



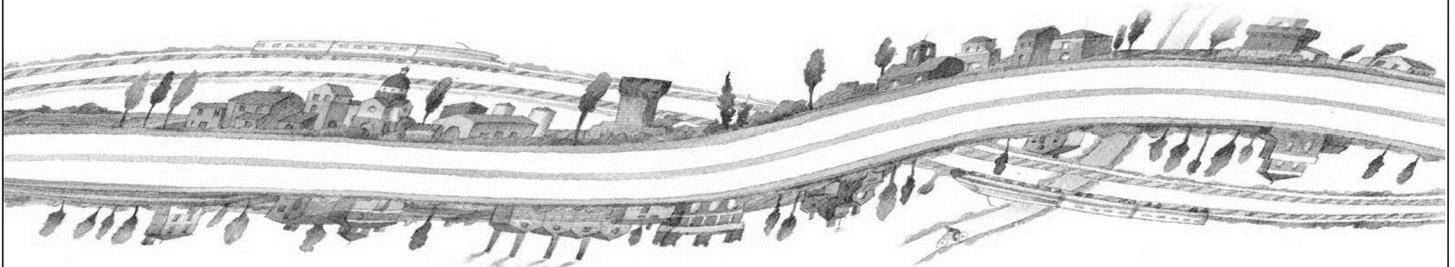
# AUTOSTRADA REGIONALE CISPADANA DAL CASELLO DI REGGIOLO-ROLO SULLA A22 AL CASELLO DI FERRARA SUD SULLA A13

CODICE C.U.P. E81B08000060009

## PROGETTO DEFINITIVO

**D02 (EX 1RE) - VARIANTE ALLA S.P. N.41 IN CORRISPONDENZA DEL TRACCIATO CISPADANO - TRATTO TRA S.P. N. 60 E BRESCELLO**

**OPERE D'ARTE MINORI: OPERE IDRAULICHE, OPERE DI SOSTEGNO  
TOMBINI CIRCOLARI E SCATOLARI - ELABORATI TIPOLOGICI  
TOMBINO CIRCOLARE Ø 500 - Ø 1000 - Ø 1200 -  
RELAZIONE DI CALCOLO**



IL PROGETTISTA

Ing. Rodolfo Biondi  
Albo Ing. Modena n° 1256



*R. Biondi*

RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emilio Salsi  
Albo Ing. Reggio-Emilia n° 945



IL CONCESSIONARIO

Autostrada Regionale  
Cispadana S.p.A.  
IL PRESIDENTE  
Graziano Pattuzzi

*G. Pattuzzi*

G										
F										
E										
D										
C										
B										
A	17.04.2012	EMISSIONE				W. GIANAROLI	R. BIONDI	E. SALSII		
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDAZIONE	CONTROLLO	APPROVAZIONE		
IDENTIFICAZIONE ELABORATO										DATA: <b>MAGGIO 2012</b>
NUM. Progr.	FASE	LOTTO	GRUPPO	CODICE OPERA WBS	TRATTO OPERA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	REV.	SCALA: _
4964	PD	0	D02	DTC02	0	ON	RC	01	A	

## INDICE

<b>1. DESCRIZIONE DELL'OPERA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>3</b>
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....	<b>4</b>
<b>4. CRITERI DI CALCOLO</b> .....	<b>5</b>
4.1. CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	5
4.2. PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE .....	7
<b>5. METODO DI CALCOLO</b> .....	<b>8</b>
5.1. DETERMINAZIONE DEL CARICO DI SCHIACCIAMENTO .....	8
5.2. CONDIZIONI DI APPOGGIO E COEFFICIENTI DI POSA .....	9
5.3. COEFFICIENTI DI SICUREZZA E FORMULE DI VERIFICA E CALCOLO .....	9
<b>6. PRESCRIZIONI SOMMARIE PER LA POSA IN OPERA E PER IL RINTERRO</b> .....	<b>10</b>
<b>7. TUBAZIONI DIAMETRO <math>\varnothing 500</math></b> .....	<b>12</b>
7.1. DESCRIZIONE .....	12
7.2. CALCOLO DELLA RESISTENZA DEI TUBI CIRCOLARI SOGGETTI A CARICHI VERTICALI LINEARI UGUALI ED OPPOSTI DIAMETRALMENTE .....	12
<b>8. TUBAZIONI DIAMETRO <math>\varnothing 1000</math></b> .....	<b>16</b>
8.1. DESCRIZIONE .....	16
8.2. CALCOLO DELLA RESISTENZA DEI TUBI CIRCOLARI SOGGETTI A CARICHI VERTICALI LINEARI UGUALI ED OPPOSTI DIAMETRALMENTE .....	16
<b>9. TUBAZIONI DIAMETRO <math>\varnothing 1200</math></b> .....	<b>20</b>
9.1. DESCRIZIONE .....	20
9.2. CALCOLO DELLA RESISTENZA DEI TUBI CIRCOLARI SOGGETTI A CARICHI VERTICALI LINEARI UGUALI ED OPPOSTI DIAMETRALMENTE .....	20

