



Autostrada Asti-Cuneo

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)
LOTTO 6 RODDI-DIGA ENEL

STRALCIO a
TRA IL LOTTO II.7 E LA PK. 5+000

PROGETTO DEFINITIVO

07 - OPERE D'ARTE MINORI

07.04 - Tombini circolari
Relazione di calcolo tombini circolari

IMPRESA 	PROGETTISTA 	INTEGRATORE ATTIVITA' SPECIALISTICHE Dott. Ing. Salvatore Sguazzo Albo degli Ingegneri provincia di Salerno n. 5031 	COMMITTENTE Autostrada Asti-Cuneo S.p.A. Direzione e Coordinamento: S.A.L.T. p.A. (Gruppo ASTM) Via XX Settembre, 98/E 00187 Roma
--	--	--	---

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA	SCALA
A	05-2021	EMISSIONE	Ing. Zanelotti	Ing. Molteni	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	MAGGIO 2021	-
							N. Progr.	
							07.04.01	

CODIFICA	PROGETTO	LIV	DOCUMENTO	REV	WBS
	P017	D	OMN RC	001 A	A33126A000
					CUP
					G31B20001080005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
2.1. NORMATIVE	4
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
3.1. CALCESTRUZZO PER TUBO PREFABBRICATO	5
3.2. ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE	5
4. VERIFICA TUBAZIONI.....	6
4.1. METODO DI CALCOLO	6
4.1.1. <i>Determinazione del carico di schiacciamento</i>	6
4.1.2. <i>Condizioni di appoggio e coefficienti di posa</i>	6
4.1.3. <i>Formule di verifica e calcolo</i>	6
4.1.4. <i>Calcolo della classe di resistenza</i>	6
4.2. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 1 M	10
4.3. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 2 M	10
4.4. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 3 M	11
4.5. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 4 M	12
4.6. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 5.15 M	13
4.7. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 1 M	14
4.8. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 2 M	15
4.9. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 3 M	16
4.10. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 4 M	16
4.11. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 5 M	17
4.12. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 6 M	18
4.13. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 7 M	19
4.14. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 8 M	20
4.15. TOMBINO DN 600 RICOPRIMENTO 0.55 M	21
4.16. CLASSE DI RESISTENZA TOMBINI CIRCOLARI	22

1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione definitiva relativa al lotto II6a della Asti-Cuneo, è prevista la realizzazione di tombini circolari e scatolari, al fine di garantire la continuità idraulica al disotto della sede autostradale. Nella presente relazione sono riportate le verifiche degli attraversamenti idraulici costituiti da un tubo a sezione circolare in conglomerato cementizio armato, con base piana di appoggio.

Per il tombino circolare le unioni dei vari elementi sono del tipo bicchiere. Le principali caratteristiche geometriche sono riportate nella seguente tabella:

Diametro interno DN [mm]	Spessore s [mm]
600	80
1000	120
1500	160

Gli spessori dovranno essere confermati e definiti sulla base delle azioni sollecitanti di seguito descritte dal fornitore.

Il tombino circolare, prefabbricato in stabilimento specializzato, deve risultare idoneo allo smaltimento delle acque e a sopportare i carichi stradali di 1^a Categoria ed i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante l'elemento.

I tombini circolari lungo la tratta sono di seguito elencati e per ciascuno è indicato il ricoprimento minimo e massimo:

Tombino idraulico circolare	Minimo	Massimo
	[m]	[m]
Pk 1+220.15 DN1500	1.00	2.50
Pk 1+302.50 DN1500	1.60	3.00
Pk 1+492.15 DN1500	3.30	5.15
Pk 1+541.34 DN 1000	4.70	5.70
Pk 1+601.30 DN 1000	2.50	3.30
Pk 1+707.90 DN 1000	6.90	8.00
Pk 3+050.80 DN 1000	4.10	7.00
Pk 3+180.11 DN 1000	4.70	5.10
Pk 3+229.32 DN 600	0.55	0.65
Pk 3+282.41 DN 1000	4.30	4.40
Pk 3+700.00 DN 1000	1.30	3.60
Pk 4+196.89 DN 1000	1.80	3.20
Pk 4+500.00 DN 1500	1.85	3.80

Gli elementi dovranno risultare idonei:

- a sopportare i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante;
- a sopportare i sovraccarichi mobili;

- allo smaltimento delle acque ed a sopportare le spinte dell'acqua interna.

