PREMESSA	4
3	DESCRIZIONE DELL'OPERA	6
4	CARATTERISTICHE MATERIALI	9
4.1	CALCESTRUZZO	9
4.2	MATERIALE LAPIDEO	9
4.3	ACCIAIO	10
5	ANALISI DEI CARICHI	11
5.1	G00: PESO PROPRIO	11
5.2	G01: SOVRACCARICO PERMANENTE	11
5.3	G02: BALLAST E ARMAMENTO	12
5.4	Q00: CARICO FERROVIARIO	13
5.5	Q01: AZIONE TERMICA	15
5.6	AZIONE SISMICA	15
6	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	16
7	CONCLUSIONI	17

1 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

1.1 Normativa di riferimento

La valutazione dell'opera in oggetto è stata realizzata in accordo con le prescrizioni di seguito elencate è conformi alle normative vigenti:

- ✓ Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni»
- ✓ Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 11 febbraio 2019, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»
- ✓ Manuale di progettazione RFI Opere Civili RFI DTC SIM AI FS 001 E e relative parti e sezioni.
- ✓ Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture.
- ✓ 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
- ✓ UNI EN 1998-1:2013 – Strutture in zone sismiche – parte 1: generale ed edifici.
- ✓ UNI EN 1998-2:2011 – Strutture in zone sismiche –parte 2: ponti.
- ✓ UNI EN 1992-1-1: EUROCODICE 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

2 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la valutazione strutturale del sottovia ferroviario, situato in corrispondenza del km 145+425 della linea ferroviaria Milano-Venezia del comune di Verona.

L'intervento prevede la realizzazione delle nuove linee, prevalentemente in affiancamento al sedime dell'attuale Linea Storica Milano-Venezia, nel tratto compreso tra l'intersezione con l'Autostrada del Brennero A22 e la radice est della Stazione Ferroviaria di Verona Porta Nuova, per una estensione di circa 10km. Tali interventi sono funzionali al progetto di linea della Tratta Brescia Est – Verona.

Il progetto prevede la rilocazione della Linea Storica leggermente più a nord al fine di lasciare spazio all'inserimento dei binari della Linea AV/AC. Viene anche prevista la realizzazione di una ulteriore linea denominata "indipendente merci" per il collegamento con la Linea Brennero.

Sono previsti interventi di potenziamento e riconfigurazione della stazione di Verona Porta Nuova e realizzazione di una nuova Sottostazione Elettrica con conseguenti interventi tecnologici per la gestione delle modifiche.

Il progetto comprende tutte le opere atte a consentire l'allaccio e l'interfaccia con le linee storiche esistenti e la risoluzione delle interferenze tra la parte di progetto stesso e l'esistente (viabilità, idrografia, ecc).



Figura 1 – Inquadramento dell' area di progetto

Sottovia km 145+425 – Via Albere Nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D 26 CL	SL 0300 003	A	5 di 17



Figura 2 – Inquadramento dell'area interessata dall'opera



Figura 3 – Opera in oggetto – Sottovia km 145+425

Sottovia km 145+425 – Via Albere Nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D 26 CL	SL 0300 003	A	6 di 17

3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'opera oggetto della presente relazione è un sottovia ferroviario realizzato con ponte ad arco in calcestruzzo con spalle in lapideo. Dove, l'estradosso dell'opera è sede del traffico veicolare derivante dalla linea ferroviaria Milano -Venezia e della linea Bologna - Verona, sovrastante la sede stradale di via Albere della periferia di Verona.

La lunghezza del sottovia ferroviario è pari a 43.87m per una luce di circa 10.00m. L'arco in calcestruzzo è caratterizzato da un raggio di 3.70m, una corda di 3.50m e una freccia pari a 2.50m. Lo spessore della volta in calcestruzzo è variabile tra 0.65m (lato nord) e 0.80m (lato sud). L'altezza interna netta tra la sede stradale di via Albere e l'intradosso dell'arco in calcestruzzo è di circa 5.88m.

Di seguito vengono riportate alcuni disegni illustrativi dell'opera presa in oggetto per l'analisi.

