

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J84C19000370009

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

Relazione calcolo risoluzione sottoservizi

SCALA:

-

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

I N 1 M 1 1 D 2 6 R G S I 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva		Gennaio 2022	N.Carella <i>N.Carella</i>	Gennaio 2022	L.Barchi <i>L.Barchi</i>	Gennaio 2022	A.Perego Gennaio 2022

IN1M11D26RGSIO000001A.DOCX

n. Elab.: 1

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
2.1	Geometria.....	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	6
3.1	Normative di riferimento.....	6
4	MATERIALI.....	7
4.1	Calcestruzzo per magrone	7
4.2	Calcestruzzo di rivestimento	7
4.3	Acciaio B450C	7
4.4	Valori limiti tensionali allo SLE	7
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	8
5.1	Terreno di ricoprimento/rinterro.....	8
5.2	Interazione terreno-struttura.....	8
6	TOMBINI CIRCOLARI.....	9
6.1	Carico di progetto Q_T	9
6.1.1	Carico da terreno sovrastante 'QST'	9
6.1.2	Carico da acqua contenuta 'Pw'	10
6.1.3	Carico da azioni variabili (carichi mobili) 'PVC'	10
6.2	Classe di resistenza Q	11
6.2.1	Tombino ϕ 600	12

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la verifica strutturale del sottoservizio, nell'ambito della progettazione definitiva del Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia.

In particolare si considerano le verifiche strutturali del Sottoservizio fognario dal km 0+2.40,00 al 0+300,00 della linea A.V. /A.C. Milano – Verona.

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il sottoservizio fognario verrà realizzato in opera al di sotto della linea ferroviaria esistente. Data l'elevata profondità della condotta rispetto al pc, approssimativamente di circa 3m, e che in quel tratto l'infrastruttura ferroviaria è in rilevato, è stato scelto di sostituire la tubazione esistente in corrispondenza dell'attraversamento di progetto con una tubazione sempre in CLS di diametro 600mm ma di maggiori prestazioni statiche. La struttura è caratterizzata, lungo tutto il suo sviluppo al disotto del rilevato ferroviario, dalla sua sezione scatolare trasversale.

2.1 Geometria

La sezione trasversale retta della fognatura ha una larghezza di $L = 1.30$ m ed un'altezza di $H = 1.20$ m. La tubazione è in CLS vibrocompresso autoportante di diametro 600mm.