I tombini circolari sono posati su una soletta di base in c.a. armata con rete elettrosaldata e rinfiancati fino a 20 cm sopra la calotta con misto cementato, come riportato nella figura seguente.

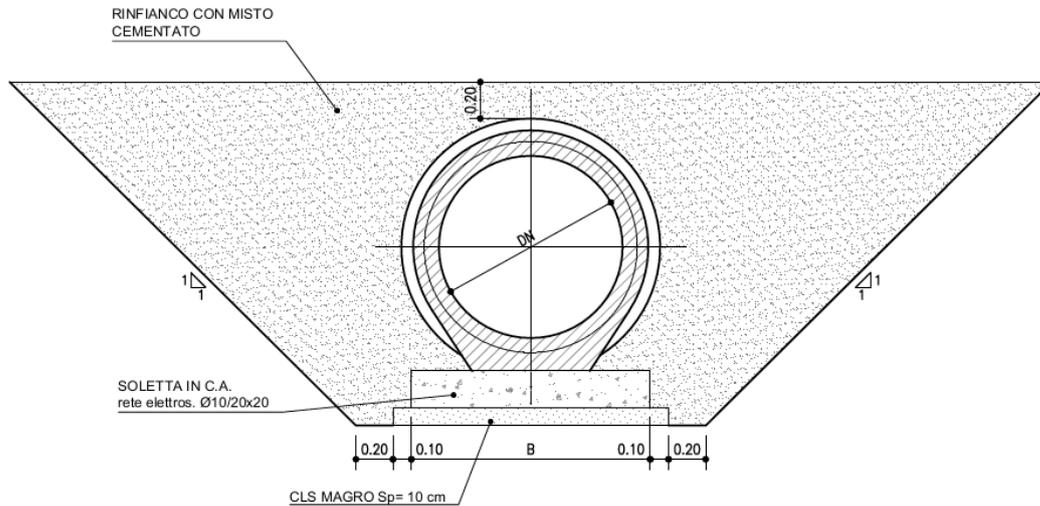


Figura 1 - Sezione trasversale tombino circolare

2. NORMATIVE E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1. NORMATIVE

Nell'esecuzione dei calcoli si fa riferimento alla legislazione vigente con particolare riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- UNI 11104:2016 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”, Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1;
- UNI EN 206-1:2006 – “Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- D. M. 04/04/2014 – Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto;
- D.M. 12 dicembre 1985 – Norme tecniche relative alle tubazioni.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel presente capitolo si riassumono le caratteristiche dei materiali utilizzate ai fini del dimensionamento delle nuove strutture di impalcato.

3.1. CALCESTRUZZO PER TUBO PREFABBRICATO

Classe di resistenza	C35/45
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} = 45 \text{ MPa}$
Modulo elastico	$E_c = 34625 \text{ MPa}$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
Classe di esposizione	XC2

3.2. ACCIAIO PER ARMATURE ORDINARIE

Acciaio per armature ordinarie – B450C

f_{yk}	= 450 MPa	tensione caratteristica di snervamento
γ_s	= 1.15	coefficiente di sicurezza
f_{yd}	= 391.3 MPa	tensione di snervamento di calcolo
E_s	= 200000 MPa	modulo elastico

4. VERIFICA TUBAZIONI

4.1. METODO DI CALCOLO

Il principio di calcolo utilizzato è quello dei carichi ovalizzanti che prende in esame i carichi dovuti al rinterro ed ai sovraccarichi esterni agenti sui tubi interrati rigidi per tubi senza pressione interna. Note le azioni sollecitanti è determinata la classe di resistenza minima che il tubo deve possedere.

