



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	2 di 42

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3	ELABORATI DI RIFERIMENTO	6
4	UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA	7
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	8
5.1	CALCESTRUZZO	8
5.2	ACCIAIO PER STRUTTURE IN CONGLOMERATO CEMENTIZIO	9
6	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	10
7	ANALISI DEI CARICHI	11
7.1	PESI PROPRI	11
7.2	PERMANENTI NON STRUTTURALI	11
7.3	CARICHI MOBILI (TRAFFICO FERROVIARIO)	12
7.4	AZIONE DI AVVIAMENTO / FRENATURA	14
7.5	AZIONE DI SERPEGGIO	14
7.6	AZIONE DEL SISMA	15
7.7	SPINTA STATICA DEL TERRENO	18
7.8	SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO PERMANENTE E ACCIDENTALE SUL RILEVATO	18
7.9	SOVRASPINTA SISMICA	19
8	COMBINAZIONE DEI CARICHI	19
9	VERIFICHE STRUTTURALI	22
9.1	VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE-PRESSOFLESSIONE	22
9.2	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO	22



LINEA MODANE-TORINO
**ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-
 AVIGLIANA**
**REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE
 LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E
 CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)**

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	3 di 42

Relazione di calcolo

9.3	VERIFICA AGLI STATI LIMITE D'ESERCIZIO	24
10	MODELLAZIONE STRUTTURALE.....	25
10.1	ANALISI DEI CARICHI.....	27
10.2	SOLLECITAZIONI	31
10.3	VERIFICHE STRUTTURALI.....	35
10.3.1	Verifica sezione verticale superiore	35
10.3.2	Verifica sezione orizzontale mediana	37
10.3.3	Verifica sezione verticale inferiore.....	39
11	INCIDENZE.....	41
12	CONCLUSIONI	42

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto di ammodernamento dell'attuale tratta Bussoleno Avigliana sulla linea Torini Modane, è richiesto l'adeguamento del modulo di linea a 750 m con l'inserimento di due PM sfalsati, uno pari ed uno dispari, nelle località di Bruzolo e di Condove e l'adeguamento a STI delle Stazioni di Bruzolo, Borgone e di Sant'Ambrogioscupo del documento

Nella seguente relazione, in particolare, vengono descritte le verifiche agli Stati Limite del tombino circolare in cemento armato, varato a spinta (ed in parte gettato in opera), da realizzarsi in corrispondenza della linea ferroviaria Torino- Modane, nel Comune di Chiusa S. Michele (TO).

Si riportano, di seguito, la sezione longitudinale e trasversale tipica della struttura.

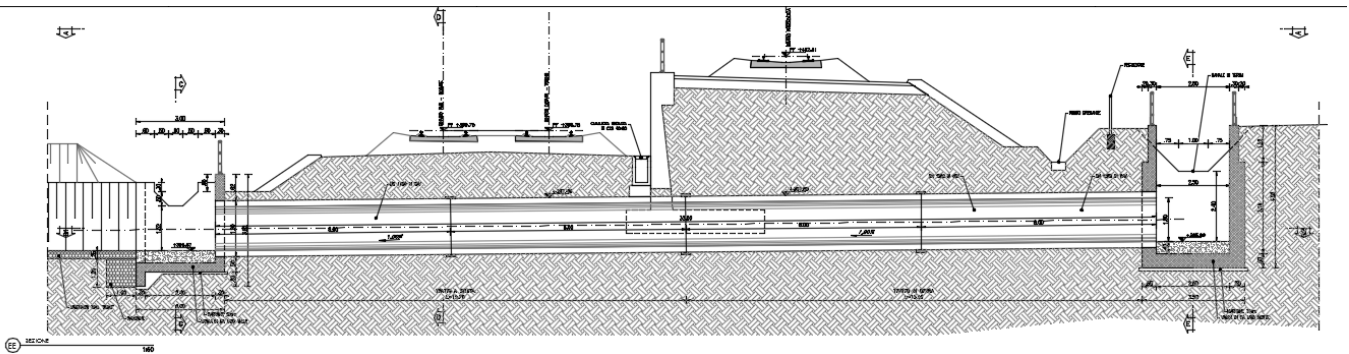


Fig. 1 – Sezione longitudinale

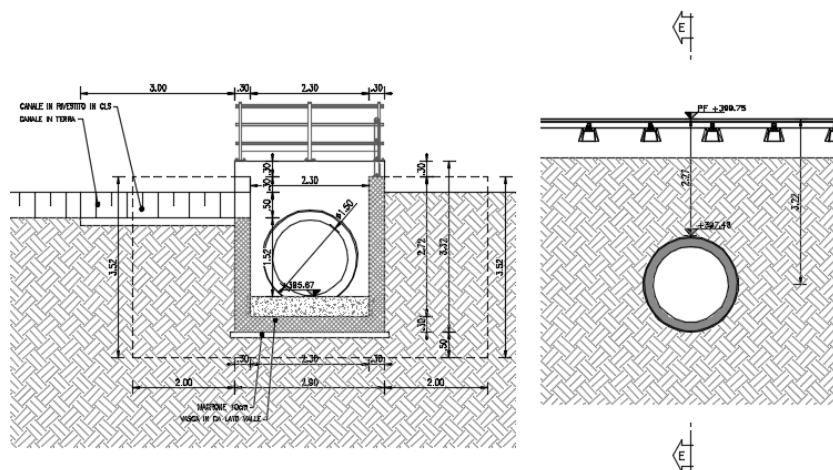


Fig. 2 – Sezione trasversale

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)					
	PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500 Relazione di calcolo	COMMESSA NT0I	LOTTO 04	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 02 00 001	REV. A

2 NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009,n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- UNI EN 1992-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali”.
- UNI EN 1992-2 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Ponti”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206-1:2014: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”.

Si riporta, ora, l'elenco delle norme tecniche, delle circolari e delle istruzioni F.S. delle quali si è tenuto conto.

- RFI DTC SI MA IFS 001 A – Parte I
- RFI DTC SI AG MA IFS 001 A Parte II sezione 1
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 A Parte II sezione 2
- RFI DTC SI CS MA IFS 001 A Parte II sezione 3
- RFI DTC SI GA MA IFS 001 A Parte II sezione 4
- RFI DTC SI CS MA IFS 002 A Parte II sezione 5
- RFI DTC SI CS MA IFS 003 A Parte II sezione 6

**LINEA MODANE-TORINO****ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA****REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)**

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	6 di 42

3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

- Carpenteria tombino – NT0I04D26BBIN0200001A
- Fasi realizzative – NT0I04D26PAIN0200001A
- Relazione geotecnica – NT0I04D26GEGE0005001A



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	7 di 42

4 UNITÀ DI MISURA E SIMBOLOGIA

Unità di misura principali

N (Newton)	unità di forza
m (metro)	unità di lunghezza
kg (kilogrammo-massa)	unità di massa
s (secondo)	unità di tempo

Unità di misura derivate

kN (kiloNewton)	10^3 N
MN (megaNewton)	10^6 N
kgf (kilogrammo-forza)	1 kgf = 9.81 N
cm (centimetro)	10^{-2} m
mm (millimetro)	10^{-3} m
Pa (Pascal)	1 N/m ²
kPa (kiloPascal)	10^3 N/m ²
MPa	(megaPascal) 10^6 N/m ²
N/m³	(peso specifico)
g (accelerazione di gravità)	~ 9.81 m/s ²

Corrispondenze notevoli

1 MPa = 1 N/mm²

1 MPa ~ 10 kgf/cm²

1 kN/m³ ~ 100 kgf/m³

Si utilizzano i seguenti principali simboli con le relative unità di misura normalmente adottate:

γ (gamma)	peso dell'unità di volume	(kN/m ³)
σ (sigma)	tensione normale	(N/mm ²)
τ (tau)	tensione tangenziale	(N/mm ²)
ϵ (epsilon)	deformazione	(m/m - adimensionale)
φ (fi)	angolo di resistenza	(° sessagesimali)