## 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

---

La presente relazione riguarda le opere di attraversamento stradale a servizio dello smaltimento delle acque meteoriche e della garanzia di continuità idraulica del reticolo esistente, previste nell'ambito dei lavori inerenti il progetto definitivo "Autostrada Regionale Cispadana" e vengono realizzate con l'impiego di tubazioni in conglomerato cementizio armato vibrato, prodotte in stabilimento, con giunzioni a bicchiere, opportunamente rinterrate.

Scopo della presente relazione è quello di determinare, per ogni tipologia di tubazione prevista nel presente progetto, il "Carico di schiacciamento". Tale carico si definisce come quello di prova al quale sottoporre in stabilimento i tubi prefabbricati, da impiegare nella realizzazione dell'opera in questione, equivalente come effetti ai carichi che solleciteranno le tubazioni in esercizio. Tutto ciò anche se le condizioni di prova saranno diverse da quelle della tubazione in opera: si prevede di applicare un carico lineare sulla generatrice superiore di un elemento di tubazione, libera lateralmente e appoggiata su due punti nella sua parte inferiore.

Le tipologie di tubazioni impiegate sono individuate dal loro diametro interno, e più precisamente:

- Tubazione in cav  $\Phi$ 500
- Tubazione in cav  $\Phi$ 1000
- Tubazione in cav  $\Phi$ 1200

I manufatti prefabbricati saranno prodotti a mezzo opportuni getti di calcestruzzo entro speciali casseri muniti di accurati vibratorii utilizzando il metodo della vibrocompressione.

La curva granulometrica degli inerti dovrà essere in conformità a quanto previsto delle norme UNI vigenti ed in particolare alle dimensioni degli inerti che dovranno essere variabili in funzione degli spessori adottati.

Il calcestruzzo sarà prodotto con moderne centrali di betonaggio nel cantiere di prefabbricazione in modo da tener conto della umidità degli inerti.

## **2. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO**

---

Si veda in proposito l'elaborato PD\_0\_0000\_0000\_0\_GE\_KT\_01\_A - Elenco delle Normative di riferimento.

### **3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI**

---

Si veda in proposito gli elaborati:

- PD\_0\_0000\_0000\_0\_GE\_TB\_01\_A - Tabella materiali e classi di esposizione calcestruzzo
- PD\_0\_0000\_0000\_0\_GE\_KT\_02\_A - Vita Utile e Classi d'Uso delle opere

## 4. CRITERI DI CALCOLO

---

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

### 4.1. CRITERI E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

---

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, i cui requisiti di sicurezza sono indicati nel § 7.1 della norma.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno;
- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le indicazioni progettuali e costruttive riportate nel § 7 e siano soddisfatte le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Per la definizione dell'azione sismica, occorre definire il periodo di riferimento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato.

La vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera è stata assunta pari a 50 anni.

La classe d'uso assunta è la III .

Il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso vale:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 75 \text{anni}$$

I valori di probabilità di superamento del periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente è:

$$P_{VR}(\text{SLV}) = 10\%$$

Il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni, vale:

$$T_R(\text{SLV}) = - \frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})} = 712 \text{anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$ .

$a_g$  → accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0$  → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$  → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

$S$  → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_t$ );

L'opera ricade all'incirca alla Longitudine: 10.460764° e Latitudine: 44.889021°.

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico (NT § 7.11.6). In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo i valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} \qquad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità;

Il sottosuolo su cui insiste l'opera può essere inserito nella categoria "C".

Il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafico risulta:

$$S_s(\text{SLV}) = 1,5$$

L'accelerazione massima è quindi assunta pari a:

$$a_{gh} = 0.106 \cdot 1.5 = 0.159g$$

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$ , assume il valore:

$$\beta_m = 1$$

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

$$(\text{SLV}) \quad k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0,159 \qquad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = 0,08$$

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti. La componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

Per gli scopi della presente relazione verranno prese in considerazione unicamente le forze sismiche verticali e visto che i carichi significativi per l'analisi che si sta effettuando sono quelli accidentali, visto che il coefficiente moltiplicatore, secondo il paragrafo 3.2.4 delle NTC DM2008, vale  $\psi_{2j} = 0,2$ , si ritiene giustificato non considerare gli effetti dell'azione sismica.