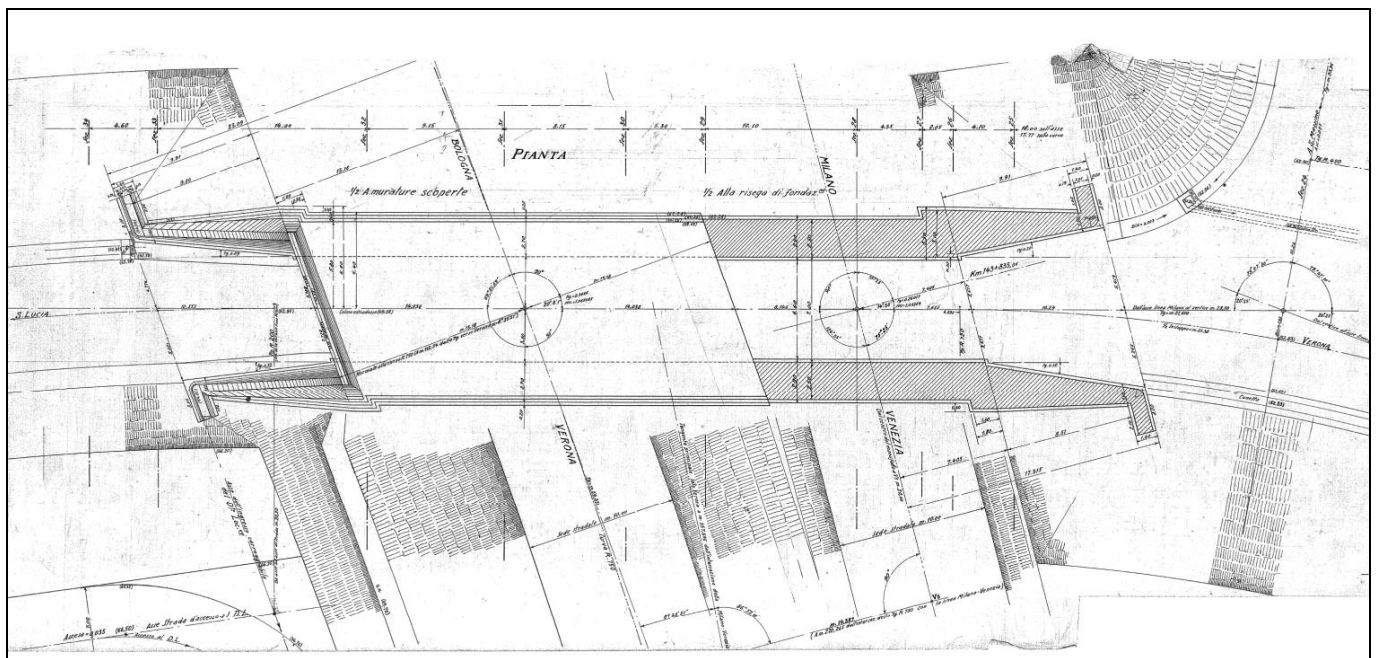


Figura 4 – Planimetria sottovia ferroviario km 145+425

Sottovia km 145+425 – Via Albere Nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D 26 CL	SL 0300 003	A	7 di 17