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NTOI 04 D 26 CL IN 02 00 001 A 8 di 42

Relazione di calcolo

5 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

5.1 Calcestruzzo

MAGRONE					
Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore	Note
Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	15.00	
Contenuto minimo cemento			kg/m ³	150.00	

CALCESTRUZZO TOMBINO					
Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore	Note
Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	37.00	
Resistenza cilindrica a compressione	f_{ck}	$0.83 * R_{ck}$	N/mm ²	30.71	
Resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	$f_{ck}+8$	N/mm ²	38.71	
Coefficiente per effetti a lungo termine e sfavorevoli	α_{cc} (>28gg)		-	0.85	
Coefficiente parziale di sicurezza relativo al calcestruzzo	γ_c		-	1.50	Viene ridotto a 1.40 per produzioni continuative di elementi o strutture soggette a controllo continuativo del calcestruzzo dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valore medio della resistenza) non superiore al 10%)
Resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	$(\alpha_{cc} * f_{ck}) / \gamma_c$	N/mm ²	17.40	
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctm}	$0.3 * (f_{ck})^{2/3}$	N/mm ²	2.94	Per classi ≤ C50/60
Resistenza cilindrica media a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2.06	
Resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	f_{ctk} / γ_c	N/mm ²	1.37	
Resistenza media a trazione per flessione	f_{ctm}	$1.2 * f_{ctm}$	N/mm ²	3.53	
Resistenza cilindrica caratteristica a trazione	f_{ctk}	$0.7 * f_{ctm}$	N/mm ²	2.47	
Modulo elastico	E_{cm}	$22000 * (f_{cm} / 10)^{0.3}$	N/mm ²	33019.43	
Peso proprio	γ_c		N/m ³	25000.00	
Coefficiente di Poisson	ν		-	0.20	Secondo quanto prescritto al punto 11.2.10.4 della NTC208, per il coefficiente di Poisson può adottarsi, a seconda dello stato di sollecitazione, un valore compreso tra 0 (calcestruzzo fessurato) e 0.2 (calcestruzzo non fessurato).
Coefficiente di aderenza	η		-	1.00	Per barre di diametro ≤ 32mm
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	f_{bk}	$2.25 * \eta * f_{ctk}$	N/mm ²	4.63	
Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo	f_{bd}	f_{bk} / γ_c	N/mm ²	3.09	
Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.					
Massima tensione di compressione in combinazione di carico RARA	σ_c	$0.55 * f_{ck}$	N/mm ²	16.89	Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.
Massima tensione di compressione in combinazione di carico PERMANENTE	σ_c	$0.40 * f_{ck}$	N/mm ²	12.28	Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.
Calcestruzzo con mix design studiato in modo da eliminare fenomeni di ritiro					



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	9 di 42

5.2 Acciaio per strutture in conglomerato cementizio

ACCIAIO DA C.A.					
Acciaio ad aderenza migliorata B450C					
Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore	Note
Resistenza caratteristica di rottura	$f_{t\ nom}$		N/mm ²	540.00	
Resistenza caratteristica a snervamento	$f_{y\ nom}$		N/mm ²	450.00	
Coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio	γ_s		-	1.15	
Resistenza di calcolo	$f_{y\ d}$	f_{yk} / γ_s	N/mm ²	391.30	
Modulo elastico	E_s		N/mm ²	206000.00	
Tensioni di progetto del cls allo S.L.E.					
Tensione massima di esercizio per l'acciaio	σ_s	$0.75 * f_{yk}$	N/mm ²	337.50	



LINEA MODANE-TORINO
ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA
REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	10 di 42

Relazione di calcolo

6 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Nel rispetto dell'elaborato contenente la definizione dei parametri geotecnici, il tombino oggetto della relazione presenta una stratigrafia di progetto come riportata nel seguito.

Tipologia	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	c_u (kPa)	E_u (MPa)	E' (MPa)	k (cm/s)
Rilevato ferroviario	20.0	0	38	-	-	-	-
Unità A – Sabbie e ghiaie	19.0-20.0	0	30-34 (da 0 a 5m dal p.c.) 35-37 (>5 m dal p.c.)	-	-	20-30 (da 0 a 5 m dal p.c.) 35-45 (>5 m dal p.c.)	$1.08 \cdot 10^{-3}$ (da 0 a 5m dal p.c.) $2.84 \cdot 10^{-3}$ (>5 m dal p.c.)
Unità B – Limi sabbiosi	18.0-20.0	0-5	26-30	80-100	25-30	20-25	$5.19 \cdot 10^{-4}$

Per quanto riguarda la falda idrica, questa si considera coincidente con il piano di fondazione delle opere.

Le misure piezometriche a disposizione, indicano che durante i lavori è possibile, in particolare in alcuni periodi dell'anno, riscontrare la presenza di falda freatica a pochi metri dal piano campagna. Al fine di garantire l'abbattimento della falda e creare condizioni di lavoro ottimali, anche nel caso in cui il periodo dei lavori dovesse coincidere con il periodo di massimo innalzamento della falda, sarà predisposto un impianto provvisorio di emungimento attorno all'area di scavo.

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)					
	PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500 Relazione di calcolo	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 02 00 001	REV. A

7 ANALISI DEI CARICHI

Si riporta nel seguito l'analisi dei carichi considerata nel calcolo delle sollecitazioni sulle strutture in oggetto.

7.1 Pesì propri

- peso proprio della sezione in c.a.;

7.2 Permanenti non strutturali

Il peso dei carichi permanenti in copertura è stato calcolato considerando i differenti spessori di ballast e supercompattato, ciascuno per il suo peso dell'unità di volume:

$$q_{pp} = h_b \gamma_b + h_{sc} \gamma_{sc}$$

dove:

- h_b = spessore del ballast;
- γ_b = peso specifico del ballast;
- H_{sc} = spessore del supercompattato;
- γ_b = peso specifico del super compattato.

Viene aggiunto anche 1kN/m pari allo peso del massetto e dell'impermeabilizzazione.

7.3 Carichi mobili (traffico ferroviario)

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il peggiore tra il carico verticale dovuto al treno SW/2 pari a 150 kN/m e il carico verticale dovuto al treno LM71 pari a 250 kN / 1.6 m = 156.25 kN/m uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta di copertura.

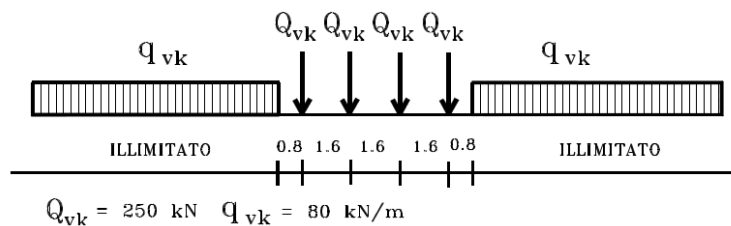
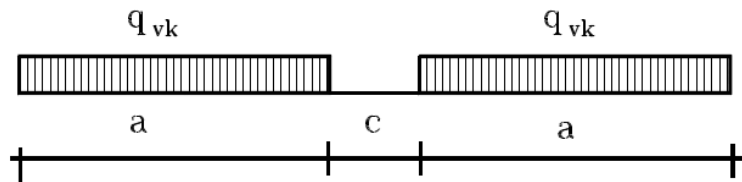


Fig. 3 – Treno di carico LM71



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. 4 – Treno di carico SW

Le azioni associate al solo treno di carico LM71 devono essere amplificate attraverso un coefficiente di adattamento "α". La tratta in esame è classificata come appartenente alla categoria P4 per il traffico passeggeri e F2 per il traffico merci, pertanto il coefficiente di adattamento presenta un valore unitario. Data la presente considerazione, si applicherà il carico dovuto al treno LM71 che risulta più sfavorevole rispetto l'SW.