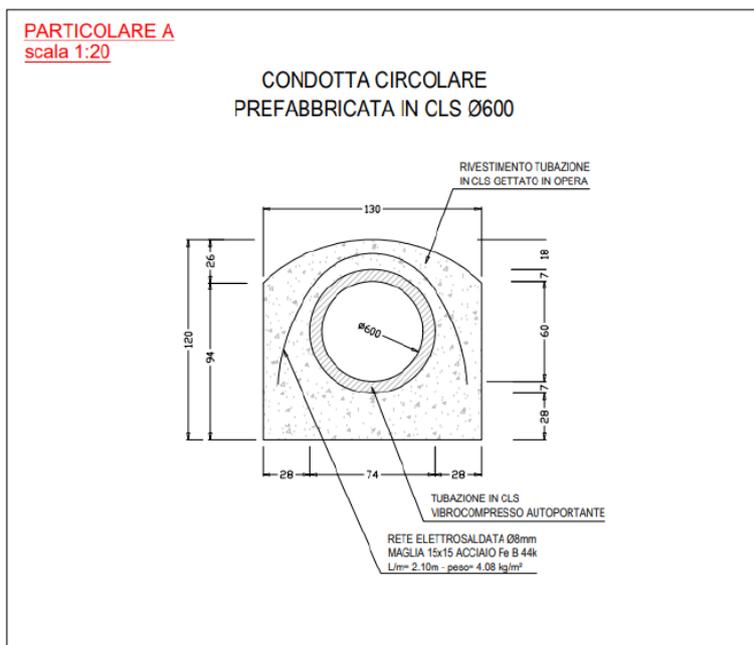


Figura 1 – sezione trasversale

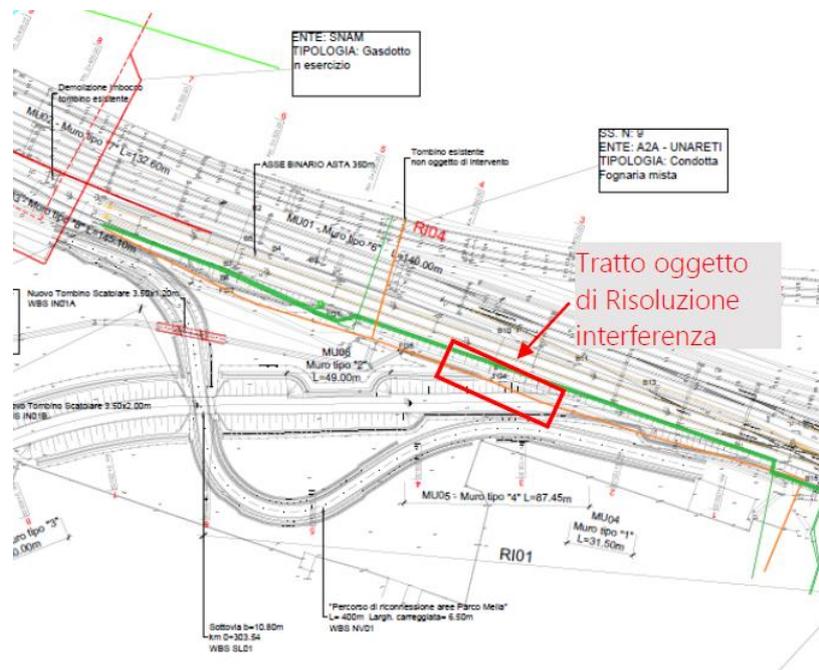


Figura 2 – Planimetria

	LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA					
	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
Relazione calcolo risoluzione sottoservizi	COMMESSA IN1M	LOTTO 11	CODIFICA D 26 RG	DOCUMENTO SI0000001	REV. A	PAGINE 6 di 13

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Normative di riferimento

- [1]. L. n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- [2]. L. n. 64 del 2/2/1974 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- [3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [4]. Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- [5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [6]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [7]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- [8]. RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili. Parte II – Sezione 6 - Opere in conglomerato cementizio e in acciaio;
- [9]. UNI EN 206-1:2006 Parte 1: Calcestruzzo-Specificazione, prestazione, produzione e conformità;
- [10]. UNI EN 1991-1-2 (2005) - Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture in calcestruzzo – Parte 1-2: Regole generali
- [11]. UNI EN 1997-1 (2005) - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [12]. UNI EN 1998-1 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- [13]. UNI EN 1998-5 (2005) - Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [14]. D.M. 31.07.2012: Approvazione delle Appendici Nazionali recanti i parametri tecnici per l’applicazione degli Eurocodici.

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo per magrone

Conglomerato classe di resistenza **C12/15** (R_{ck} 15 MPa)

Classe di esposizione:	X0
Classe di consistenza	S3

4.2 Calcestruzzo di rivestimento

Conglomerato classe di resistenza **25/30** (R_{ck} 30 MPa)

Classe di esposizione	XC4
Dimensione max aggregati	32 mm
Classe di consistenza	S4
Copriferro minimo (FS N°I/SC/PS-OM/2298)	50 mm

4.3 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 450$ MPa;
Tensione di progetto:	$f_{yd} = 391.3$ MPa;
Modulo Elastico	$E_s = 210'000$ MPa.

4.4 Valori limiti tensionali allo SLE

Limiti tensionali allo SLE, secondo "RFI DTC SI MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili".

Tensioni di compressione del calcestruzzo:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara) $0.55 f_{ck}$;
- Per combinazioni di carico Quasi Permanente $0.40 f_{ck}$;

Tensioni di trazione nell'acciaio:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara) $0.75 f_{yk}$.