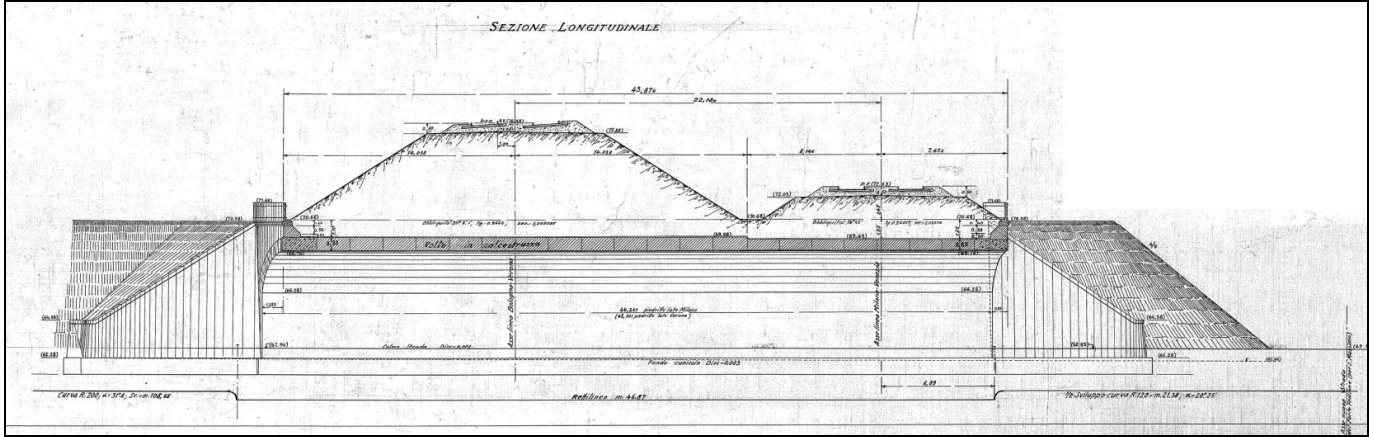


Figura 5 – Sezione longitudinale del sottovia ferroviario km 145+425

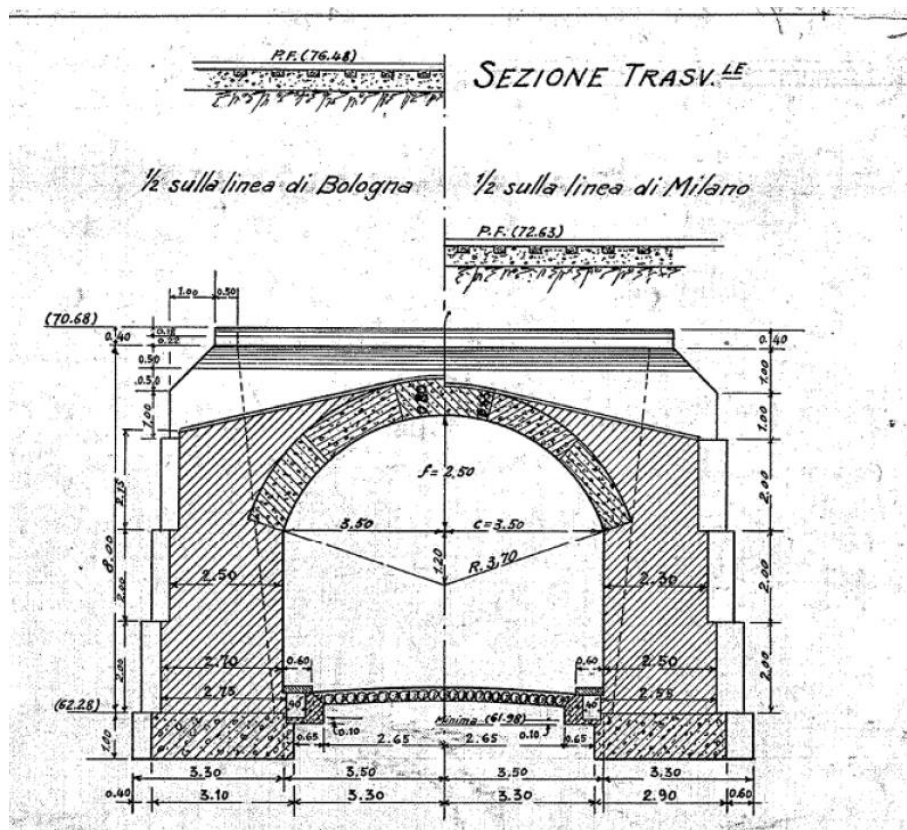


Figura 6 – Sezione trasversale del sottovia ferroviario km 145+425

Sottovia km 145+425 – Via Albere Nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D 26 CL	SL 0300 003	A	8 di 17