Coefficiente di amplificazione dinamica φ:

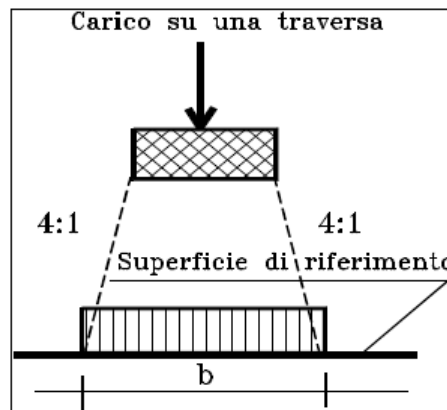
Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall'applicazione statica dei treni di carico debbono essere incrementati per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Determinazione delle larghezze di diffusione dei carichi mobili:

La diffusione dei carichi attraverso ballast avviene con pendenza 4:1, attraverso il ricoprimento con angolo di attrito mentre, nella soletta in cls con pendenza 1:1.

Gli spessori di ballast, ricoprimento e soletta sono i seguenti:

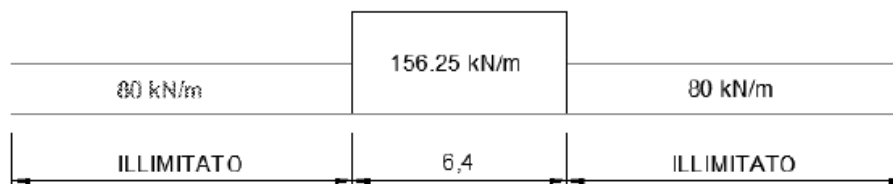
$$\begin{aligned} h_{\text{Ballast+armamento}} &= 0.80 \text{ m} \\ h_{\text{ricoprimento}} &= 1.00 \text{ m} \\ h_{\text{soletta}} &= 0.16 \text{ m} \end{aligned}$$

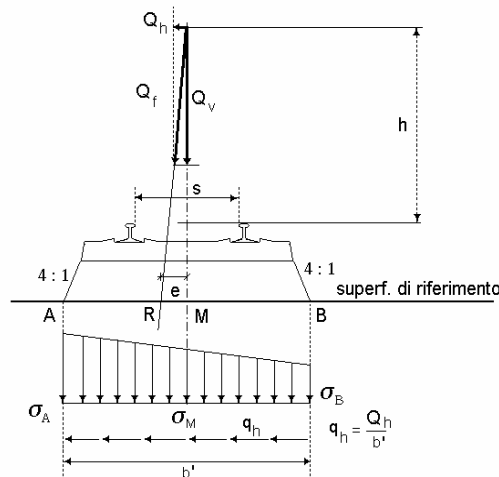


Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$





Tenendo conto della ripartizione del carico Q_{vk} sulla propria superficie di influenza e della ripartizione trasversale fino al piano medio del traverso di copertura, il carico verticale a mq, uniformemente distribuito, da considerare sul traverso di copertura è pari a:

$$Q_{sf} = 53,23 \text{ kN/mq}$$

$$q_{sf} = 27,26 \text{ kN/mq}$$

7.4 Azione di avviamento / frenatura

Si associano al convoglio di progetto le azioni di avviamento del carico LM71 in quanto maggiormente gravose per la struttura in esame. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento.

- Avviamento $Q_{1a,k} = 33 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]}$ per LM71

7.5 Azione di serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a $Q_{sk}=100 \text{ kN}$. Tale valore deve essere moltiplicato per a , (se $a>1$), ma non per il coefficiente F . Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Tale azione viene trascurata in quanto con un modello piano non si possono considerare gli effetti trasversali.

	<p>LINEA MODANE-TORINO</p> <p>ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA</p> <p>REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)</p>												
<p>PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500</p> <p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NT01</td> <td>04</td> <td>D 26 CL</td> <td>IN 02 00 001</td> <td>A</td> <td>15 di 42</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	15 di 42
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	15 di 42								

7.6 Azione del sisma

Si riporta il calcolo dell'azione sismica secondo le modalità previste dalle NTC 2018. I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso $C_U = 1.5$
- Vita nominale $V_N = 50$ anni
- Categoria di suolo: C
- Condizione topografica: T1
- Fattore di struttura $q = 1$

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NTOI	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	16 di 42

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale sono riportati :

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITA' DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE
7.1995

LATITUDINE
45.1406

Ricerca per comune

REGIONE
Piemonte

PROVINCIA
Torino

COMUNE
Bruzolo

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilita' dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

Nodi del reticolo intorno al sito



„a "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Di seguito si riportano gli spettri di risposta orizzontale e verticale allo Stato limite di salvaguardia della vita SLV utilizzati per il calcolo dell'azione sismica. Con tale azione sismica agente, le forze risultanti trasmesse dall'impalcato al piano appoggi della spalla in corrispondenza della sommita' del muro di testata sono riportate al paragrafo successivo, sotto le voci **Ex**, **Ey** ed **Ez**.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_n info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_u info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE { SLO - P_{VR} = 81%

{ SLD - P_{VR} = 63%

Stati limite ultimi - SLU { SLV - P_{VR} = 10%

{ SLC - P_{VR} = 5%

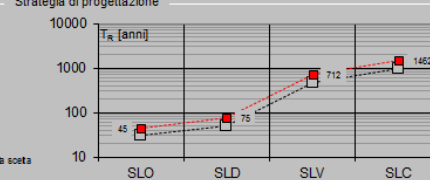
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

----- Strategia per costruzioni ordinarie - - - - - Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite
Stato Limite considerato: **SLV** info

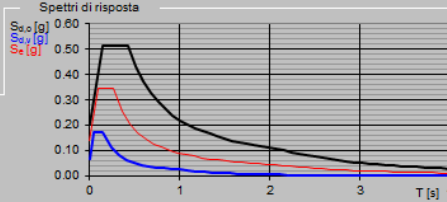
Risposta sismica locale
Categoria di sottosuolo: **C** info $S_g = 1.493$ $C_0 = 1.627$ info
Categoria topografica: **T1** info $h/H = 0.000$ $S_T = 1.000$ info
(In quota sito, altezza livello topografico)

Compon. orizzontale
 Spettro di progetto elastico (SLE) Smorzamento ξ (%): **5** $\eta = 1.000$ info
 Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore q_s : **1** Regol. in altezza: **si** info

Compon. verticale
Spettro di progetto Fattore q_v : **1** $\eta = 1/q = 1.000$ info

Elaborazioni
Grafici spettri di risposta
Parametri e punti spettri di risposta

Spettri di risposta

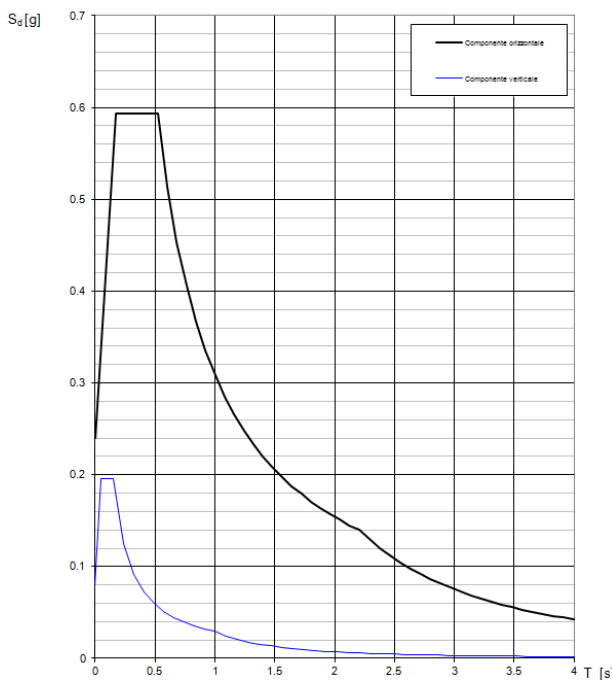


— Spettro di progetto - componente orizzontale
— Spettro di progetto - componente verticale
— Spettro elastico di riferimento (Cl. A-T1, L+St)