## **4.2. PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DELLE STRUTTURE**

---

In via cautelativa, si è adottato un terreno con le seguenti caratteristiche medie:

$$\gamma_t = 20 \text{ KN/m}^3$$

$$\phi_t \text{ fondazione} = 32^\circ$$

$$\phi_t \text{ rilevato} = 35^\circ$$

## 5. 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.

Per la determinazione delle azioni sono state consultate le normative tecniche indicate nel precedente capitolo e le norme DIN specifiche e relative circolari.

Lo schema considerato è quello di un telaio chiuso simmetrico a forma circolare su un appoggio continuo su suolo alla Winkler e soggetto alle seguenti condizioni di carico:

- Carichi verticali permanenti dovuti al rinterro
- Carichi verticali mobili (Schema 1, 2 e 3 riportate nel paragrafo 5.1.3.3 delle NTC DM2008)
- Carico dovuto al peso dell'acqua contenuta nel tubo

### 5.1. 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 speciale programma automatico di calcolo viene determinato il carico di schiacciamento teorico per m di condotta.

Si considera che il tubo appoggi su due traversi di legno posti a distanza di  $1/3D_n$  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.

Nelle tre sezioni fondamentali, chiave reni e base, vengono calcolate le sollecitazioni agenti da verificare con la sollecitazioni ammissibili.

Lo schema di equilibrio finale della sezione interna che viene considerato è quello della sezione tesa e uniforme per tutto lo spessore, equilibrata da una forza di compressione concentrata al lembo compresso.

## 5.2. 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 inferiormente sui 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 sarà:

$$P=K * P_{sch}$$

dove

- K : Coefficiente di posa;
- P<sub>sch</sub>: Carico teorico di schiacciamento
- P: Carico di schiacciamento da confrontare con il carico totale agente in esercizio

Il coefficiente di posa è funzione del tipo di posa che viene effettuata; nei calcoli successivi viene riportato il valore del coefficiente per il tipo di posa prescelto, che con riferimento alle UNI 7517 e in relazione alla distanza tra PC e piano di posa, possiamo considerare di "Terrapieno" (rapporto di protezione positiva), nonché  $H=H_0$  dove  $H_0$  è da considerare come altezza di uguale assestamento tra terreno originale e terreno di riporto e H è la altezza del piano finito rispetto alla generatrice superiore del tubo.

## 5.3. COEFFICIENTI DI SICUREZZA E FORMULE DI VERIFICA E CALCOLO

---

Come consiglia la letteratura tecnica in materia vengono assunti i seguenti coefficienti di sicurezza :

CC Coefficiente di sicurezza tra il carico totale di collasso ed il carico totale agente sul tubo.

Tale coefficiente viene assunto pari a 1,50.

Per la verifica si calcola il massimo carico verticale per metro lineare, trascurando la benefica spinta orizzontale del terreno e lo si confronta con il carico di collasso maggiorato del coefficiente di posa in modo che si abbia sempre:

$$K * P_{coll} / P_{tot} > C_c$$

dove

- P<sub>tot</sub> Carico totale verticale
- C<sub>c</sub> Coefficiente di sicurezza a collasso

## 6. PRESCRIZIONI SOMMARIE PER LA POSA IN OPERA E PER IL RINTERRO

---

La posa in opera deve avvenire scrupolosamente in modo che sia osservato il tipo di appoggio prescelto. Le condizioni di appoggio prescelto nel caso in esame su quella di appoggio su sella cilindrica su sottofondo di sabbia e ghiaietto costipati di angolo al centro non inferiore a 120°.

La procedura di posa in opera sarà la seguente:

1. Scavo della trincea e accurata costipazione del terreno di base in modo da assicurare un appoggio uniforme sul terreno di fondo
2. Preparazione della sella d'appoggio in sabbia e ghiaietto costipati
3. Posa in opera della tubazione
4. Riempimento ai fianchi con sabbietta o materiale fine ai lati fino a strati variabili sino a 30 cm sopra la tubazione e getto della soletta integrativa sull'estradosso della tubazione e fino ad metà tubo
5. Riempimento superiore
6. Copertura

L'operazione di rinterro assorbe le fasi 4-5-6 che chiameremo:

- Rincalzo, Riempimento, Copertura

Il rincalzo è l'operazione di riempimento dal piede fino ad una altezza di cm 30 sopra il vertice del tubo. Il rincalzo dovrà avvenire con le modalità del punto 4) con terreno privo di particelle grosse, ecc., e dovrà essere costipato con molta cura da ambo i lati del tubo, in modo da evitare spostamenti dell'asse della condotta e le spinte trasversali.

Dopo il rincalzo verrà eseguito il riempimento il quale dovrà essere eseguito con un opportuno materiale di riempimento che non fornisca particolari cedimenti. Esso dovrà essere fatto sempre a strati di spessore limitato e ben costipato, prima di procedere a un nuovo strato. Le apparecchiature dovranno essere scelte in stretta dipendenza del materiale impiegato e tali da ottenere un buon costipamento senza che ci sia la possibilità di danneggiamento della tubazione, tenendo cioè in debito conto delle sollecitazioni dinamiche che vengono trasmesse dal tubo.

