

**INTERVENTO INFRASTRUTTURE IDRICHE – SEZIONE INVASI  
(LEGGE DI BILANCIO 2018, ART.1 COMMA 518)**

**IMPERMEABILIZZAZIONE DEL CANALE ADDUTTORE DESTRA  
TIRSO**

**C. A. T. P0820**

**C.U.P.: G27H21036250001**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**Il Progettista**  
Ing. Francesco Castagna

**I Collaboratori**

**Il Responsabile del Procedimento**  
Dott. Agr. Serafino Angelo Meloni

**Il Committente**  
Consorzio di Bonifica dell'Oristanese  
**Il Presidente**  
Dott. Carlo Corrias

| Titolo                                 |         |                                 |                  | Allegato       |
|----------------------------------------|---------|---------------------------------|------------------|----------------|
| Verifica statica tubazione PEAD – c.a. |         |                                 |                  | A.8            |
| Rev.                                   | Data    | Nome file                       | Redattore        | Verificatore   |
| 01                                     | 06/2023 | 1567P0820ver_stat_tub_ Rev01_FC | Ing. F. Castagna | Ing. G. Zuddas |
|                                        |         |                                 |                  |                |
|                                        |         |                                 |                  |                |
|                                        |         |                                 |                  |                |

## CALCOLO DELLA DEFORMAZIONE

Come già detto precedentemente, il sistema terreno-trincea interagisce con la tubazione soggetta a carichi esterni in modo da opporsi alla deformazione. L'equazione che regola il calcolo della deformazione dei tubi corrugati è la classica equazione derivante dal metodo di Spangler, in cui i dati relativi a trincea, materiali di riempimento e compattazione non sono direttamente presenti, ma rientrano nei calcoli dei diversi fattori utilizzati.

$$\Delta D_e = \frac{(d_1 \times P_0 + P_t) \times K_x}{8 \times SN_{50} + 0,061 \times E'}$$

in cui:

| <i>Variabile</i> | <i>UdM</i>        | <i>Caratteristiche</i>                                     |
|------------------|-------------------|------------------------------------------------------------|
| $\Delta D_e$     | mm                | Variazione del diametro esterno a causa del carico esterno |
| $d_1$            |                   | Fattore di incremento del carico (1,5+2,0)                 |
| $P_0$            | N/m               | Carico statico del terreno                                 |
| $P_t$            | N/m               | Carico dinamico dovuto al traffico                         |
| $K_x$            |                   | Costante di fondo                                          |
| $SN_{50}$        | kN/m <sup>2</sup> | Rigidezza circonferenziale a lungo termine                 |
| $E'$             | kN/m <sup>2</sup> | Modulo secante del terreno                                 |

La deformazione così calcolata deve dare un risultato di schiacciamento relativo inferiore al 5% del diametro esterno.

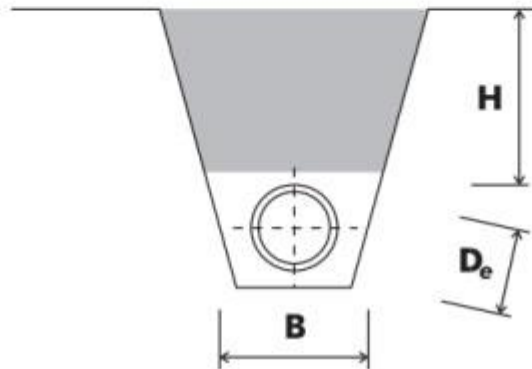
## CARICO STATICO

Il carico statico che grava sul tubo è quello dato dal peso del terreno che lo ricopre, adeguatamente moltiplicato per un coefficiente correttivo dipendente dalle caratteristiche del terreno e dalla geometria dello scavo.

$$P_0 = C \times \gamma_t \times D_e \times B$$

in cui

| <i>Variabile</i> | <i>UdM</i>       | <i>Caratteristiche</i>                                   |
|------------------|------------------|----------------------------------------------------------|
| $P_0$            | N/m              | Carico statico del terreno                               |
| $C$              |                  | Coefficiente di carico del terreno                       |
| $\gamma_t$       | N/m <sup>3</sup> | Peso specifico del materiale di riempimento              |
| $D_e$            | m                | Diametro esterno del tubo                                |
| $B$              | m                | Larghezza dello scavo sull'estradosso superiore del tubo |