Fessurazione:

- Per combinazione Caratteristica (Rara)
Superfici contro terra $w < w_1 = 0.20$ mm

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Per i parametri geologico-geotecnici si fa riferimento alla Relazione Geotecnica Generale.

5.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento dell'opera è stato assunto un peso di volume $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

5.2 Interazione terreno-struttura

Il terreno di rinfianco dell'opera è caratterizzato dai seguenti parametri geotecnici caratteristici assunti costanti lungo l'altezza dello scatolare e conservativamente pari a quelli del terreno di fondazione:

$$\gamma = 20 \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

$$c' = 0 \text{ [kPa]}$$

$$\phi' = 38 \text{ [}^\circ\text{]}$$

Si assume, in modo conservativo rispetto a quanto indicato nella Relazione Geotecnica Generale, una costante di sottofondo (Winkler) pari a:

$$k_w = 9807 \text{ kN/m}^3$$

6 TOMBINI CIRCOLARI

Si riportano nel seguito le ipotesi da assumere e la procedura da applicare al fine di determinare la classe di resistenza delle tubature circolari, conformemente a quanto riportato dalla norma UNI 7517.

Con riferimento alla norma suddetta, le ipotesi assunte alla base del calcolo sono:

- tubazione “rigida”;
- tubazione non “in pressione”.

6.1 Carico di progetto Q_t

Le tubazioni risultano assoggettate ai carichi verticali costituiti dal peso del terreno di ricoprimento, dal peso dell’acqua contenuta nello stesso tubo e dai sovraccarichi accidentali.

Il carico di progetto Q_t risulta pertanto definito dalla seguente espressione:

$$Q_t = Q_{st} + P_{vc} + P_w$$

dove:

- Q_{st} = Carico dovuto al rinterro (kN/m)
- P_{vc} = Carico dovuto all’acqua contenuta nel collettore (kN/m)
- P_w = Carico dovuto ad azioni mobili variabili (kN/m)

Lo stato tensionale risulta quindi dipendere dal sistema di forze agenti sul tubo: distribuzione dei carichi e reazione di vincolo definite dal sistema di posa.

6.1.1 Carico da terreno sovrastante ‘QST’

La norma UNI 7517 distingue due diverse tipologie di calcolo nella stima del carico da terreno sovrastante a seconda delle condizioni di posa della tubazione: una per il caso di “trincea stretta” e una per il caso di “trincea larga”.

La tubazione è considerata posata in trincea stretta nel caso sia verificata una delle seguenti condizioni:

- $B \leq 2D$ e $H \geq 1,5B$
- $2D < B < 3D$ e $H \geq 3,5B$

dove B rappresenta la larghezza della trincea a livello della generatrice del tubo, H l’altezza di ricoprimento e D il diametro esterno.

In caso di condizioni di posa in trincea stretta, il carico verticale dovuto al rinterro Q_{st} (kN/m) è calcolato come:

$$Q_{st} = C_t \cdot \gamma_t \cdot B^2$$

dove:

- γ_t = Peso specifico del materiale di rinterro (kN/mc)
- B = Larghezza della trincea a livello della generatrice del tubo (m)
- C_t = Coefficiente di carico del terreno nella posa in trincea stretta. Il coefficiente è funzione del rapporto H/B, dell’angolo di attrito interno del terreno di rinterro φ e dell’angolo di attrito φ' tra terreno di rinterro e terreno naturale. È calcolato secondo la seguente espressione:
 $C_t = 1 - e^{-2k(H/B)\tan\varphi'} / 2k\tan\varphi$ con $k = \tan^2(45^\circ - \varphi/2)$

In caso di condizioni di posa di trincea stretta con rinterro indefinito il carico dovuto al rinterro Q_{st} (kN/m) è calcolato come:

$$Q_{st} = C_n \cdot \gamma_t \cdot B^2$$

dove:

- γ_t = Peso specifico del materiale di rinterro (kN/mc)
- B = Larghezza della trincea a livello della generatrice del tubo (m)
- C_n = Coefficiente di carico del terreno nella posa in trincea stretta con rinterro indefinito; tale coefficiente si ricava dai diagrammi della figura 8 all'interno della norma UNI 7517. Si tratta di quattro grafici, ognuno valevole per un valore di p_j , da cui si ricava il valore di C_n in funzione del rapporto H/B e del tasso di assestamento r_s , che per tubi in cemento si assume pari a -0.3. Il valore p_j è il rapporto di proiezione negativa ed è dato dal rapporto: h'/B con h' = distanza del terreno indisturbato dall'estradosso del tubo.

In caso di condizioni di posa di trincea larga il carico verticale dovuto al rinterro Q_{st} (kN/m) è calcolato come:

$$Q_{st} = C_e \cdot \gamma_t \cdot D^2$$

dove:

- γ_t = Peso specifico del materiale di rinterro (kN/mc)
- D = Diametro esterno del tubo (m)
- C_t = Coefficiente di carico del terreno nella posa in trincea larga, stimato in funzione del rapporto H/D (indicando con H l'altezza del ricoprimento da estradosso tubo), delle caratteristiche del terreno e delle modalità di posa. Cautelativamente viene valutato tramite le seguenti espressioni:
 $C_e = 0.1 + 0.85 \cdot (H/D) + 0.33 \cdot (H/D)^2$ per $H/D \leq 2.66$
 $C_e = 0.1 + 1.68 \cdot (H/D)$ per $H/D > 2.66$

6.1.2 Carico da acqua contenuta 'Pw'

Il carico dovuto all'acqua contenuta all'interno della tubazione viene valutato secondo la norma UNI 7517 come:

$$P_w = 5.788 \cdot d^2$$

con d diametro interno del tubo (m)

6.1.3 Carico da azioni variabili (carichi mobili) 'Pvc'

Il carico mobile viene valutato secondo la norma UNI 7517 come:

$$P_{vc} = p_v \cdot D \cdot \varphi$$

dove:

- P_{vc} = Carico verticale sulla generatrice superiore del tubo, dovuti ai carichi mobili concentrati (kN/m);
- D = Diametro esterno del tubo (m);
- φ = Fattore dinamico che può essere calcolato come:

$\varphi = 1 + 0.3/H$ per strade e autostrade;

$\varphi = 1 + 0.6/H$ per ferrovie.

- p_v = Pressione verticale al livello della generatrice superiore del tubo, dovuta ai carichi mobili concentrati (kN/m^2). Il valore del carico p_v è valutato in funzione del tipo di convoglio e dell'altezza di ricoprimento H, secondo le seguenti espressioni:

$$p_v = 0,5281 \cdot P \cdot H^{-1.0461} \quad \text{Per veicoli pesanti (Tipo HT)}$$

$$p_v = 0,8743 \cdot P \cdot H^{-1.5194} \quad \text{Per veicoli leggeri (Tipo LT)}$$

dove P rappresenta il carico per ruota in kN.

Nel grafico seguente sono riportati gli andamenti di p_v in funzione del tipo di veicolo considerato e dell'altezza di ricoprimento.

Per il caso in esame, è stato sempre assunto il carico pertinente alla classe HT, che prevede un carico concentrato del modello di carico LM 71 pari a 250 kN, equivalente al carico di un asse del treno secondo la schematizzazione dell'NTC18.

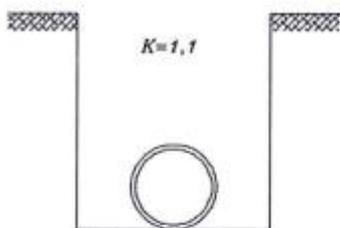
6.2 Classe di resistenza Q

L'espressione che governa la progettazione del tubo è la seguente:

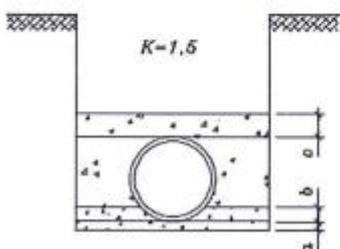
$$\mu \leq \frac{Q \cdot K}{Q_t}$$

dove:

- μ = Coefficiente di sicurezza posto pari a 1,3;
- K = Coefficiente che aumenta la capacità di resistenza della tubazione e che è funzione del tipo di posa;
- Q = classe di resistenza.