La sistemazione dello strato superficiale cioè la copertura dovrà essere ben cilindrata, rullata in modo da consentire in seguito una sicura ed agevole circolazione.

Affinché il calcolo effettuato nella presente relazione abbia validità è indispensabile che siano scrupolosamente rispettate le condizioni di posa prescritte e che le operazioni di preparazione del fondo e di riempimento siano eseguite accuratamente e che in ogni caso sia garantita la penetrazione ai fianchi della tubazione.

## 7. TUBAZIONI DIAMETRO $\varnothing$ 500

---

### 7.1. DESCRIZIONE

---

Nella presente paragrafo vengono analizzati gli attraversamenti idraulici costituiti da tubi a sezione circolare in conglomerato cementizio armato, confezionati con il metodo della vibro compressione. Le unioni dei vari elementi sono del tipo bicchiere.

Cautelativamente si adatterà nel calcolo:

- ricoprimento Min = 50 cm
- ricoprimento Max = 190 cm

Le principali caratteristiche geometriche sono le seguenti:

- diametro interno cm 50;
- spessore minimo mm 120;
- lunghezza elemento cm 200

Data la cura necessaria per produrre tale manufatto è previsto prefabbricato in cantiere specializzato.

Risulta idoneo allo smaltimento delle acque (non in pressione) ed a sopportare i carichi stradali di 1<sup>a</sup> Categoria ed i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante l'elemento.

I ricoprimenti potranno variare fino ad un minimo di 50cm.

Gli elementi dovranno risultare idonei, oltre che allo smaltimento delle acque, a sopportare:

1. i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante .
2. i carichi massimi previsti per strade di 1<sup>a</sup> categoria
3. le spinte dell' acqua interna

### 7.2. CALCOLO DELLA RESISTENZA DEI TUBI CIRCOLARI SOGGETTI A CARICHI VERTICALI LINEARI UGUALI ED OPPOSTI DIAMETRALMENTE

---

La classe di resistenza che dovrà dichiarare il costruttore verrà calcolata nel seguente modo :

- la tubazione verrà posata in trincea rettangolare di larghezza pari a 250 cm con altezza del rinterro sopra la generatrice superiore pari a variabile da un massimo di 190cm ad un minimo di 50cm. La posa verrà effettuata in strada .

La tubazione è sicuramente rigida, per cui il carico ovalizzante complessivo è dato dalla somma del carico dovuto a:

1. rinterro
2. carico dovuto al sovraccarico mobile
3. carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo

Diametro esterno 74 cm

Spessore 12 cm

### Carico dovuto al rinterro :

Essendo non verificata una delle due condizioni  $B < 2D$  e  $H > 1,5D$  la posa è in trincea larga e quindi il carico verticale dovuto al rinterro è dato da:

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2$$

Ove  $\gamma_t = 20,00$  KN/mc

$C_t$  è il coefficiente di carico del terreno nella posa in terrapieno pari a:

$$C_t = 0,1 + 0,85 (H/D_e) + 0,33 (H/D_e)^2 \quad \text{per } H/D < 2,66$$

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2 = 0,82 * 20 * 0,74^2 = \mathbf{9,04 \text{ KN/m}} \quad (\text{nell'ipotesi di un ricoprimento di } 0,50 \text{ m})$$

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2 = 4,45 * 20 * 0,74^2 = \mathbf{48,82 \text{ KN/m}} \quad (\text{nell'ipotesi di un ricoprimento di } 1,90 \text{ m})$$

### Carico dovuto ai sovraccarichi mobili :

Essendo la posa in sede stradale il carico verticale sulla generatrice superiore del tubo risulta essere:

$$P_{vc} = p_v D$$

Per il carico dovuto ai sovraccarichi mobili si prenderanno in considerazione le tre condizioni di carico rappresentate dagli schemi n. 1, 2 e 3 del DM2008, nonché le due altezze di ricoprimento individuate (0,50 e 1,90 m)

#### - Schema di carico 1:

2 carichi da 300 kN disposti su una corsia di carico di larghezza 3,00 m e distanti longitudinalmente 1,20 m

Larghezza trasversale di diffusione (si assume pari alla larghezza di una corsia di carico): 3,00 m

Lunghezza longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi = 35^\circ$ )

$$\text{se } h = 0,50 \text{ m} \quad L_{\text{long}} = 1,60 + 2 * h * \text{tg} \varphi = 1,60 + 2 * 0,50 * 0,7 = 2,30 \text{ m} \quad p_v = 300 * 2 / (3,00 * 2,30) + 9 = 95,96 \text{ kN/mq}$$

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{long}} = 1,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 1,60 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 4,26\text{ m}$   $p_v = 300 \cdot 2 / (3,00 \cdot 4,26) + 9 = 55,95\text{ kN/mq}$

**- Schema di carico 2:**

2 carichi da 200 kN disposti a distanza trasversale di 2,00 m.