INTRO FASE 1 FASE 2 **FASE 3**

Di seguito si riporta a titolo di esempio lo **spettro di progetto** per lo **Stato Limite di salvaguardia della Vita SLV** relativamente alle componenti **orizzontali**, con coefficiente di smorzamento strutturale canonico pari al 5%.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_s	0.151 g
F_a	2.473
T_a	0.286 s
S_g	1.989
C_0	1.983
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.989
η	1.000
T_b	0.173 s
T_c	0.520 s
T_d	2.204 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_g \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10} \cdot (\xi + \xi_0) \geq 0.55, \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_b = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_0 \cdot T_a \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_d = 4 \cdot 0.1 \cdot a_s / g + 1.6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_b \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$$

$$T_b \leq T < T_c \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_c \leq T < T_d \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_d \leq T \quad S_d(T) = a_s \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \left(\frac{T_c \cdot T_d}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo q con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_d [g]
0.000	0.240
0.173	0.593
0.520	0.593
0.600	0.514
0.650	0.453
0.760	0.405
0.840	0.367
0.921	0.335
1.001	0.308
1.081	0.285
1.161	0.266
1.241	0.248
1.322	0.233
1.402	0.220
1.482	0.208
1.562	0.197
1.642	0.188
1.722	0.179
1.803	0.171
1.883	0.164
1.963	0.157
2.043	0.151
2.123	0.145
2.204	0.140
2.289	0.130
2.375	0.120
2.460	0.112
2.546	0.105
2.631	0.098
2.717	0.092
2.802	0.087
2.888	0.081
2.973	0.077
3.059	0.073
3.145	0.069
3.230	0.065
3.316	0.062
3.401	0.059
3.487	0.056
3.572	0.053
3.658	0.051
3.743	0.048
3.829	0.046
3.914	0.044
4.000	0.042

7.7 Spinta statica del terreno

Le spinte del terreno a monte del tombino sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a $S=1/2 \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot H^2$, applicata ad 1/3 dal basso.

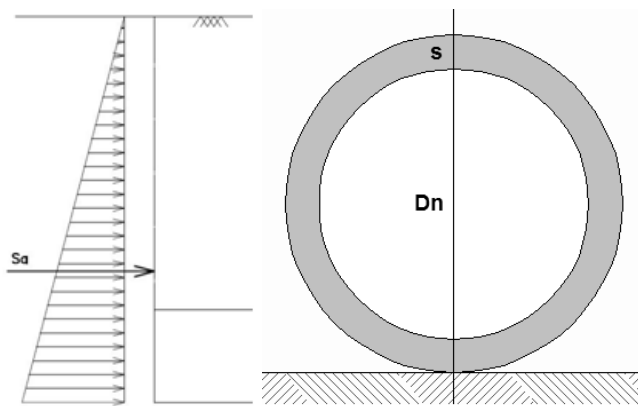


Fig. 5 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta a riposo k_0 .

7.8 Spinta dovuta al sovraccarico permanente e accidentale sul rilevato

Per considerare la presenza del sovraccarico permanente della sovrastruttura ferroviaria e del sovraccarico accidentale associato al traffico gravante a tergo, si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a $S=k_0 \cdot q \cdot H$, con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

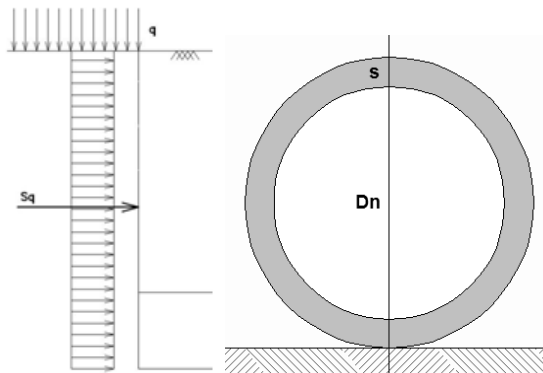


Fig. 6 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

7.9 Sovrappinta sismica

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovrappinta sismica è calcolata con la teoria di Wood, risultando in un valore di spinta al metro, distribuito uniformemente sull'intera altezza del piedritto, da applicare ad una quota pari ad H/2.

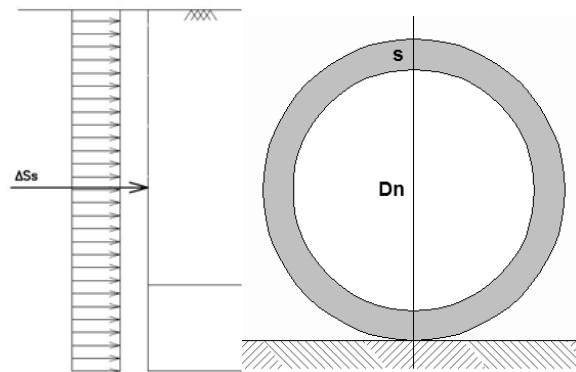


Fig. 7 – Schema per il calcolo degli effetti della sovrappinta sismica

8 COMBINAZIONE DEI CARICHI

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione Rara (SLE irreversibile):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Frequente (SLE reversibile):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{12} \cdot Q_{k2} + \psi_{13} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NTOI 04 D 26 CL IN 02 00 001 A 20 di 42

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella seguente.

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.

Tab. 1 – Valutazione dei carichi da traffico

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali ed i coefficienti di combinazione ψ delle tabelle seguenti.

		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

Tab. 2 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, Eccezionali e Sismica

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	g_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	g_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g_4	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.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione ψ delle azioni

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)					
	PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500 Relazione di calcolo	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 02 00 001	REV. A

9 VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche sono condotte nel rispetto di quanto dichiarato nell'istruttoria RFI DTC INC PO SP IFS 001 A § 1.8.3.

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

9.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-presso-flessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

9.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	23 di 42

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}, \text{ resistenza di}$$

calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio

$$V_{Rd,s} = 0.9 \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \alpha + \cot \vartheta) \cdot \sin \alpha, \text{ valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere}$$

sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento

$$V_{Rd,max} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} (\cot \alpha + \cot \vartheta) / (1 + \cot^2 \vartheta), \text{ valore di progetto del massimo sforzo di taglio}$$

che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm;}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

A_{s1} è l'area dell'armatura tesa;

b_w è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd};$$

N_{Ed} è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

A_c è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$ è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

A_{sw} è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

s è il passo delle staffe;

f_{ywd} è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio;

	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)					
	PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500 Relazione di calcolo	COMMESSA NT01	LOTTO 04	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 02 00 001	REV. A

$f'_{cd} = 0.5 \cdot f_{cd}$ è la resistenza ridotta a compressione del calcestruzzo d'anima;

$\alpha_{cw} = 1$ è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

9.3 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$$\sigma_c < 0.55 f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.40 f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.75 f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

Nel secondo caso, si verifica che le aperture delle fessure siano inferiori al valore limite dell'apertura delle fessure nella combinazione caratteristica Rara. I valori nominali di riferimento sono:

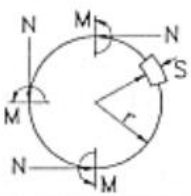
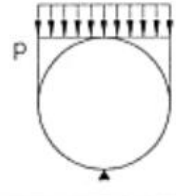
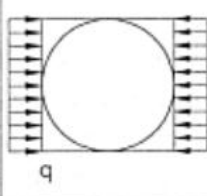
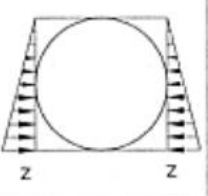
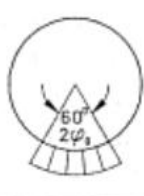
$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

10 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Per il calcolo del tubo si è fatto riferimento al D.M. 23-2 1971, N. 2445.