4.1.1. Determinazione del carico di schiacciamento

Simulando che la tubazione sia nelle medesime condizioni di quelle in cui si trova quando viene sottoposta alla prova di schiacciamento standard in laboratorio, mediante programma automatico di calcolo, viene determinato il carico di schiacciamento teorico per metro di condotta. Si considera che il tubo appoggi su due traversi di legno posti a distanza di $1/3 D_n$ e che sia soggetto ad una forza verticale in chiave, ripartita su un tratto di 10 cm rappresentante l'ala del profilato di ripartizione su cui poggia il martinetto, che cresce fino ad arrivare allo schiacciamento. Da un punto di vista teorico lo studio si può schematizzare come un telaio chiuso e soggetto ad una forza concentrata in chiave ed al peso proprio.

4.1.2. Condizioni di appoggio e coefficienti di posa

Durante la prova di schiacciamento il tubo è in condizioni del tutto diverse da quelle di esercizio. Nelle prove sperimentali la tubazione è soggetta ad un carico concentrato ed è vincolata inferiormente su due appoggi, mentre in esercizio la tubazione appoggia invece su una lunghezza di ampiezza prefissata ed il carico verticale si può ritenere uniforme. Pertanto, si dovrà tener conto di un opportuno coefficiente denominato "Coefficiente di posa". La relazione di passaggio è:

$$P = K \cdot P_{sch}$$

Dove:

- K è il coefficiente di posa;
- P_{sch} è il carico teorico di schiacciamento;
- P è il carico di schiacciamento da confrontare con il carico totale agente in esercizio sulla tubazione.

Il coefficiente di posa è funzione del tipo di posa che viene effettuata; nei calcoli condotti nel seguito viene riportato il valore del coefficiente per il tipo di posa prescelto.

4.1.3. Formule di verifica e calcolo

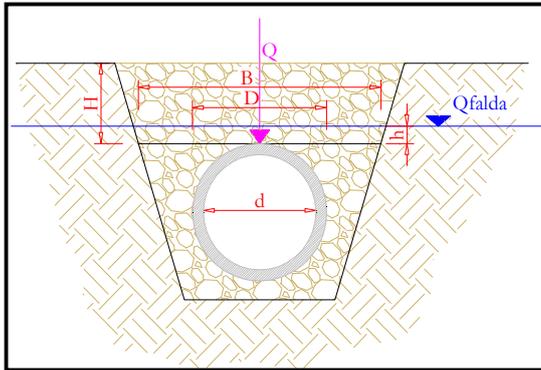
Con riferimento con quanto indicato nella letteratura tecnica si ricavano i carichi ovalizzanti ($Q_{ov,s}$), si amplificano per il coefficiente di combinazione γ (assunto cautelativamente pari a 1,5) e si dividono per il coefficiente di posa. Operando in questo modo si ricava la classe di resistenza minima necessaria per il tubo in questione ($Q_{R,D}$).

4.1.4. Calcolo della classe di resistenza

La classe di resistenza che dovrà dichiarare il costruttore verrà calcolata come di seguito riportato.

La tubazione verrà posata in trincea di opportuna larghezza alla base e con l'altezza del rinterro sopra la generatrice superiore pari alla distanza tra l'estradosso della tubazione e la quota del pavimentato. La tubazione è rigida, per cui il carico ovalizzante complessivo è dato dalla somma del carico dovuto al rinterro, al carico dovuto al sovraccarico mobile e al carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo.

Nella seguente tabella sono riassunti i dati geometrici, si considerano i tombini circolari di diametro $\phi 600$, $\phi 1000$ e $\phi 1500$.



D	0.76	m
s	0.08	m
d	0.60	m
H	0.55	m
B	2.40	m
D	1.24	m
s	0.12	m
d	1.00	m
H	1.0 / 2.0 / 3.0 / 4.0 / 5.0 / 6.0 / 7.0 / 8.0	m
B	3.90	m
D	1.82	m
s	0.16	m
d	1.50	m
H	1.0 / 2.0 / 3.0 / 4.0 / 5.15	m
B	5.60	m

Carico dovuto al rinterro:

Nella determinazione del carico permanente che sollecita una condotta interrata un ruolo importante è riservato all'azione del rinterro.