Il valore di  $C$  si ricava da:

$$C = \frac{1 - e^{\left( \frac{-2 \times K \times \mu \times H}{B} \right)}}{2 \times K \times \mu}$$

$$K = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

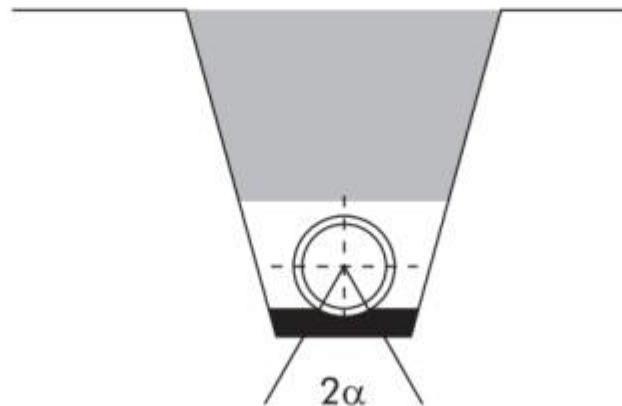
in cui:

| <i>Variabile</i> | <i>UdM</i> | <i>Caratteristiche</i>                                                    |
|------------------|------------|---------------------------------------------------------------------------|
| C                |            | Coefficiente di carico del terreno                                        |
| K                |            | Coefficiente di Rankine                                                   |
| $\mu$            |            | Coefficiente di attrito tra materiale di riempimento e fianco dello scavo |
| $\varphi$        | rad        | Angolo di attrito interno del materiale di riporto                        |
| H                | m          | Altezza dello scavo misurata dall'estradosso superiore del tubo           |
| B                | m          | Larghezza dello scavo sull'estradosso superiore del tubo                  |

### **ANGOLO DI SUPPORTO**

Il termine di costante di fondo è legato al valore dell'angolo di supporto (angolo di sostegno, normalmente indicato con  $2\alpha$ ) ed è stato definito sperimentalmente.

Il valore di  $K_x$  è riferito praticamente all'accuratezza della preparazione del letto di posa.



È dunque opportuno fare in modo che il letto di posa consenta un angolo di appoggio superiore a  $90^\circ$ , tendendo a raggiungere la condizione di massimo appoggio ( $180^\circ$ ) con una accurata compattazione del materiale di rifianco.

I valori di  $K_x$  definiti nelle tabelle sono interpolabili linearmente per angoli di appoggio diversi da quelli tabulati.

### **RIGIDEZZA CIRCONFERENZIALE A LUNGO TERMINE**

La rigidità circonferenziale (SN) del tubo è definita secondo il prEN 13476-1 dalla ISO 9969 e deriva da una prova di schiacciamento a velocità costante fino ad una deformazione del 3% del valore del diametro interno.

Il valore di rigidità circonferenziale a lungo termine è in relazione con la rigidità a breve termine attraverso lo stesso rapporto che esiste tra i moduli elastici (0,395).

### **MODULO SECANTE DEL TERRENO**

Il modulo secante del terreno, o modulo di resistenza, dipende dalla natura e dal grado di compattazione del terreno. È costante per tutti i diametri di tubo e la classificazione adottata è quella della ASTM 2487

## CARICO DINAMICO

Il carico dovuto al traffico, carico di superficie, va ad aggiungersi ai carichi statici e influisce sul calcolo della deformazione del tubo.

Nelle formule descritte si utilizza un carico di superficie  $Q$  che tiene conto sia del carico dinamico dovuto al traffico che del carico statico dato dalle strutture fisse che gravano sulla trincea (fondazioni, immobili ecc.).

La formula di riferimento per il calcolo del carico superficiale deriva dalla teoria di Boussinesq, attraverso la quale si calcola la tensione verticale dovuta a un carico superficiale in un punto qualsiasi sotto il piano di campagna.

$$\sigma_z = \frac{3 \times Q}{2 \times \pi \times H^3} \times \left( \frac{1}{1 + \left( \frac{r}{H} \right)^2} \right)^{5/2}$$

$$P_t = \sigma_z \times D_e$$

in cui:

| <i>Variabile</i> | <i>UdM</i>       | <i>Caratteristiche</i>                   |
|------------------|------------------|------------------------------------------|
| $P_t$            | N/m              | Carico dinamico                          |
| $\sigma_z$       | N/m <sup>2</sup> | Tensione verticale                       |
| $Q$              | N                | Carico superficiale totale               |
| $r$              | m                | Distanza orizzontale dal punto di carico |

La tensione verticale si considera ugualmente distribuita su una larghezza pari al diametro orizzontale del tubo e di lunghezza unitaria.