Larghezza trasversale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{trav}} = 0,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,60 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,30\text{ m}$  (si considera una sola impronta)

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{trav}} = 2,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 2,60 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 5,26\text{ m}$

Lunghezza longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{long}} = 0,35 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,35 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,05\text{ m}$  (si considera una sola impronta)

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{long}} = 0,35 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,35 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 3,01\text{ m}$

se  $h = 0,50\text{m}$  (si considera un solo carico da 200kN)  $p_v = 200 \cdot 1 / (1,05 \cdot 1,30) = 146,52\text{ kN/mq}$

se  $h = 1,90\text{m}$  (si considerano entrambi i carichi da 200kN)  $p_v = 200 \cdot 2 / (3,01 \cdot 5,26) = 25,26\text{ kN/mq}$

**- Schema di carico 3:**

1 carico da 150 kN isolato.

Larghezza trasversale e longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{diff}} = 0,40 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,40 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,10\text{ m}$   $p_v = 150 / (1,10 \cdot 1,10) = 123,97\text{ kN/mq}$

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{diff}} = 0,40 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,40 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 3,06\text{ m}$   $p_v = 150 / (3,06 \cdot 3,06) = 16,02\text{ kN/mq}$

Non si ritiene di dover applicare alcun coefficiente dinamico.

**Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo :**

Ponendo cautelativamente  $d = DN = 0.50\text{ m}$

Si ottiene:  $P_a = 1,96\text{ KN/m}$

La risultante dei carichi ovalizzanti, ipotizzando nullo il carico dovuto alla spinta idrostatica, considerando il massimo tra i carichi mobili diffusi al piano della generatrice superiore del tubo e applicandola alla larghezza individuata dalla dimensione esterna del tubo (0,74m), risulta essere pari a :

se  $h = 0,50$   $Q_t = 9,04 + 146,52 \cdot 0,74 + 1,96 = 119,43\text{ kN/m}$

se  $h = 1,90$   $Q_t = 48,82 + 55,95 \cdot 0,74 + 1,96 = 92,18\text{ kN/m}$

Si assume quindi il valore di  **$Q_t = 119,43\text{ kN/m}$**

**Valutazione del coefficiente di posa :**

Essendo la posa effettuata in terrapieno si ha :  $K=1,50$

**Verifica allo stato limite ultimo di resistenza**

Dal momento che la canalizzazione ha un comportamento rigido si dovrà determinare il carico di rottura per schiacciamento  $Q_r$

Essendo il coefficiente di sicurezza allo schiacciamento  $\mu$  maggiore di 1,5:

$$\mu = Q_r/Q_t > 1,5$$

Moltiplicando il valore per 1,5 (K coefficiente di posa), si ha :

$$Q_r' = 119,43 * 1,5 = 179,15 \text{ kN/m} \quad \text{Carico di rottura per schiacciamento a metro lineare}$$

Essendo il DN esterno uguale a 0,74 m la classe di resistenza della tubazione deve essere superiore a :

$$179,15/0,74 = 242,09 \text{ KN/mq}$$

Si assume in c.t una **classe di resistenza pari a 250 kN/mq.**

## 8. TUBAZIONI DIAMETRO $\varnothing$ 1000

---

### 8.1. DESCRIZIONE

---

Nella presente paragrafo vengono analizzati gli attraversamenti idraulici costituiti da tubi a sezione circolare in conglomerato cementizio armato, confezionati con il metodo della vibro compressione. Le unioni dei vari elementi sono del tipo bicchiere.

Cautelativamente si adatterà nel calcolo:

- ricoprimento Min = 50 cm
- ricoprimento Max = 190 cm

Le principali caratteristiche geometriche sono le seguenti:

- diametro cm 100;
- spessore minimo mm 150;
- lunghezza elemento cm 200

Data la cura necessaria per produrre tale manufatto è previsto prefabbricato in cantiere specializzato.

Risulta idoneo allo smaltimento delle acque (non in pressione) ed a sopportare i carichi stradali di 1<sup>a</sup> Categoria ed i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante l'elemento.

I ricoprimenti potranno variare fino ad un minimo di 50cm.