Secondo quanto definito dalla norma UNI 7517 si hanno due casistiche in relazione alla dimensione della trincea di posa che può essere definita stretta al verificarsi di una delle seguenti condizioni:

$$B \leq 2D \quad H \geq 1.5B \quad (1^{\text{a}} \text{ condizione})$$

$$2D \leq B \leq 3D \quad H \geq 3.5B \quad (2^{\text{a}} \text{ condizione})$$

Al contrario il tubo è posato in trincea larga quando le relazioni tra B, H e D differiscono da quelle sopra riportate.

Il significato dei simboli è visualizzato nella figura seguente.

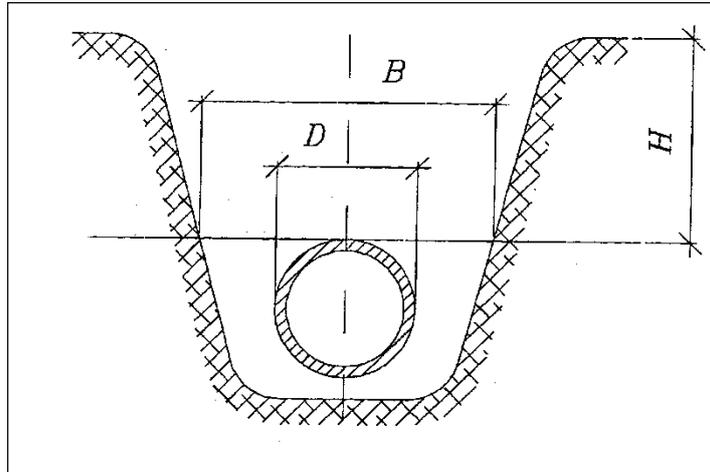


Figura 4-1. Sezione tipo di posa tubazione circolare

Nel caso di posa in **trincea stretta** il peso del rinterro QST gravante sul cielo della tubazione è diminuito, rispetto a quello corrispondente al suo volume, per l'azione che l'attrito svolge nel contatto tra il terreno indisturbato e il rinterro.

Tale contributo è computato tramite il coefficiente di carico in trincea stretta:

$$C_t = \frac{1 - e^{-2 \cdot k \cdot (H/B) \cdot \text{tg} \rho'}}{2 \cdot k \cdot \text{tg} \rho'}$$

dove: ρ angolo di attrito interno del terreno;

ρ' angolo di attrito rinterro – terreno naturale;

k coefficiente di spinta attiva del rinfianco pari a $\text{tg}^2 (45^\circ - \rho/2)$;

In definitiva, il carico alla quota della generatrice superiore della condotta, espresso in kN/m è:

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

dove: γ_t peso specifico del terreno in kN/m³.

Una **trincea** si considera **larga** quando non è soddisfatta nessuna delle condizioni precedenti. In essa viene meno la collaborazione attrattiva delle pareti della trincea, che sono notevolmente distanti dal prisma di terreno direttamente gravante sul cielo della tubazione. Per semplicità, in virtù di tale osservazione si considera come carico da rinterro la quantità derivante dalla seguente relazione:

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

dove il coefficiente di posa in trincea larga assume le seguenti espressioni:

$$C_e = 0.1 + 0.85 \cdot (H/D) + 0.33 \cdot (H/D)^2 \quad \text{per} \quad H/D \leq 2.66$$

$$C_e = 0.1 + 1.68 \cdot (H/D) \quad \text{per} \quad H/D > 2.66$$

Non essendo verificate entrambe le due condizioni $B < 2D$ e $H > 1.5D$ la posa è in trincea larga.

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

L'espressione del carico mobile concentrato in corrispondenza della generatrice superiore del tubo è la seguente:

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

dove φ è il coefficiente dinamico la cui espressione è:

$$\varphi = 1 + 0.3 / H \quad \text{per strade e autostrade}$$

Per il carico dovuto ai sovraccarichi mobili si prenderanno in considerazione le tre condizioni di carico rappresentate da:

- un carico mobile di 600 KN su area 1.6 x 2.4 m;
- un carico mobile di 300 KN su area 0.4 x 2.4 m;
- un carico concentrato da 150 KN su impronta quadrata da 0.40x0.40 m.

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

Il carico verticale sulla generatrice superiore del tubo, dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo riempito per tre quarti è dato dalla relazione seguente.

$$P_a = 5.788 \cdot d$$

dove d è il diametro interno del tubo in metri e il carico è espresso in kN/m.