Dalle formule si evince che il carico dinamico decresce con il quadrato della profondità di copertura, per cui il carico assume notevole importanza nel caso di altezze di ricoprimento inferiori ai 2 m.

Il carico dinamico è inoltre un carico che non è presente in maniera costante, per cui il fatto di considerarlo sempre presente consente di avere risultati conservativi nel calcolo della deformazione.

# **DATI DEI VARI TIPI DI TERRENO DI RIPORTO**

| <i>Tipo di terreno</i>                    | <i>Angolo di attrito interno<br/><math>\varphi</math> (gradi)</i> | <i>Peso specifico <math>\gamma_t</math><br/>(<math>\text{kN/m}^3</math>)</i> | <i>Peso di volume del terreno immerso <math>\gamma'</math><br/>(<math>\text{kN/m}^3</math>)</i> |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Argilla fangosa</i>                    | 20                                                                | 20                                                                           | 16,9                                                                                            |
| <i>Argilla sabbiosa</i>                   | 14                                                                | 18                                                                           | 15,9                                                                                            |
| <i>Argilla umida comune</i>               | 12                                                                | 20                                                                           | 16,4                                                                                            |
| <i>Fango con polvere di roccia</i>        | 25                                                                | 18                                                                           | 16,9                                                                                            |
| <i>Loess</i>                              | 18                                                                | 21                                                                           | 15,9                                                                                            |
| <i>Marna</i>                              | 22                                                                | 21                                                                           | 16,9                                                                                            |
| <i>Misto di cava di ghiaia e ciottoli</i> | 37                                                                | 20                                                                           | 16,8                                                                                            |
| <i>Misto di cava di sabbia e ghiaia</i>   | 33                                                                | 20                                                                           | 16,5                                                                                            |
| <i>Sabbia argillosa</i>                   | 15                                                                | 18                                                                           | 15,9                                                                                            |
| <i>Sabbia secca</i>                       | 31                                                                | 15                                                                           | 15,9                                                                                            |
| <i>Sabbia umida</i>                       | 34                                                                | 17                                                                           | 16,4                                                                                            |
| <i>Terra secca</i>                        | 14                                                                | 17                                                                           | 15,5                                                                                            |
| <i>Terra umida</i>                        | 25                                                                | 20                                                                           | 16,0                                                                                            |
| <i>Terreno misto compatto</i>             | 33                                                                | 20                                                                           | 16,4                                                                                            |
| <i>Terreno misto sciolto</i>              | 15                                                                | 18                                                                           | 15,9                                                                                            |
| <i>Terreno paludoso</i>                   | 12                                                                | 17                                                                           | 9,9                                                                                             |
| <i>Terreno sabbioso</i>                   | 30                                                                | 19                                                                           | 15,8                                                                                            |

Tipologia terreno

| Tipo di terreno       | Angolo di attrito tra<br>mat. di riporto e trincea |
|-----------------------|----------------------------------------------------|
|                       | $\mu$                                              |
| Gesso                 | 0,33                                               |
| Argilla secca         | 0,41                                               |
| Argilla umida         | 0,21                                               |
| Terra secca sciolta   | 0,21                                               |
| Terra secca costipata | 0,26                                               |
| Terra alla rinfusa    | 0,60                                               |
| Terra molto compatta  | 0,62                                               |
| Terra umida costipata | 0,65                                               |
| Ghiaia                | 0,47                                               |
| Ghiaia con sabbia     | 0,49                                               |
| Argilla grassa secca  | 0,25                                               |
| Argilla grassa umida  | 0,41                                               |
| Fango                 | 0,47                                               |
| Ciottoli              | 0,75                                               |
| Sabbia secca          | 0,60                                               |
| Sabbia compattata     | 0,65                                               |
| Sabbia umida          | 0,67                                               |
| Sassi grossi          | 0,75                                               |