	A	B	C	D	E
	PESO PROPRIO	CARICO RIPARTITO SUPERIORE	CARICO RIPARTITO LATERALE	CARICO TRIANGOLARE LATERALE	REAZIONE RADIALE COSTANTE SETTORE $2\varphi_0 = 60^\circ$
SCHEMA					
SEZIONE VERTICALE SUPERIORE	$M = \frac{1}{2} \gamma_1 sr^2$ $N = -\frac{1}{2} \gamma_1 sr$	$M = \left(\frac{4}{3\pi} - \frac{1}{8}\right) pr^2 = 0.29941 pr^2$ $N = -\frac{1}{3\pi} pr = -0.10610 pr$	$M = -\frac{1}{4} qr^2$ $N = qr$	$M = -\frac{5}{48} zr^2 = -0.10417 zr^2$ $N = \frac{5}{16} zr = 0.31250 zr$	$(Q = \text{reazione totale})$ $M = -0.0073038 Qr$ $N = 0.014817 Q$
SEZIONE ORIZZONTALE MEDIANA	$M = -\frac{\pi-2}{2} \gamma_1 sr^2 = -0.57080 \gamma_1 sr^2$ $N = \frac{\pi}{2} \gamma_1 sr = 1.57080 \gamma_1 sr$	$M = \left(\frac{1}{\pi} - \frac{5}{8}\right) pr^2 = -0.30669 pr^2$ $N = pr$	$M = \frac{1}{4} qr^2$ $N = 0$	$M = \frac{1}{8} zr^2 = 0.125 zr^2$ $N = 0$	$M = 0.0075118 Qr$ $N = 0$
SEZIONE VERTICALE INFERIORE	$M = \frac{3}{2} \gamma_1 sr^2$ $N = \frac{1}{2} \gamma_1 sr$	$M = \left(\frac{2}{3\pi} + \frac{3}{8}\right) pr^2 = 0.58721 pr^2$ $N = \frac{1}{3\pi} pr = 0.10610 pr$	$M = -\frac{1}{4} qr^2$ $N = qr$	$M = -\frac{7}{48} zr^2 = -0.14583 zr^2$ $N = \frac{11}{16} zr = 0.68750 zr$	$M = -0.11165 Qr$ $N = 0.11916 Q$

	<p>LINEA MODANE-TORINO</p> <p>ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA</p> <p>REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)</p>												
<p>PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500</p> <p>Relazione di calcolo</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NT01</td> <td>04</td> <td>D 26 CL</td> <td>IN 02 00 001</td> <td>A</td> <td>26 di 42</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	26 di 42
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	26 di 42								

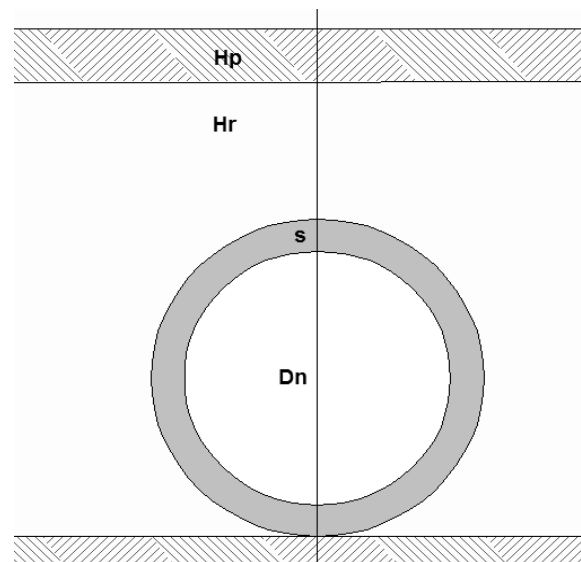
Dove:

- A) Peso proprio della tubazione
- B) Carico ripartito superiore (peso del terrapieno sovrastante la tubazione ed il carico mobile);
- C) Carico ripartito laterale (parte rettangolare del diagramma di spinta del terreno per rilevato e sovraccarico permanente più accidentale, inerzia sismica del tombino, spinta del terreno in condizioni sismiche);
- D) Pressione laterale variabile (parte triangolare del diagramma di spinta del terreno)
- E) Reazione totale data dalla somma di tutti i carichi verticali agenti sulla tubazione.

10.1 Analisi dei carichi

Geometria

Caratteristiche materiali e terreno				
Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ		25.00	kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo			C30/37	
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R_{ck}		37	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f_{ck}		31	N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E		33000	N/mm ²
Ballast - Peso specifico	γ_b		18	kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ		20	kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ		38	°
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			ordinarie	
Ricoprimento				
Spessore ballast+armamento	H_b		0.80	m
Spessore medio traversina+binario	H_t		0.35	m
Spessore ballast sotto la traversina			0.45	m
Spessore del rinterro	H_r		1.50	m
Geometria				
Diametro nominale (interno)	D_n		1.50	m
Spessore	s		0.16	m
Raggio medio	r		0.83	m



Tab. 4: Geometria del modello



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	28 di 42

Azioni elementari applicate

Carichi permanenti					
Peso proprio	g1			20.86	kN/m
Peso ballast	Ps	$18.00 \cdot 0.8 =$		14.40	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	$20.00 \cdot 1.5 =$		30.00	kN/m ²
Totale				44.40	kN/m²
Carichi accidentali sulla copertura LM71 (Condizioni ACC-M e ACC-T)					
Coefficiente dinamico					
Lunghezza caratteristica per coeff. din.	L_0			1.00	m
Coefficiente dinamico	Φ_3			1.35	
Qvk					
Coefficiente di adattamento	α			1.00	
Larghezza traversa	Lt			2.30	m
Impronta di carico y	Ld1	$2.30 + 2 \times (0.45/4 + 1.50 \times \tan(38^\circ) + 0.16/2) =$		5.03	m
Impronta di carico x	Ld2	$0.8 + 1.6 + 1.6 + 1.6 + 0.8 =$		6.40	m
Impronta		$6.40 \cdot 5.03 =$		32.18	m ²
Carico Qvk (totale)				1000	kN
Carico Qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.35 \cdot 1000 / (5.03 \cdot 6.40) =$		41.95	kN/m²
qvk					
Carico qvk				80	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.35 \cdot 80 / 5.03 =$		21.48	kN/m²



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	29 di 42

Relazione di calcolo

Spinta del terreno

K0		$1 - \sin(32^\circ) =$	0.470	
Spinta dovuta al terreno all'estradosso			14.10	kN/m ²
Spinta dovuta al terreno all'intradosso			31.21	kN/m ²
Contributo di spinta rettangolare			14.10	kN/m²
Contributo di spinta triangolare			17.11	kN/m²
Spinta dovuta al sovraccarico permanente			6.77	kN/m²

Spinta del carico accidentale

Spinta dovuta al q1	p	$0.470 \cdot (41.95+21.48) =$	29.81	kN/m²
---------------------	---	-------------------------------	--------------	-------------------------

Sisma orizzontale

Stato limite			SLV	
Vita nominale	V _N		50	anni
Classe d'uso	C _U		III	
Coefficiente C _U	C _U		1.5	
Periodo di riferimento	V _R		75	anni
accelerazione orizzontale	a _g /g		0.151	
amplificazione spettrale	F _o		2.473	
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	C	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S _s		1.476	
Coeff. Amplificazione topografica	S _t		1	
Coefficiente S	S	=S _s · S _t	1.476	
accelerazione orizzontale max	a _{max} /g	=a _g /g · S	0.223	
Fattore di struttura	q		1.00	
Forza orizz.	FHp		0.89	kN/m²