Gli elementi dovranno risultare idonei, oltre che allo smaltimento delle acque, a sopportare:

1. i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante .
2. i carichi massimi previsti per strade di 1<sup>a</sup> categoria
3. le spinte dell' acqua interna

### 8.2. CALCOLO DELLA RESISTENZA DEI TUBI CIRCOLARI SOGGETTI A CARICHI VERTICALI LINEARI UGUALI ED OPPOSTI DIAMETRALMENTE

---

La classe di resistenza che dovrà dichiarare il costruttore verrà calcolata nel seguente modo :

- la tubazione verrà posata in trincea rettangolare di larghezza pari a 250 cm con altezza del rinterro sopra la generatrice superiore pari a variabile da un massimo di 190cm ad un minimo di 50cm. La posa verrà effettuata in strada .

La tubazione è sicuramente rigida, per cui il carico ovalizzante complessivo è dato dalla somma del carico dovuto a:

1. rinterro
2. carico dovuto al sovraccarico mobile
3. carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo

Diametro esterno 130 cm

Spessore 15 cm

### Carico dovuto al rinterro :

Essendo non verificata una delle due condizioni  $B < 2D$  e  $H > 1,5D$  la posa è in trincea larga e quindi il carico verticale dovuto al rinterro è dato da:

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2$$

Ove  $\gamma_t = 20,00$  KN/mc

$C_t$  è il coefficiente di carico del terreno nella posa in terrapieno pari a:

$$C_t = 0,1 + 0,85 (H/D_e) + 0,33 (H/D_e)^2 \quad \text{per } H/D < 2,66$$

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2 = 0,47 * 20 * 1,30^2 = \mathbf{16,08 \text{ KN/m}} \quad (\text{nell'ipotesi di un ricoprimento di } 0,50 \text{ m})$$

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2 = 2,05 * 20 * 1,30^2 = \mathbf{69,20 \text{ KN/m}} \quad (\text{nell'ipotesi di un ricoprimento di } 1,90 \text{ m})$$

### Carico dovuto ai sovraccarichi mobili :

Essendo la posa in sede stradale il carico verticale sulla generatrice superiore del tubo risulta essere:

$$P_{vc} = p_v D$$

Per il carico dovuto ai sovraccarichi mobili si prenderanno in considerazione le tre condizioni di carico rappresentate dagli schemi n. 1, 2 e 3 del DM2008, nonché le due altezze di ricoprimento individuate (0,50 e 1,90 m)

#### - Schema di carico 1:

2 carichi da 300 kN disposti su una corsia di carico di larghezza 3,00 m e distanti longitudinalmente 1,20 m

Larghezza trasversale di diffusione (si assume pari alla larghezza di una corsia di carico): 3,00 m

Lunghezza longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\phi = 35^\circ$ )

$$\text{se } h = 0,50 \text{ m} \quad L_{\text{long}} = 1,60 + 2 * h * \text{tg} \phi = 1,60 + 2 * 0,50 * 0,7 = 2,30 \text{ m} \quad p_v = 300 * 2 / (3,00 * 2,30) + 9 = 95,96 \text{ kN/mq}$$

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{long}} = 1,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 1,60 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 4,26\text{ m}$   $p_v = 300 \cdot 2 / (3,00 \cdot 4,26) + 9 = 55,95\text{ kN/mq}$

**- Schema di carico 2:**

2 carichi da 200 kN disposti a distanza trasversale di 2,00 m.

Larghezza trasversale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{trav}} = 0,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,60 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,30\text{ m}$  (si considera una sola impronta)

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{trav}} = 2,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 2,60 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 5,26\text{ m}$

Lunghezza longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{long}} = 0,35 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,35 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,05\text{ m}$  (si considera una sola impronta)

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{long}} = 0,35 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,35 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 3,01\text{ m}$

se  $h = 0,50\text{m}$  (si considera un solo carico da 200kN)  $p_v = 200 \cdot 1 / (1,05 \cdot 1,30) = 146,52\text{ kN/mq}$

se  $h = 1,90\text{m}$  (si considerano entrambi i carichi da 200kN)  $p_v = 200 \cdot 2 / (3,01 \cdot 5,26) = 25,26\text{ kN/mq}$

**- Schema di carico 3:**

1 carico da 150 kN isolato.

Larghezza trasversale e longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{diff}} = 0,40 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,40 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,10\text{ m}$   $p_v = 150 / (1,10 \cdot 1,10) = 123,97\text{ kN/mq}$

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{diff}} = 0,40 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,40 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 3,06\text{ m}$   $p_v = 150 / (3,06 \cdot 3,06) = 16,02\text{ kN/mq}$

Non si ritiene di dover applicare alcun coefficiente dinamico.

**Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo :**

Ponendo cautelativamente  $d = DN = 1.00\text{ m}$

Si ottiene:  $P_a = 7,85\text{ KN/m}$

La risultante dei carichi ovalizzanti, ipotizzando nullo il carico dovuto alla spinta idrostatica, considerando il massimo tra i carichi mobili diffusi al piano della generatrice superiore del tubo e applicandola alla larghezza individuata dalla dimensione esterna del tubo (1,50m), risulta essere pari a :

se  $h = 0,50$   $Q_t = 16,08 + 146,52 \cdot 1,30 + 7,85 = 214,41\text{ kN/m}$

se  $h = 1,90$   $Q_t = 69,20 + 55,95 \cdot 1,30 + 7,85 = 149,79\text{ kN/m}$

Si assume quindi il valore di  **$Q_t = 214,41\text{ kN/m}$**

**Valutazione del coefficiente di posa :**

Essendo la posa effettuata in terrapieno si ha :  $K=1,50$

**Verifica allo stato limite ultimo di resistenza**

Dal momento che la canalizzazione ha un comportamento rigido si dovrà determinare il carico di rottura per schiacciamento  $Q_r$

Essendo il coefficiente di sicurezza allo schiacciamento  $\mu$  maggiore di 1,5:

$$\mu = Q_r/Q_t > 1,5$$

Moltiplicando il valore per 1,5 (K coefficiente di posa), si ha :

$$Q_r' = 214,41 * 1,5 = 321,615 \text{ kN/m} \quad \text{Carico di rottura per schiacciamento a metro lineare}$$

Essendo il DN esterno uguale a 1,30 m la classe di resistenza della tubazione deve essere superiore a :

$$374,99/1,3 = 247,39 \text{ KN/mq}$$

Si assume in c.t una **classe di resistenza pari a 250 kN/mq.**

## **9. TUBAZIONI DIAMETRO $\varnothing$ 1200**

---

### **9.1. DESCRIZIONE**

---

Nella presente paragrafo vengono analizzati gli attraversamenti idraulici costituiti da tubi a sezione circolare in conglomerato cementizio armato, confezionati con il metodo della vibro compressione. Le unioni dei vari elementi sono del tipo bicchiere.

Cautelativamente si adatterà nel calcolo:

- ricoprimento Min = 50 cm
- ricoprimento Max = 190 cm

Le principali caratteristiche geometriche sono le seguenti:

- diametro cm 120;
- spessore minimo mm 150;
- lunghezza elemento cm 200

Data la cura necessaria per produrre tale manufatto è previsto prefabbricato in cantiere specializzato.

Risulta idoneo allo smaltimento delle acque (non in pressione) ed a sopportare i carichi stradali di 1<sup>a</sup> Categoria ed i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante l'elemento.

I ricoprimenti potranno variare fino ad un minimo di 50cm.

Gli elementi dovranno risultare idonei, oltre che allo smaltimento delle acque, a sopportare:

1. i carichi permanenti dovuti al riempimento del terreno sovrastante .
2. i carichi massimi previsti per strade di 1<sup>a</sup> categoria
3. le spinte dell' acqua interna

### **9.2. CALCOLO DELLA RESISTENZA DEI TUBI CIRCOLARI SOGGETTI A CARICHI VERTICALI LINEARI UGUALI ED OPPOSTI DIAMETRALMENTE**

---

La classe di resistenza che dovrà dichiarare il costruttore verrà calcolata nel seguente modo :

- la tubazione verrà posata in trincea rettangolare di larghezza pari a 250 cm con altezza del rinterro sopra la generatrice superiore pari a variabile da un massimo di 190cm ad un minimo di 50cm. La posa verrà effettuata in strada .

La tubazione è sicuramente rigida, per cui il carico ovalizzante complessivo è dato dalla somma del carico dovuto a:

1. rinterro
2. carico dovuto al sovraccarico mobile
3. carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo

Diametro esterno 150 cm

Spessore 15 cm

### Carico dovuto al rinterro :

Essendo non verificata una delle due condizioni  $B < 2D$  e  $H > 1,5D$  la posa è in trincea larga e quindi il carico verticale dovuto al rinterro è dato da:

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2$$

Ove  $\gamma_t = 20,00$  KN/mc

$C_t$  è il coefficiente di carico del terreno nella posa in terrapieno pari a:

$$C_t = 0,1 + 0,85 (H/D_e) + 0,33 (H/D_e)^2 \quad \text{per } H/D < 2,66$$

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2 = 0,42 * 20 * 1,50^2 = \mathbf{18,90 \text{ KN/m}} \quad (\text{nell'ipotesi di un ricoprimento di } 0,50 \text{ m})$$

$$q_r = C_t * \gamma_t * D_e^2 = 1,71 * 20 * 1,50^2 = \mathbf{76,95 \text{ KN/m}} \quad (\text{nell'ipotesi di un ricoprimento di } 1,90 \text{ m})$$