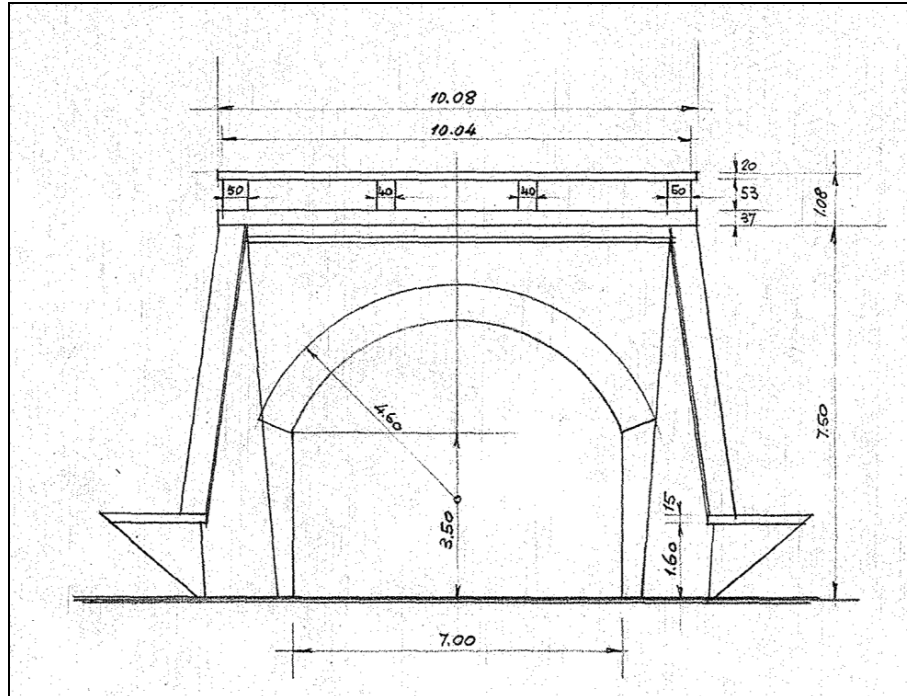


Figura 7 – Prospetto a valle del sottovia ferroviario km 145+425

4 CARATTERISTICHE MATERIALI

Dai documenti a disposizione, “Relazione Tecnica sulle indagini geognostiche” - TR2847-SD-OA00-PT0-B03 (RFIDTCICIPOSC0817), “Relazione risultanze delle indagini alle strutture” - TR2847-SD-OA00-PT0-B03 (RFIDTCICIPOSC0817), si sono estrapolate tutte le informazioni possibili per poter effettuare la valutazione dell’opera presa in oggetto.

4.1 Calcestruzzo

Dai documenti a disposizione si può risalire alla classe di calcestruzzo utilizzata per la realizzazione del ponte ad arco, grazie ai risultati ottenuti dalle prove di laboratorio dei microcarotaggi, come descritto nella relazione di indagini TR2847-SD-OA00-PT0-B03 e riportato qui di seguito.

PROVA DI COMPRESIONE SU PROVINI DI CALCESTRUZZO										
Parte d'opera	ID	Dimensioni Provino			massa [g]	volume [mm ³]	Massa volumica [kg/mc]	Carico di Rottura [kN]	f _{ck} [MPa]	penetrazione CO ₂ [mm]
		Diametro [mm]	Lunghezza [mm]	λ = L / D						
Rene dell'arco	CC1	104	205	1,97	4135	1741447,64	2374	133,2	15,7	12
Rene dell'arco	CC2	104	202	1,94	4170	1715963,04	2430	284,0	33,4	19
Rene dell'arco	CC3	104	206	1,98	4205	1749942,51	2403	271,4	31,9	17

4.2 Materiale lapideo

Dai documenti a disposizione si può risalire alle caratteristiche del materiale lapideo grazie alle prove con martinetti piatti realizzate e descritte nel report di indagini TR2847-SD-OA00-PT0-B03 e come riportato qui di seguito.

MP1 - ID5 - MARTINETTO PIATTO DOPPIO - ASTM C 1197												
illesimale (lunghezza iniziale 250mm)												
O1	εV1	εV2	εV3	media εV	ηO1	Poisson	E tangente	E secante	Modulo di elasticità E	poisson	Modulo di elasticità tangenziale G	
[mm/1000]	[micron/m]	[micron/m]	[micron/m]	[micron/m]	[micron/m]	ηO1/media εV	Mpa	Mpa	Mpa		Mpa	
0	0	0	0	0	0	\	\	\	5770	0,29	2235	
-9	160	140	92	131	-36	0,28	6199	161				
-37	648	676	376	567	-148	0,34	6395	159				
-30	504	480	272	419	-120	0,29	5424	167				
-37	648	676	376	567	-148	0,26	5063	175				
-30	504	480	272	419	-120	\	\	\				
-23	316	324	200	280	-92	\	\	\				
-11	176	160	116	151	-44	\	\	\				
-2	36	28	20	28	-8	\	\	\				



LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA
LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA
NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

Sottovia km 145+425 – Via Albere Nord

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D 26 CL	SL 0300 003	A	10 di 17

4.3 Acciaio

Dai documenti a disposizione, non è stata rilevata nessuna presenza di elementi strutturali in acciaio.