Risultante dei carichi ovalizzanti:

La risultante dei carichi ovalizzanti, ipotizzando nullo il carico dovuto alla spinta idrostatica, risulta pari a:

$$Q_{tot} = Q_{S/LT} + P_{vd} + P_{vc} + P_a + Q_w \quad [\text{kN/m}]$$

Il coefficiente di posa, data la protezione in calcestruzzo prevista, si assume $K=3.0$, sulla base degli schemi seguenti (la tubazione presenta base orizzontale, è posata su appoggio in cls ed è contenuta da misto cementato fin sopra la calotta).

Per il tombino completamente rivestito da un getto in c.a. si assume $K=4.0$.

TABELLA TIPI DI POSA IN OPERA			Ez.
1		Posa diretta sul terreno con nicchie per i bicchieri	1,1
2		Posa a 90° con nicchie per i bicchieri	1,5
3		Tubo con piede su terreno livellato	1,5
4		Posa su letto di sabbia costipata a 90° con nicchie per i bicchieri	1,5
5		Posa a 90° su selle prefabbricate in calcestruzzo $b > de$ $a = 5 \text{ cm} + 1/10 \text{ DN}$ minimo 10 cm	1,8
6		Posa a 120° su selle prefabbricate in calcestruzzo $b > de$ $a = 5 \text{ cm} + 1/10 \text{ DN}$ minimo 10 cm	2,0
7		Posa su letto di calcestruzzo costipato sino alle reni	2,0
8		Rinfiaccio in calcestruzzo fin sopra le reni $a = 1/4 \text{ DN}$ minimo 10 cm	3-4

Figura 4-2. Coefficiente di posa tubazione circolare

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

Dal momento che la canalizzazione ha un comportamento rigido si verifica che l'azione sollecitante (si assume il coefficiente parziale γ pari a 1,5) sia superiore all'azione resistente:

$$Q_{R,D} \geq \gamma \cdot Q_{OV,S} / K$$

4.2. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 1 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	0.55	
Ce	0.67	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	44.2	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	61.6 kN/m ²
ϕ	1.30
P_{vc}	145.7 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv	54.7 kN/m ²
ϕ	1.30
P_{vc}	129.3 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv	62.7 kN/m ²
ϕ	1.30
P_{vc}	148.3 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$P_a = 13.0 \text{ kN/m}$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 205 \text{ kN/m}$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 205 / 3.0 = 103 \text{ kN/m}$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.50 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $103/1.5 = 68 \text{ kN/m}^2$.

4.3. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 2 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga

H/D	1.10	
Ce	1.43	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	94.9	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	32.8 kN/m ²
ϕ	1.15
P_{vc}	68.7 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv	23.7 kN/m ²
ϕ	1.15
P_{vc}	49.6 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv	20.7 kN/m ²
ϕ	1.15
P_{vc}	43.2 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

P_a = 13.0 kN/m

Risultante dei carichi ovalizzanti:

Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 177 kN/m

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 177 / 3.0 = 88 \text{ kN/m}$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.50 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $88/1.5 = 59 \text{ kN/m}^2$.

4.4. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 3 M
Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	1.65	
Ce	2.40	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	158.8	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	20.4 kN/m ²
φ	1.10
P_{vc}	40.8 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv	13.4 kN/m ²
φ	1.10
P_{vc}	26.8 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv	10.2 kN/m ²
φ	1.10
P_{vc}	20.3 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$$P_a = 13.0 \text{ kN/m}$$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 213 \text{ kN/m}$$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 213 / 3.0 = 106 \text{ kN/m}$$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.50 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $106/1.5 = 71 \text{ kN/m}^2$.

4.5. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 4 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	2.20	
Ce	3.56	
γ _t	20	kN/m ³
Q_{LT}	236.0	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	13.9 kN/m ²
φ	1.08
P_{vc}	27.1 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv	8.6 kN/m ²
----	-----------------------

ϕ 1.08
P_{vc} **16.8 kN/m**

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv 6.0 kN/m²
 ϕ 1.08
P_{vc} **11.8 kN/m**

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

P_a = 13.0 kN/m

Risultante dei carichi ovalizzanti:

Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 276 kN/m

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 276 / 3.0 = 138$ kN/m

Essendo il diametro del tubo pari a 1.50 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a 138/1.5 = 92 kN/m².