Spinta del terreno in fase sismica

Coefficiente sismico orizzontale	k _h	=a _{max} /g	0.223	
Coefficiente sismico verticale	k _v	= ±0.5 · k _h	0.111	
Risultante della spinta sismica	ΔS _E	= (a _{max} /g) · γ · (Hint+S _s +S _f) ²	49.1	kN/m
Pressione risultante	Δp _E	= ΔS _E / H	14.8	kN/m²



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	30 di 42

Combinazioni:

	g1	g2	Acc	g3-sx	g3-dx	SIS-sx	SIS-dx	Term
SLU-01	1.35	1.50	1.45	1.00	1.00	0.00	0.00	0.90
SLU-02	1.35	1.50	1.45	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90
SLU-03	1.35	1.50	1.45	1.35	1.00	0.00	0.00	0.90
SLU-04	1.35	1.50	1.45	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90
SLU-05	1.35	1.50	1.45	1.00	1.00	0.00	0.00	-0.90
SLU-06	1.35	1.50	1.45	1.35	1.35	0.00	0.00	-0.90
SLU-07	1.35	1.50	1.45	1.35	1.00	0.00	0.00	-0.90
SLU-08	1.35	1.50	1.45	1.00	1.35	0.00	0.00	-0.90
SLU-09	1.35	1.50	1.16	1.00	1.00	0.00	0.00	1.50
SLU-10	1.35	1.50	1.16	1.35	1.35	0.00	0.00	1.50
SLU-11	1.35	1.50	1.16	1.35	1.00	0.00	0.00	1.50
SLU-12	1.35	1.50	1.16	1.00	1.35	0.00	0.00	1.50
SLU-13	1.35	1.50	1.16	1.00	1.00	0.00	0.00	-1.50
SLU-14	1.35	1.50	1.16	1.35	1.35	0.00	0.00	-1.50
SLU-15	1.35	1.50	1.16	1.35	1.00	0.00	0.00	-1.50
SLU-16	1.35	1.50	1.16	1.00	1.35	0.00	0.00	-1.50
SIS-01	1.0	1.0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5
SIS-02	1.0	1.0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	-0.5
QP-01	1.0	1.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	0.5
QP-02	1.0	1.0	0.0	0.7	0.7	0.0	0.0	-0.5
FR-01	1.0	1.0	0.80	1.0	1.0	0.0	0.0	0.6
FR-02	1.0	1.0	0.80	1.0	1.0	0.0	0.0	-0.6
FR-03	1.0	1.0	1.00	0.7	0.7	0.0	0.0	0.5
FR-04	1.0	1.0	1.00	0.7	0.7	0.0	0.0	-0.5

Dove:

- G1** → permanenti
- G2** → permanenti non strutturali
- ACC** → carico accidentale
- G3** → Spinta del terreno
- SIS** → Sisma
- TERM** → Termica



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NTOI	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	31 di 42

10.2 Sollecitazioni

		Sezione verticale superiore		Sezione orizzontale mediana		Sezione verticale inferiore		
		M kN m	N kN	M kN m	N kN	M kN m	N kN	
A - Peso proprio								
g1	20.9 kN/m	1.38	-1.66	-1.57	5.22	4.13	1.66	
B - Carico ripartito superiore								
g2	44.40 kN/m ²	9.16	-3.91	-9.38	36.85	17.96	3.91	
Acc	63.42 kN/m ²	13.08	-5.59	-13.40	52.64	25.66	5.59	
C - Carico ripartito laterale								
g3	14.1 kN/m ²	-2.43	11.71	2.43	0.00	-2.43	11.71	
g2	6.8 kN/m ²	-1.17	5.62	1.17	0.00	-1.17	5.62	
Acc	29.8 kN/m ³	-5.13	24.74	5.13	0.00	-5.13	24.74	
SIS	0.89 kN/m ²	-0.15	0.74	0.15	0.00	-0.15	0.74	
SPINTA SISMICA	14.80 kN/m ²	-2.55	12.28	2.55	0.00	-2.55	12.28	
D - Carico triangolare laterale								
g3	17.11 kN/m ²	-1.23	4.44	1.47	0.00	-1.72	9.76	
E - Reazione radiale costante								
Acc	105.3 kN	-0.64	1.56	0.66	0.00	-9.76	12.55	
g1	34.6	-0.21	0.51	0.22	0.00	-3.21	4.13	
g2	73.7 kN	-0.45	1.09	0.46	0.00	-6.83	8.78	

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)					
	PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500 Relazione di calcolo	COMMESSA NT0I	LOTTO 04	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 02 00 001	REV. A

	N	M
	[kN]	[kNm]
g1	-1.15	1.17
g2	2.80	7.55
Acc	20.72	7.31
g3-sx	16.14	-3.66
g3-dx	0.00	0.00
SIS-sx	13.02	-2.70
SIS-dx	0.00	0.00
Term	0.00	0.00

Tab. 5: Azioni elementari – sezione verticale superiore

	N	M
	[kN]	[kNm]
SLU-01	48.84	19.84
SLU-02	54.49	18.56
SLU-03	54.49	18.56
SLU-04	48.84	19.84
SLU-05	48.84	19.84
SLU-06	54.49	18.56
SLU-07	54.49	18.56
SLU-08	48.84	19.84
SLU-09	42.83	17.72
SLU-10	48.48	16.44
SLU-11	48.48	16.44
SLU-12	42.83	17.72
SLU-13	42.83	17.72
SLU-14	48.48	16.44
SLU-15	48.48	16.44
SLU-16	42.83	17.72
SIS-01	34.96	3.82
SIS-02	34.96	3.82
QP-01	12.95	6.15
QP-02	12.95	6.15
FR-01	34.37	10.90
FR-02	34.37	10.90
FR-03	33.67	13.46
FR-04	33.67	13.46

Tab. 6: Azioni combinate – sezione verticale superiore



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	33 di 42

	N	M
	[kN]	[kNm]
g1	5.22	-1.36
g2	36.85	-7.76
Acc	52.64	-7.61
g3-sx	0.00	3.90
g3-dx	0.00	0.00
SIS-sx	0.00	2.70
SIS-dx	0.00	0.00
Term	0.00	0.00

Tab. 7: Azioni elementari – sezione orizzontale

	N	M
	[kN]	[kNm]
SLU-01	138.65	-20.60
SLU-02	138.65	-19.23
SLU-03	138.65	-19.23
SLU-04	138.65	-20.60
SLU-05	138.65	-20.60
SLU-06	138.65	-19.23
SLU-07	138.65	-19.23
SLU-08	138.65	-20.60
SLU-09	123.38	-18.39
SLU-10	123.38	-17.02
SLU-11	123.38	-17.02
SLU-12	123.38	-18.39
SLU-13	123.38	-18.39
SLU-14	123.38	-17.02
SLU-15	123.38	-17.02
SLU-16	123.38	-18.39
SIS-01	52.60	-4.03
SIS-02	52.60	-4.03
QP-01	42.07	-6.38
QP-02	42.07	-6.38
FR-01	84.18	-11.30
FR-02	84.18	-11.30
FR-03	94.71	-13.99
FR-04	94.71	-13.99

Tab. 8: Azioni combinate– sezione orizzontale

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	LINEA MODANE-TORINO ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)					
	PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500 Relazione di calcolo	COMMESSA NT0I	LOTTO 04	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO IN 02 00 001	REV. A

	N	M
	[kN]	[kNm]
g1	5.79	0.92
g2	18.31	9.97
Acc	42.88	10.76
g3-sx	21.47	-4.15
g3-dx	0.00	0.00
SIS-sx	13.02	-2.70
SIS-dx	0.00	0.00
Term	0.00	0.00