5 ANALISI DEI CARICHI

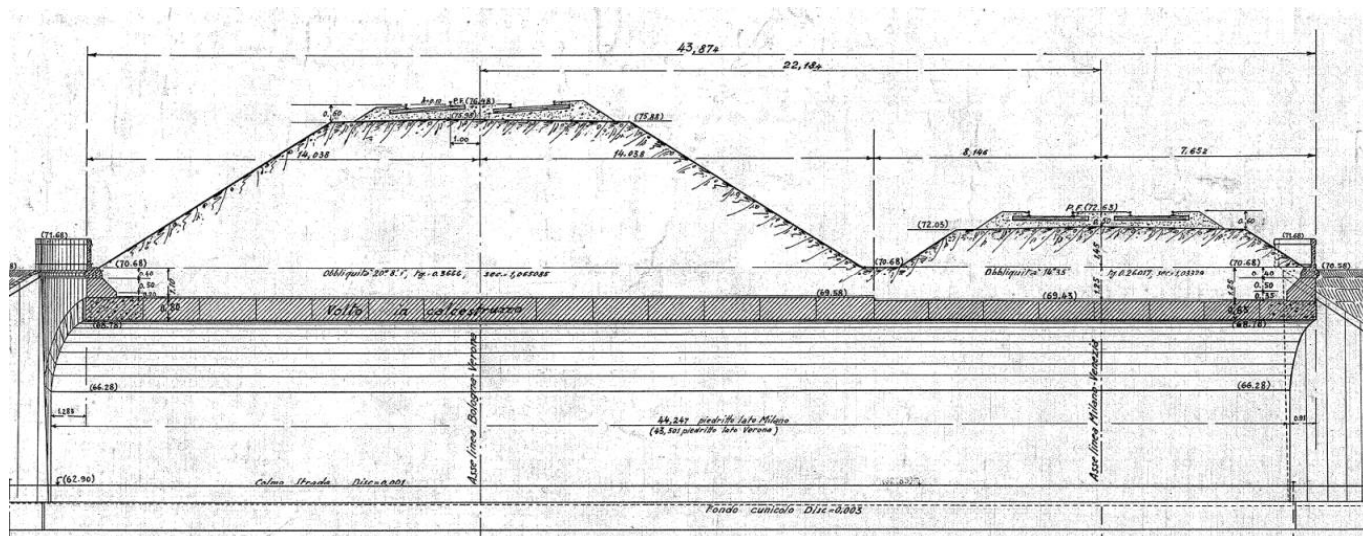
Nel presente capitolo vengono riportati i carichi agenti sul ponte ad arco nello stato attuale in cui si trova.

5.1 G00: Peso proprio

Il peso proprio degli elementi strutturali viene considerato in funzione della densità del calcestruzzo $\gamma = 23.0$ kN/m³.

5.2 G01: Sovraccarico permanente

Dagli elaborati a disposizione si evince che sull'impalcato agisce il seguente sovraccarico permanente lungo il sottovia ferroviario, con due altezze di ricoprimento differenti in corrispondenza delle due linee ferroviarie Bologna – Verona e Milano – Venezia, come mostrato nell'immagine di seguito:



Sull'impalcato si considera uno spessore di ricoprimento differente in corrispondenza di ciascuna linea ferroviaria. Per la linea Bologna – Verona si ha un'altezza di ricoprimento variabile tra 1.10m e 6.33m, mentre per la linea Milano – Venezia si ha un'altezza variabile tra 1.25m e 2.60m. Di conseguenza, considerando un peso per unità di volume del ricoprimento pari a $\gamma_{pav} = 18.00$ kN/m³, si ha che il carico agente sulla volta in calcestruzzo lungo il sottovia è pari a:

- Linea Bologna - Verona

$$q_{G01} = 1.10 \times 18.00 = 19.80 \text{ kN/m}^2 \text{ (valore minimo)}$$

Sottovia km 145+425 – Via Albere Nord

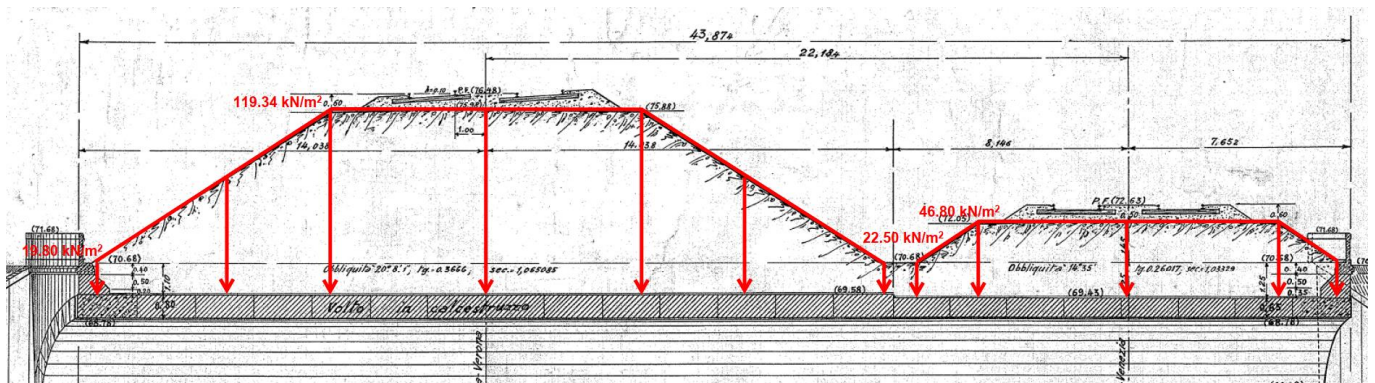
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D 26 CL	SL 0300 003	A	12 di 17

$$q_{G01} = 6.63 \times 18.00 = \mathbf{119.34 \text{ kN/m}^2}$$
 (valore massimo)

- Linea Milano - Venezia

$$q_{G01} = 1.25 \times 18.00 = \mathbf{22.50 \text{ kN/m}^2}$$
 (valore minimo)

$$q_{G01} = 2.60 \times 18.00 = \mathbf{46.80 \text{ kN/m}^2}$$
 (valore massimo)



5.3 G02: Ballast e armamento

Sulla volta in calcestruzzo si considera agente anche uno spessore di ballast e armamento, in corrispondenza delle due linee ferroviarie, pari a 0.60m con peso di unità di volume $\gamma_{pav} = 18.00 \text{ kN/m}^3$; da cui si trova il carico agente, come segue:

$$q_{G02} = 0.60 \times 18.00 = \mathbf{10.80 \text{ kN/m}^2}$$

5.4 Q00: Carico ferroviario

Il carico verticale ferroviario è definito per mezzo di diversi modelli di carico: in particolare sono forniti due treni di carico distinti, il primo rappresentativo del traffico normale LM71, il secondo rappresentativo del traffico pesante SW/2. Questi modelli di carico schematizzano gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario normale e sono descritti nei seguenti schemi riportati di seguito:

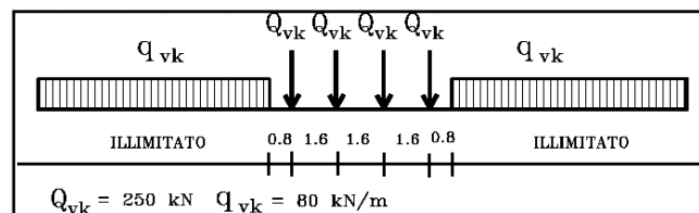
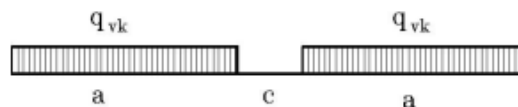


Fig. 1 –Modello di carico LM71



Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Fig. 2 –Modello di carico SW

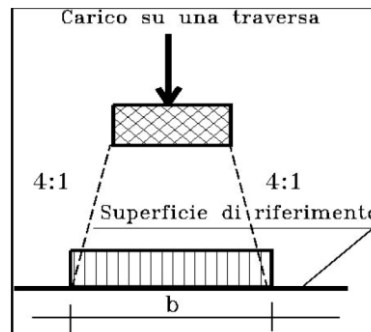
Coefficiente di adattamento α :

I valori dei suddetti carichi relativi alla configurazione LM71 e SW/2 dovranno essere moltiplicati per un coefficiente di adattamento, variabile in ragione della tipologia dell'Infrastruttura (ferrovia ordinaria, ferrovia leggera metropolitana), viene di seguito riportata la tabella con la variabilità del coefficiente in base al tipo di linea o categoria di linea. Per l'opera presa in considerazione si considera un coefficiente adattivo α pari a 1.1 per il modello di carico LM71 e pari a 1.0 per il modello di carico SW/2.