4.6. TOMBINO DN 1500 RICOPRIMENTO 5.15 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	2.83	
Ce	4.85	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	321.6	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv 9.6 kN/m²
 ϕ 1.06
P_{vc} **18.5 kN/m**

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv 5.7 kN/m²
 ϕ 1.06
P_{vc} **11.0 kN/m**

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv 3.8 kN/m²
 ϕ 1.06
P_{vc} **7.3 kN/m**

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$$P_a = 13.0 \text{ kN/m}$$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 353 \text{ kN/m}$$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 353 / 3.0 = 177 \text{ kN/m}$$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.50 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $177/1.5 = 118 \text{ kN/m}^2$.

4.7. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 1 M
Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	0.81	
Ce	1.00	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	30.8	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

$$p_v = 61.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 1.30$$

$$P_{vc} = 99.3 \text{ kN/m}$$

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

$$p_v = 54.7 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 1.30$$

$$P_{vc} = 88.1 \text{ kN/m}$$

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

$$p_v = 62.7 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 1.30$$

$$P_{vc} = 101.0 \text{ kN/m}$$

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$$P_a = 5.8 \text{ kN/m}$$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 138 \text{ kN/m}$$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 138 / 3.0 = 69 \text{ kN/m}$$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $69/1.0 = 69 \text{ kN/m}^2$.

4.8. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 2 M**Carico dovuto al rinterro:**

	Trincea larga	
H/D	1.61	
Ce	2.33	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	71.6	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

p _v	32.8 kN/m ²
ϕ	1.15
P_{vc}	46.8 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

p _v	23.7 kN/m ²
ϕ	1.15
P_{vc}	33.8 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

p _v	20.7 kN/m ²
ϕ	1.15
P_{vc}	29.5 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$$P_a = 5.8 \text{ kN/m}$$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 124 \text{ kN/m}$$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 124 / 3.0 = 62 \text{ kN/m}$$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $62/1.0 = 62 \text{ kN/m}^2$.

4.9. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 3 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	2.42	
Ce	4.09	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	125.7	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	20.4 kN/m ²
ϕ	1.10
P_{vc}	27.8 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv	13.4 kN/m ²
ϕ	1.10
P_{vc}	18.2 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv	10.2 kN/m ²
ϕ	1.10
P_{vc}	13.9 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$P_a = 5.8 \text{ kN/m}$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 159 \text{ kN/m}$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 159 / 3.0 = 80 \text{ kN/m}$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $80/1.0 = 80 \text{ kN/m}^2$.

4.10. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 4 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	3.23	
Ce	5.52	
γ_t	20	kN/m ³

Q_{LT}	169.7	kN/m
-----------------------	--------------	-------------

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	13.9 kN/m ²
φ	1.08
P_{vc}	18.5 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv	8.6 kN/m ²
φ	1.08
P_{vc}	11.5 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv	6.0 kN/m ²
φ	1.08
P_{vc}	8.0 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

P_a = 5.8 kN/m

Risultante dei carichi ovalizzanti:

Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 194 kN/m

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 194 / 3.0 = 97 \text{ kN/m}$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a 97/1.0 = 97 kN/m².

4.11. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 5 M
Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	4.03	
Ce	6.87	
γ _t	20	kN/m ³
Q_{LT}	211.4	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	10.1 kN/m ²
φ	1.06

P_{vc} **13.2 kN/m**

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv 6.0 kN/m²

φ 1.06

P_{vc} **7.9 kN/m**

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv 4.0 kN/m²

φ 1.06

P_{vc} **5.2 kN/m**

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

P_a = 5.8 kN/m

Risultante dei carichi ovalizzanti:

Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 230 kN/m

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 230 / 3.0 = 115 \text{ kN/m}$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a 115/1.0 = 115 kN/m².