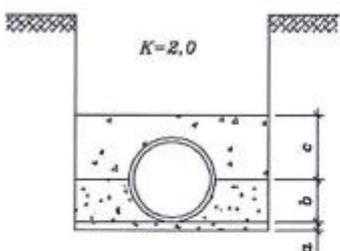
Tipo 1
Semplice appoggio sul fondo della trincea
Rinterro non costipato eseguito con
materiale di scavo.



Tipo 2
Appoggio su letto di materiale granulare
fine e rinterro con materiale granulare
fine o con materiale proveniente dagli
scavi leggermente costipato.

$$a = 0,10 \text{ m} + \frac{1}{10} D$$

$$b = \frac{1}{6} D \quad c \geq 0,30$$

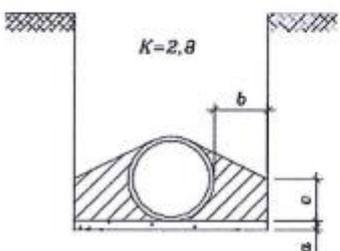


Tipo 3
Appoggio su letto di materiale granulare
fine e rinfianco con materiale granulare
fine entrambi accuratamente costipati.
Rinterro leggermente costipato esente
da zolle.

$$a = 0,10 \text{ m} + \frac{1}{10} D$$

$$b = 0,5 D$$

$$c = 0,5 D + 0,30 \text{ m}$$



Tipo 4
Appoggio su letto di materiale granulare
fine e parziale colmataura in calcestruzzo
degli spazi laterali.

$$a = 0,10 \text{ m} + \frac{1}{10} D$$

$$b = \frac{1}{4} D \text{ (min. } 0,10 \text{ m)}$$

$$c > \frac{1}{3} D$$

Il caso in esame fa riferimento ad una configurazione di tipo 4, per la quale è previsto un coefficiente di posa pari a 2.8.

6.2.1 Tombino ϕ 600

Per i tombini di diametro ϕ 600 è stato considerato un ricoprimento costante lungo tutto il tombino pari a 3.00m. La classe di resistenza ottenuta è la seguente:

VERIFICA CONDIZIONI DI POSA DELLA CONDOTTA			
Diametro interno	Di	0.6	m
Spessore	sp	0.07	m
Diametro esterno	De	0.74	m
Altezza di ricoprimento minimo	H	3	m
Larghezza dello scavo in corrispondenza estradosso tubo	B	1.3	m
Condizione di posa	Trincea larga		
CARICO VERTICALE DOVUTO AL RINTERRO			
Peso specifico materiale di rinterro	γ_t	18	kN/mc
	H/D	4.05	-
Coeff. di carico del terreno	C_e	6.91	-
Carico da rinterro	Q_{st}	68.12	kN/m
CARICO VERTICALE DOVUTO ALL'ACQUA CONTENUTA NEL COLLETTORE			
Carico da acqua contenuta	P_a	2.08	kN/m
CARICO VERTICALE DA AZIONI MOBILI VARIABILI			
	φ	1.20	-
Carico assi ferroviari	P	250.00	kN
Pressione verticale	p_v	41.83	-
Carico da azioni variabili	P_{vc}	37.15	kN/m
CLASSE DI RESISTENZA MINIMA			
Carico di Progetto	Q_t	107.35	kN/m
Coeff. di posa	K	2.8	-
Coeff. di sicurezza	μ	1.3	-
Carico minimo di rottura	F	49.84	kN/m
Classe minima di resistenza	Q	19830	kN/mq

Poiché la classe di resistenza ottenuta è inferiore a quella del materiale del tubo (C35/45) la sezione risulta verificata.