Tipi di linea o categorie di linea STI	Valore minimo del fattore alfa (α)
IV	1.1
V	1.0
VI	1.1
VII-P	0.83
VII-F, VII-M	0.91

Tabella 1 – Coefficiente di adattamento

In generale, i carichi assiali del modello di carico LM71 possono essere distribuiti uniformemente nel senso longitudinale, al di sotto delle traverse, come indicato nella seguente immagine.


Fig. 3 – Diffusione longitudinale dei carichi attraverso il ballast

Dove superficie di riferimento è da intendersi la superficie di appoggio del ballast.

Di seguito vengono riportati i calcoli del carico ferroviario per le due linee ferroviarie Bologna – Verona e Milano – Venezia, che interessano il sottovia.

Assumendo una lunghezza della traversina pari a 2.60m e un'altezza del ballast sottostante pari a 6.33m e 2.60m rispettivamente per la linea Bologna – Verona e Milano – Venezia, la diffusione longitudinale del carico ferroviario risulta pari a:

$$b = 2.60 + 6.33/4 \times 2 = 5.77\text{m} \quad \text{linea Bologna - Verona}$$

$$b = 2.60 + 2.60/4 \times 2 = 3.90\text{m} \quad \text{linea Milano - Venezia}$$

Coefficiente dinamico Φ :

Per tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli, i valori di carico relativi alla configurazione LM71 e SW/2 dovranno essere ulteriormente moltiplicati per un coefficiente dinamico Φ . Per la struttura oggetto di studio si considera, a favore di sicurezza, il coefficiente dinamico per linee con ridotto standard manutentivo:

$$\Phi_3 = 2.16 / (L_\Phi^{0.5} - 0.2) + 0.73 \quad 1.00 \leq \Phi_3 \leq 2.00$$

Considerando una lunghezza L_Φ pari a 10.08m per entrambe le linee ferroviarie, di conseguenza si ha che il coefficiente dinamico Φ_3 da applicare ai due modelli di carico ferroviario è pari a:

$$L_{\phi} = 10.08\text{m}$$

$$\Phi_3 = 2.16 / (10.08^{0.5} - 0.2) + 0.73 = 1.46$$

Infine, il carico ferroviario dovuto al modello di carico LM71 e SW/2 risulta pari a:

- Linea ferroviaria Bologna - Verona

$$q_{LM71} = 1.10 \times 1.46 \times (250 \times 4) / 6.4 / 5.77 = 43.49\text{kN/m}^2$$

$$q_{SW/2} = 1.00 \times 1.46 \times 150 / 5.77 = 37.95\text{kN/m}^2$$

- Linea ferroviaria Milano - Venezia

$$q_{LM71} = 1.10 \times 1.46 \times (250 \times 4) / 6.4 / 3.90 = 64.34\text{kN/m}^2$$

$$q_{SW/2} = 1.00 \times 1.46 \times 150 / 3.90 = 56.15\text{kN/m}^2$$

Il carico considerato sulla volta in calcestruzzo è quindi pari a **43.49kN/m²** per la linea ferroviaria Bologna – Verona e pari a **64.34 kN/m²** per la linea Milano - Venezia.

5.5 Q01: Azione termica

Gli effetti dell'azione termica uniforme e differenziale agente sull'arco in calcestruzzo non vengono considerati in quanto non determinanti ai fini della valutazione dell'opera presa in oggetto.

5.6 Azione sismica

Gli effetti dell'azione sismica verticale ed orizzontale sull'arco in calcestruzzo non vengono presi in considerazione per la finalità del presente documento, in quanto non determinanti ai fini della valutazione dell'opera in oggetto.

6 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Attualmente nella zona interessata dall'intervento del sottovia ferroviario al km 145+425, sono presenti due binari della linea ferroviaria storica Milano – Venezia e due della linea Bologna - Verona, passanti sulla volta in calcestruzzo. Nello stato definitivo verranno conservati entrambi i binari sulla struttura esistente, mantenendo l'andamento sia planimetrico che altimetrico. Di seguito si riportana la planimetria generica dello stato esistente e definitivo previsto da progetto.