### Carico dovuto ai sovraccarichi mobili :

Essendo la posa in sede stradale il carico verticale sulla generatrice superiore del tubo risulta essere:

$$P_{vc} = p_v D$$

Per il carico dovuto ai sovraccarichi mobili si prenderanno in considerazione le tre condizioni di carico rappresentate dagli schemi n. 1, 2 e 3 del DM2008, nonché le due altezze di ricoprimento individuate (0,50 e 1,90 m)

#### - Schema di carico 1:

2 carichi da 300 kN disposti su una corsia di carico di larghezza 3,00 m e distanti longitudinalmente 1,20 m

Larghezza trasversale di diffusione (si assume pari alla larghezza di una corsia di carico): 3,00 m

Lunghezza longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\phi = 35^\circ$ )

$$\text{se } h = 0,50 \text{ m} \quad L_{\text{long}} = 1,60 + 2 * h * \text{tg} \phi = 1,60 + 2 * 0,50 * 0,7 = 2,30 \text{ m} \quad p_v = 300 * 2 / (3,00 * 2,30) + 9 = 95,96 \text{ kN/mq}$$

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{long}} = 1,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 1,60 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 4,26\text{ m}$   $p_v = 300 \cdot 2 / (3,00 \cdot 4,26) + 9 = 55,95\text{ kN/mq}$

**- Schema di carico 2:**

2 carichi da 200 kN disposti a distanza trasversale di 2,00 m.

Larghezza trasversale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{trav}} = 0,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,60 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,30\text{ m}$  (si considera una sola impronta)

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{trav}} = 2,60 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 2,60 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 5,26\text{ m}$

Lunghezza longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{long}} = 0,35 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,35 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,05\text{ m}$  (si considera una sola impronta)

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{long}} = 0,35 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,35 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 3,01\text{ m}$

se  $h = 0,50\text{m}$  (si considera un solo carico da 200kN)  $p_v = 200 \cdot 1 / (1,05 \cdot 1,30) = 146,52\text{ kN/mq}$

se  $h = 1,90\text{m}$  (si considerano entrambi i carichi da 200kN)  $p_v = 200 \cdot 2 / (3,01 \cdot 5,26) = 25,26\text{ kN/mq}$

**- Schema di carico 3:**

1 carico da 150 kN isolato.

Larghezza trasversale e longitudinale di diffusione (si assume una diffusione con angolo pari a  $\varphi=35^\circ$ ):

se  $h = 0,50\text{m}$   $L_{\text{diff}} = 0,40 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,40 + 2 \cdot 0,50 \cdot 0,7 = 1,10\text{ m}$   $p_v = 150 / (1,10 \cdot 1,10) = 123,97\text{ kN/mq}$

se  $h = 1,90\text{m}$   $L_{\text{diff}} = 0,40 + 2 \cdot h \cdot \text{tg}\varphi = 0,40 + 2 \cdot 1,90 \cdot 0,7 = 3,06\text{ m}$   $p_v = 150 / (3,06 \cdot 3,06) = 16,02\text{ kN/mq}$

Non si ritiene di dover applicare alcun coefficiente dinamico.

**Carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta nel tubo :**

Ponendo cautelativamente  $d = DN = 1.20\text{ m}$

Si ottiene:  $P_a = 11,31\text{ KN/m}$

La risultante dei carichi ovalizzanti, ipotizzando nullo il carico dovuto alla spinta idrostatica, considerando il massimo tra i carichi mobili diffusi al piano della generatrice superiore del tubo e applicandola alla larghezza individuata dalla dimensione esterna del tubo (1,50m), risulta essere pari a :

se  $h = 0,50$   $Q_t = 18,90 + 146,52 \cdot 1.50 + 11,31 = 249,99\text{ kN/m}$

se  $h = 1,90$   $Q_t = 76,95 + 55,95 \cdot 1.50 + 11,31 = 172,185\text{ kN/m}$

Si assume quindi il valore di  **$Q_t = 249,99\text{ kN/m}$**

**Valutazione del coefficiente di posa :**

Essendo la posa effettuata in terrapieno si ha :  $K=1,50$

**Verifica allo stato limite ultimo di resistenza**

Dal momento che la canalizzazione ha un comportamento rigido si dovrà determinare il carico di rottura per schiacciamento  $Q_r$

Essendo il coefficiente di sicurezza allo schiacciamento  $\mu$  maggiore di 1,5:

$$\mu = Q_r/Q_t > 1,5$$

Moltiplicando il valore per 1,5 (K coefficiente di posa), si ha :

$$Q_r' = 249,99 * 1,5 = 374,99 \text{ kN/m} \quad \text{Carico di rottura per schiacciamento a metro lineare}$$

Essendo il DN esterno uguale a 1,50 m la classe di resistenza della tubazione deve essere superiore a :

$$374,99/1,5 = 249,99 \text{ KN/mq}$$

Si assume in c.t una **classe di resistenza pari a 250 kN/mq.**