Angolo di attrito tra materiale di riporto e trincea  $\mu$

#### CARICHI DOVUTI AL TRAFFICO

| Classe di carico | Carico totale (kN) | Carico per ruota (kN) |
|------------------|--------------------|-----------------------|
| Traffico pesante | 600                | 100                   |
| Traffico medio   | 450                | 75                    |
| Traffico medio   | 300                | 50                    |
| Traffico leggero | 120                | 20                    |
| Traffico leggero | 60                 | 20                    |
| Autovettura      | 30                 | 10                    |

| Classe | Carico per<br>ruota P (KN) | Classe | Carico per ruota (KN) |               |
|--------|----------------------------|--------|-----------------------|---------------|
|        |                            |        | Anteriore Pa          | Posteriore Pp |
| HT60   | 100                        | LT12   | 20                    | 40            |
| HT45   | 75                         | LT6    | 10                    | 20            |
| HT38   | 62,5                       | LT3    | 5                     | 10            |
| HT30   | 50                         |        |                       |               |
| HT26   | 35                         |        |                       |               |

Tipologie di traffico (DIN 1072)

#### INFLUENZA DELL'ANGOLO DI SUPPORTO

|           |           |            |             |             |
|-----------|-----------|------------|-------------|-------------|
| $2\alpha$ | $0^\circ$ | $90^\circ$ | $120^\circ$ | $180^\circ$ |
| $K_z$     | 0,110     | 0,096      | 0,090       | 0,083       |

Coefficiente di sottofondo SPANGLER

#### MODULO DI RESISTENZA DEL TERRENO

| Tipo di terreno                                                                                                                                                      | Compattazione           |                |                 |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------|-----------------|-------------|
|                                                                                                                                                                      | <i>Rinfusa</i>          | <i>Leggera</i> | <i>Moderata</i> | <i>Alta</i> |
|                                                                                                                                                                      | <i>Indice Proctor</i>   | <85%           | 85-94%          | >95%        |
|                                                                                                                                                                      | <i>Densità relativa</i> | <40%           | 40-70%          | >70%        |
| <b>Terreno coesivo</b><br><i>Argilla e limo ad alta plasticità</i>                                                                                                   | 0                       | 0              | 0               | 350         |
| <b>Terreno coesivo</b><br><i>Argilla e limo a media e bassa plasticità con meno del 25% di particelle di fango</i>                                                   | 350                     | 1400           | 2800            | 7000        |
| <b>Terreno granulare coesivo</b><br><i>Ghiaia con particelle fini con bassa o media plasticità</i><br><i>Sabbia con particelle fini con bassa o media plasticità</i> | 700                     | 2800           | 7000            | 14000       |
| <b>Terreno senza coesione</b><br><i>Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita</i>                                                            | 700                     | 7000           | 14000           | 21000       |
| <b>Rocce macinate</b>                                                                                                                                                | 7000                    | 21000          | 21000           | 21000       |

Moduli di elasticità del terreno di rinfianco (ASTM 2487)

#### CALCOLI SULLA DEFORMAZIONE A LUNGO TERMINE PER TUBAZIONI INTERRATE

Verifica della deformazione sotto carico per tubi corrugati in PEAD. I calcoli sono effettuati con il metodo di Spangler per tubi flessibili nelle condizioni più gravose, ovvero alla minima profondità di scavo e alla massima.

VERIFICA ALLA DEFORMAZIONE  
E SOLLECITAZIONI  
ATTRAVERSO IL SOFTWARE “GEOAPP”

|                                      |                     |                |                   |
|--------------------------------------|---------------------|----------------|-------------------|
| Materiale                            | (--)                | PEAD SPIRALATO | --                |
| Diametro tubazione esterno           | (DN)                | 1800           | mm                |
| Spessore parete tubazione            | (s)                 | 30             | mm                |
| Modulo elasticità breve termine      | (E)                 | 3000000        | kN/m <sup>2</sup> |
| Modulo elasticità lungo termine      | (E <sub>m</sub> )   | 2100000        | kN/m <sup>2</sup> |
| Diametro interno tubazione (DN - 2s) | (D <sub>i</sub> )   | 1740,00        | mm                |
| Diametro medio                       | (D <sub>m</sub> )   | 1770,00        | mm                |
| Rigidezza anulare (breve termine)    | (SN <sub>bt</sub> ) | 1,22           | kN/m <sup>2</sup> |
| Rigidezza anulare (lungo termine)    | (SN <sub>lt</sub> ) | 0,85           | kN/m <sup>2</sup> |