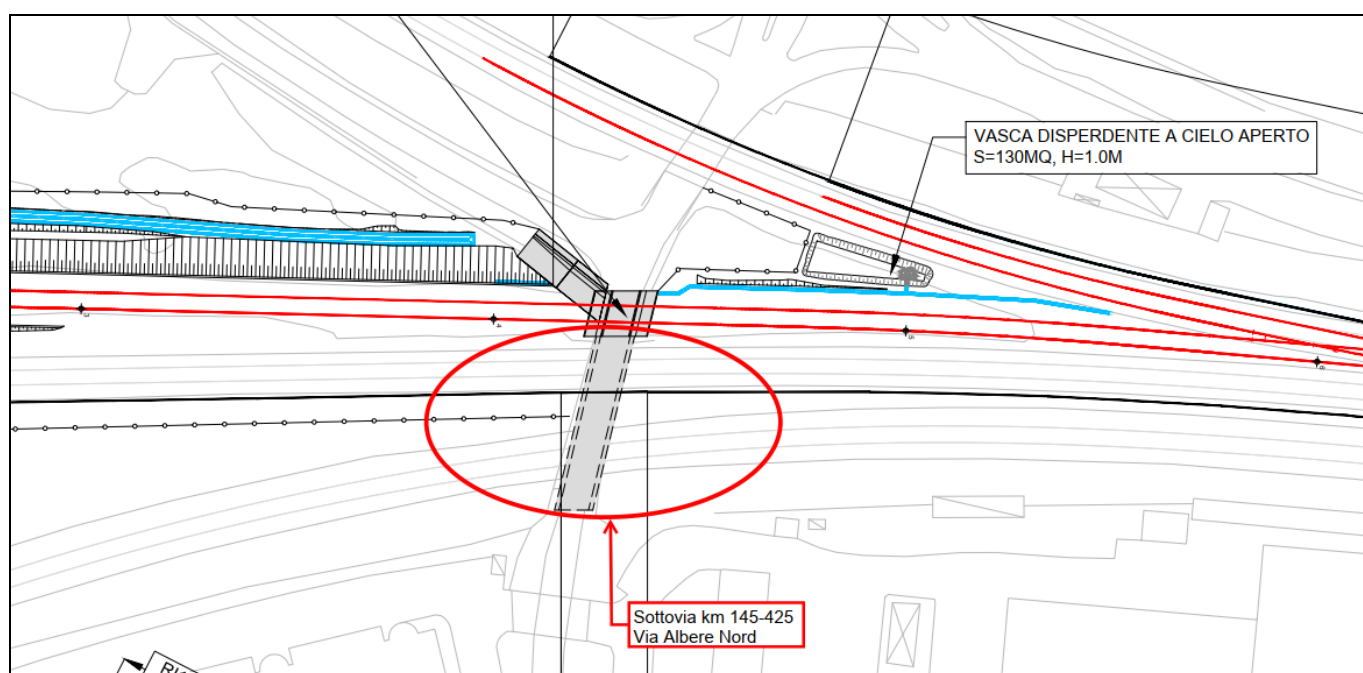


Figura 8 – Planimetria dell'intervento del sottovia ferroviario, situato in corrispondenza del km 145+425

Come si nota dalla planimetria riportata nelle precedente immagine, dove si evidenziano gli assi binari di progetto in rosso e gli assi esistenti in grigio; si osserva come il piano ferro della linea ferroviaria Milano – Venezia e della linea Bologna - Verona rimangano invariati per l'intervento previsto dal progetto definitivo, nella zona del sottovia al km 145+425. Di conseguenza, lo stato sollecitativo agente sulla struttura rimarrà inalterato rispetto allo stato attuale.

7 CONCLUSIONI

La presente relazione ha per oggetto la valutazione strutturale del sottovia ferroviario, situato in corrispondenza del km 145+425 della linea ferroviaria Milano-Venezia nel comune di Verona. Per quanto descritto nei capitoli precedenti si evincono le seguenti conclusioni:

- Il materiale a disposizione è sufficiente per effettuare una valutazione di massima dello stato sollecitativo della struttura analizzata;
- I carichi predominanti per il sottovia ferroviario sono rappresentati dal sovraccarico permanente portato §5.2 e dall'azione del carico ferroviario agente sulla volta in calcestruzzo §5.4;
- Il progetto definitivo non prevede alterazioni della linea ferroviaria Milano -Venezia e della linea Bologna - Verona, nell'area d'intervento del sottovia ferroviario al km 145+425. Difatti, abbiamo che per il sottovia si ha sostanzialmente il mantenimento planimetrico ed altimetrico delle tratte ferroviarie. Si può affermare, così, che lo stato sollecitativo agente sulla struttura rimane inalterato rispetto allo stato attuale in cui si trova l'opera in oggetto (fare riferimento al §5).