Tab. 9: Azioni elementari – sezione verticale inferiore

	N	M
	[kN]	[kNm]
SLU-01	118.92	27.66
SLU-02	126.43	26.21
SLU-03	126.43	26.21
SLU-04	118.92	27.66
SLU-05	118.92	27.66
SLU-06	126.43	26.21
SLU-07	126.43	26.21
SLU-08	118.92	27.66
SLU-09	106.48	24.54
SLU-10	114.00	23.08
SLU-11	114.00	23.08
SLU-12	106.48	24.54
SLU-13	106.48	24.54
SLU-14	114.00	23.08
SLU-15	114.00	23.08
SLU-16	106.48	24.54
SIS-01	67.16	6.19
SIS-02	67.16	6.19
QP-01	39.13	7.99
QP-02	39.13	7.99
FR-01	79.87	15.35
FR-02	79.87	15.35
FR-03	82.00	18.75
FR-04	82.00	18.75

Tab. 10: Azioni combinate – sezione verticale inferiore



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	35 di 42

10.3 Verifiche strutturali

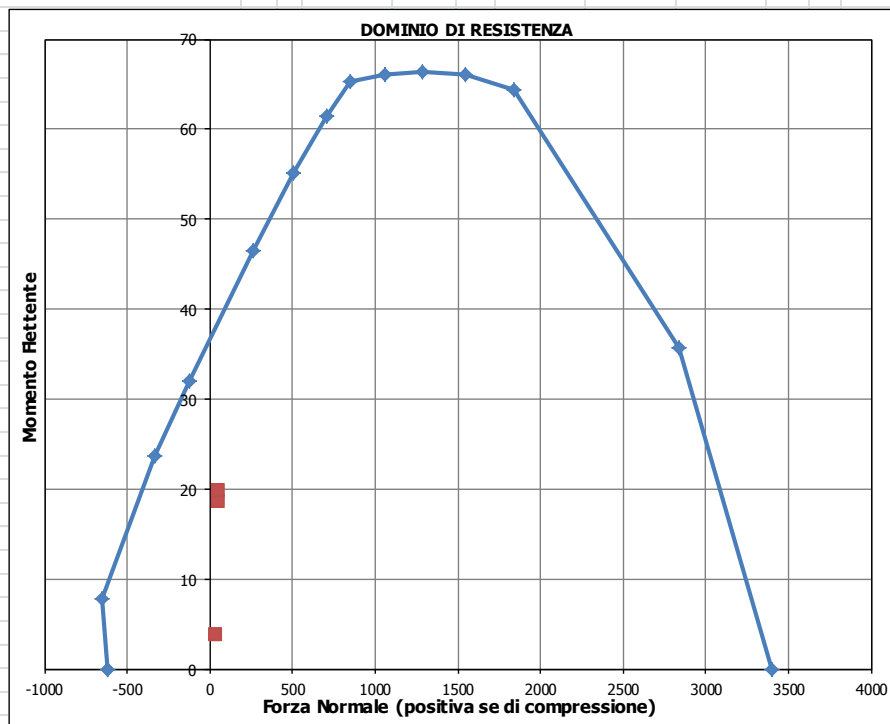
10.3.1 Verifica sezione verticale superiore

- Verifica a pressoflessione

Acciaio				Calcestruzzo			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²	Tipo	C30/37		
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²	R_{ck}	37 N/mm ²		
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15	f_{ck}	30.71 N/mm ²		
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²	γ_c	1.5		
Modulo elastico	E_s	=	205000 N/mm ²	f_{cd}	20.5 N/mm ²		
	ϵ_{yd}	=	0.00191	f_{cc}	17.4 N/mm ²		

Geometria della sezione				Armatura tesa				Armatura compressa			
Altezza geometrica della sezione	h	=	16 cm	N° ferri	Diametro	Area		N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	b	=	100 cm	10	10	7.85 cm ²		10	10	7.85 cm ²	
Copriferro	d'	=	5 cm			0.00 cm ²				0.00 cm ²	
Altezza utile della sezione	d	=	11 cm			0.00 cm ²				0.00 cm ²	
						7.85 cm²				7.85 cm²	

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd	Msd
SLU-02	54.49	18.56
SIS-01	34.96	3.82
SLU-01	48.84	19.84
SIS-01	34.96	3.82





LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NTOI	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	36 di 42

Relazione di calcolo

- Verifica a fessurazione

Sollecitazioni

Momento flettente	M	13.46	kN m
Sforzo normale	N	33.67	kN

Materiali

Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	11.5	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	260	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	16	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	7.85	cm ²	10 Ø 10	$C_{s1} = 5$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = 0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{t2} = 0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	7.85	cm ²	10 Ø 10	$C_{t1} = 5$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.9	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	147.6	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	40.0	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	32.0	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	4.5	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	1820	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	36253.9	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	8063.97	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	10.3	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	14	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	42.8	cm	
	u (M_{fess})	34.8	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	7.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	159.9	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	4.5	cm	
	β_1	1		
	β_2	0.5		
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.00029		
Copri ferro netto	c'	4.5	cm	
Altezza efficace	d_{eff}	12.0	cm	
Area efficace	AC_{eff}	1200	cm ²	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	7.9	cm ²	
	ρ_r	0.00654		
Distanza tra le barre	s	10.0	cm	
	K_2	0.4		
	K_3	0.125		
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	18.6	cm	
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.05	mm	
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.09	mm	



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	37 di 42

10.3.2 Verifica sezione orizzontale mediana

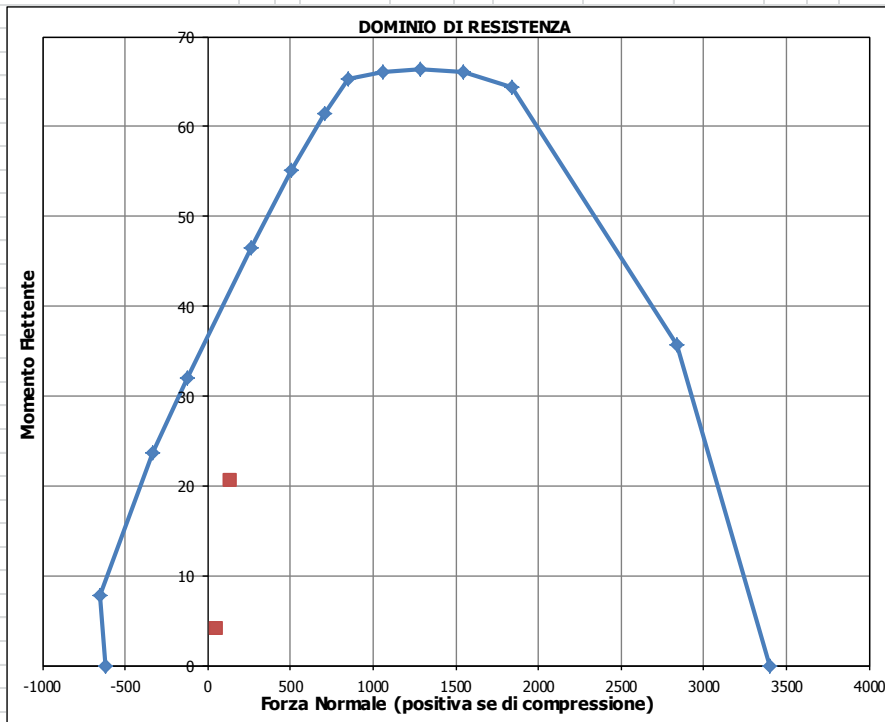
- Verifica a pressoflessione

Acciaio				Calcestruzzo			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²	Tipo	C30/37		
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²	R_{ck}	37	N/mm ²	
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15	f_{ck}	30.71	N/mm ²	
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²	γ_c	1.5		
Modulo elastico	E_s	=	205000 N/mm ²	f_{cd}	20.5	N/mm ²	
	ϵ_{yd}	=	0.00191	f_{cc}	17.4	N/mm ²	