4.12. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 6 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	4.84	
Ce	8.23	
γ _t	20	kN/m ³
Q_{LT}	253.1	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv 7.6 kN/m²

φ 1.05

P_{vc} **9.9 kN/m**

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv 4.4 kN/m²

φ 1.05

P_{vc} **5.8 kN/m**

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv	2.8 kN/m ²
φ	1.05
P_{vc}	3.7 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$$P_a = 5.8 \text{ kN/m}$$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 269 \text{ kN/m}$$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 269 / 3.0 = 134 \text{ kN/m}$$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $134/1.0 = 134 \text{ kN/m}^2$.

4.13. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 7 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	5.65	
Ce	9.58	
γ _t	20	kN/m ³
Q_{LT}	294.7	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

pv	6.0 kN/m ²
φ	1.04
P_{vc}	7.7 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

pv	3.4 kN/m ²
φ	1.04
P_{vc}	4.4 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

pv	2.1 kN/m ²
φ	1.04
P_{vc}	2.7 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$$P_a = 5.8 \text{ kN/m}$$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 308 \text{ kN/m}$$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 308 / 3.0 = 154 \text{ kN/m}$$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $154/1.0 = 154 \text{ kN/m}^2$.

4.14. TOMBINO DN 1000 RICOPRIMENTO 8 M
Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	6.45	
Ce	10.94	
γ_t	20	kN/m ³
Q_{LT}	336.4	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

$$p_v = 4.8 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 1.04$$

$$P_{vc} = 6.2 \text{ kN/m}$$

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

$$p_v = 2.7 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 1.04$$

$$P_{vc} = 3.5 \text{ kN/m}$$

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

$$p_v = 1.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\phi = 1.04$$

$$P_{vc} = 2.1 \text{ kN/m}$$

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$$P_a = 5.8 \text{ kN/m}$$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 348 \text{ kN/m}$$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 348 / 3.0 = 174 \text{ kN/m}$$

Essendo il diametro del tubo pari a 1.00 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $174/1.0 = 174 \text{ kN/m}^2$.

4.15. TOMBINO DN 600 RICOPRIMENTO 0.55 M

Carico dovuto al rinterro:

	Trincea larga	
H/D	0.72	
Ce	0.89	
γ_t	20	kN/m^3
Q_{LT}	10.3	kN/m

Carico dovuto ai sovraccarichi mobili:

Carico mobile 600 kN impronta 1.6x2.4 m

p_v	88.7 kN/m^2
ϕ	1.55
P_{vc}	104.2 kN/m

Carico mobile 300 kN impronta 0.4x2.4 m

p_v	96.0 kN/m^2
ϕ	1.55
P_{vc}	112.8 kN/m

Carico mobile 150 kN impronta 0.4x0.4 m

p_v	141.1 kN/m^2
ϕ	1.55
P_{vc}	165.8 kN/m

Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo:

$P_a = 2.1 \text{ kN/m}$

Risultante dei carichi ovalizzanti:

$Q_{OV,S} = Q_{LT} + P_{vc} + P_a = 178 \text{ kN/m}$

Verifica allo stato limite ultimo di resistenza

$\gamma \cdot Q_{OV,S} / K = 1.5 \cdot 178 / 4.0 = 67 \text{ kN/m}$

Essendo il diametro del tubo pari a 0.60 m la classe di resistenza del tubo deve essere superiore a $67/0.6 = 111 \text{ kN/m}^2$.

4.16. CLASSE DI RESISTENZA TOMBINI CIRCOLARI

La classe di resistenza dei tombini circolari è di seguito indicata, essa è stata definita sulla base dei calcoli riportati nei paragrafi precedenti.

Tombino idraulico circolare	Classe resistenza
	[kN/m ²]
Pk 1+220.15 DN1500	100
Pk 1+302.50 DN1500	100
Pk 1+492.15 DN1500	135
Pk 1+541.34 DN 1000	135
Pk 1+601.30 DN 1000	100
Pk 1+707.90 DN 1000	175 (*)
Pk 3+050.80 DN 1000	160 (*)
Pk 3+180.11 DN 1000	135
Pk 3+229.32 DN 600	115
Pk 3+282.41 DN 1000	135
Pk 3+700.00 DN 1000	100
Pk 4+196.89 DN 1000	100
Pk 4+500.00 DN 1500	100

(*) tubi con classe di resistenza che non rientrano nella produzione standard