Geometria della sezione				Armatura tesa				Armatura compressa			
Altezza geometrica della sezione	h	=	16 cm	N° ferri	Diametro	Area		N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	b	=	100 cm	10	10	7.85	cm ²	10	10	7.85	cm ²
Copriferro	d'	=	5 cm			0.00	cm ²			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	d	=	11 cm			0.00	cm ²			0.00	cm ²
						7.85	cm²			7.85	cm²

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd
SLU-01	138.65	20.60
SIS-01	52.60	4.03
SIS-01	52.60	4.03
SLU-01	138.65	20.60





LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	38 di 42

- Verifica a fessurazione

Sollecitazioni					
Momento flettente	M	6.38	kN m		
Sforzo normale	N	42.07	kN		
Materiali					
Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²		
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²		
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²		
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²		
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²		
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15			
Caratteristiche geometriche					
Altezza sezione	H	16	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	7.85	cm ²	10 Ø 10	$C_{s1} = 5$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = 0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{t2} = 0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	7.85	cm ²	10 Ø 10	$C_{t1} = 5$ cm
Tensioni nei materiali					
Compressione max nel cls.	σ_c	3.1	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	52.2	N/mm ²	<	σ_{samm}
Eccentricità	e (M)	15.2	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	7.2	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	5.2	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	1820	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	36253.9	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	8669.66	cm ⁴		
Verifica a fessurazione					
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	10.6	kN m	La sezione non è fessurata	



LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	39 di 42

Relazione di calcolo

10.3.3 Verifica sezione verticale inferiore

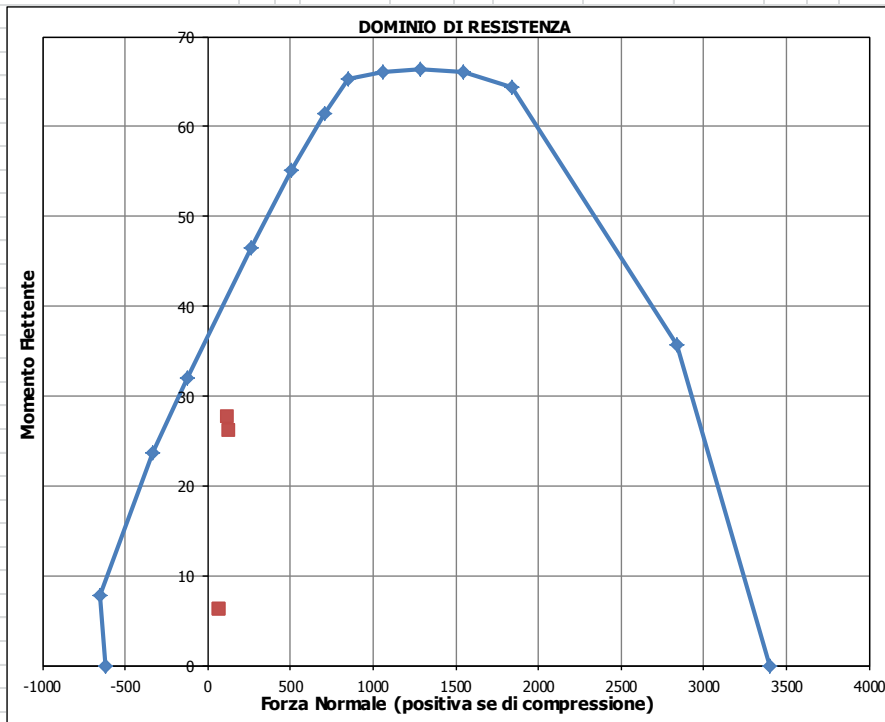
- Verifica a pressoflessione

Acciaio				Calcestruzzo			
Tensione car. di rottura	f_{tk}	=	540 N/mm ²	Tipo	C30/37		
Tensione car. di snervamento	f_{yk}	=	450 N/mm ²	R_{ck}	37	N/mm ²	
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	=	1.15	f_{ck}	30.71	N/mm ²	
Resistenza di calcolo	f_{yd}	=	391 N/mm ²	γ_c	1.5		
Modulo elastico	E_s	=	205000 N/mm ²	f_{cd}	20.5	N/mm ²	
	ϵ_{yd}	=	0.00191	f_{cc}	17.4	N/mm ²	

Geometria della sezione				Armatura tesa				Armatura compressa			
Altezza geometrica della sezione	h	=	16 cm	N° ferri	Diametro	Area		N° ferri	Diametro	Area	
Base della sezione	b	=	100 cm	10	10	7.85	cm ²	10	10	7.85	cm ²
Copriferro	d'	=	5 cm			0.00	cm ²			0.00	cm ²
Altezza utile della sezione	d	=	11 cm			0.00	cm ²			0.00	cm ²
						7.85	cm²			7.85	cm²

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd
SLU-02	126.43	26.21
SIS-01	67.16	6.19
SLU-01	118.92	27.66
SIS-01	67.16	6.19





LINEA MODANE-TORINO

ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA

REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	40 di 42

Relazione di calcolo

- Verifica a fessurazione

Sollecitazioni					
Momento flettente	M	18.75	kN m		
Sforzo normale	N	82.00	kN		
Materiali					
Res. caratteristica cls	R_{ck}	37	N/mm ²		
Tensione ammissibile cls	σ_{camm}	11.5	N/mm ²		
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.0	N/mm ²		
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.1	N/mm ²		
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	260	N/mm ²		
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15			
Caratteristiche geometriche					
Altezza sezione	H	16	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	7.85	cm ²	10 Ø 10	$C_{s1} = 5$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = 0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{t2} = 0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	7.85	cm ²	10 Ø 10	$C_{t1} = 5$ cm
Tensioni nei materiali					
Compressione max nel cls.	σ_c	9.5	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	181.4	N/mm ²	<	σ_{samm}
Eccentricità	e (M)	22.9	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	14.9	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	4.8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	1820	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	36253.9	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	8243.08	cm ⁴		
Verifica a fessurazione					
Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	11.6	kN m	La sezione è fessurata	
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	16	kN m		
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	19.1	cm		
	u (M_{fess})	11.1	cm		
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	7.8			
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	141.9	N/mm ²		
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	5.0	cm		
	β_1	1			
	β_2	0.5			
Deform. unitaria media dell'arm.	ϵ_{sm}	0.0006			
Copriferro netto	c'	4.5	cm		
Altezza efficace	d_{eff}	12.0	cm		
Area efficace	$A_{c_{eff}}$	1200	cm ²		
Armatura nell'area efficace	$A_{s_{eff}}$	7.9	cm ²		
	ρ_r	0.00654			
Distanza tra le barre	s	10.0	cm		
	K_2	0.4			
	K_3	0.125			
Distanza media tra le fessure	s_{rm}	18.6	cm		
Valore medio dell'ap. delle fessure	w _m	0.11	mm		
Valore caratter. dell'ap. delle fessure	w _k	0.19	mm		

**LINEA MODANE-TORINO****ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA****REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)**

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	41 di 42

11 INCIDENZE

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

Sezione circolare

90 kg/mc

**LINEA MODANE-TORINO****ADEGUAMENTO LINEA STORICA TRATTA BUSSOLENO-AVIGLIANA****REALIZZAZIONE DI PRECEDENZE A MODULO 750 m NELLE LOCALITA' DI BORGONE-BRUZOLO (BIN. DISPARI) E CONDOVE-VAIE (BIN. PARI)**

PM BRUZOLO IN02 – TOMBINO DN 1500

Relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT01	04	D 26 CL	IN 02 00 001	A	42 di 42

12 CONCLUSIONI

Con la presente relazione si è proceduto al progetto e alla verifica del sottopasso scatolare allo stato limite ultimo e allo stato limite di esercizio.

Le verifiche strutturali rispettano le indicazioni delle Normative tecniche di riferimento.