**Carico del fluido trasportato**

|                               |                   |       |      |
|-------------------------------|-------------------|-------|------|
| Carico del fluido trasportato | (Q <sub>a</sub> ) | 23,31 | kN/m |
|-------------------------------|-------------------|-------|------|

**Caratteristica trincea e rinterro**

|                                                   |     |   |   |
|---------------------------------------------------|-----|---|---|
| Larghezza trincea sull'estradosso della tubazione | (B) | 3 | m |
| Altezza trincea sull'estradosso della tubazione H | (H) | 4 | m |

| Tipo di terreno                    | Peso specifico γ <sub>t</sub> [kN/m <sup>3</sup> ] | Peso immerso γ' [kN/m <sup>3</sup> ] | Angolo di attrito interno φ [°] |
|------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Argilla fangosa                    | 20                                                 | 16.9                                 | 20                              |
| Argilla sabbiosa                   | 18                                                 | 15.9                                 | 14                              |
| Argilla umida comune               | 20                                                 | 16.4                                 | 12                              |
| Fango con polvere di roccia        | 18                                                 | 16.9                                 | 25                              |
| Loess                              | 21                                                 | 15.9                                 | 18                              |
| Marna                              | 21                                                 | 16.9                                 | 22                              |
| Misto di cava di ghiaia e ciottoli | 20                                                 | 16.8                                 | 37                              |
| Misto di cava di sabbia e ghiaia   | 20                                                 | 16.5                                 | 33                              |
| Sabbia argillosa                   | 18                                                 | 15.9                                 | 15                              |
| Sabbia secca                       | 15                                                 | 15.9                                 | 31                              |
| Sabbia umida                       | 17                                                 | 16.4                                 | 34                              |
| Terra secca                        | 17                                                 | 15.5                                 | 14                              |
| Terra umida                        | 20                                                 | 16.0                                 | 25                              |
| Terreno misto compatto             | 20                                                 | 16.4                                 | 33                              |
| Terreno misto sciolto              | 18                                                 | 15.9                                 | 15                              |
| Terreno paludoso                   | 17                                                 | 9.9                                  | 12                              |
| Terreno sabbioso                   | 19                                                 | 15.8                                 | 30                              |

|                                            |                    |                      |                   |
|--------------------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|
| Tipo di terreno di rinterro                |                    | Argilla umida comune | ▼                 |
| Peso specifico rinterro                    | (γ <sub>t</sub> )  | 20                   | kN/m <sup>3</sup> |
| Peso specifico rinterro immerso            | (γ' <sub>t</sub> ) | 16,4                 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo di attrito interno terreno rinterro | (Φ)                | 12                   | (°)               |
| Coefficiente attrito rinterro/pareti       | (μ)                | 0,213                | (--)              |

**Carico statico del rinterro**

|                                             |                    |                                     |                   |
|---------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Altezza della falda su estradosso tubazione | (h)                | <input type="text" value="0"/>      | m                 |
| Coefficiente di spinta attiva               | (k <sub>a</sub> )  | <input type="text" value="0,295"/>  | --                |
| Coefficiente di Marston                     | (C <sub>d</sub> )  | <input type="text" value="--"/>     | --                |
| Carico statico del rinterro                 | (Q <sub>st</sub> ) | <input type="text" value="144,00"/> | kN/m              |
| Pressione verticale                         | (q <sub>st</sub> ) | <input type="text" value="94,12"/>  | kN/m <sup>2</sup> |

**Sovraccarico idrostatico**

|                                               |                     |                                    |                   |
|-----------------------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------------|
| Pressione della falda su estradosso tubazione | (q <sub>idr</sub> ) | <input type="text" value="0"/>     | kN/m <sup>2</sup> |
| Carico idrostatico                            | (Q <sub>idr</sub> ) | <input type="text" value="0,000"/> | kN/m              |

**Sovraccarico dinamico**

| Classe      | Carico per ruota P (KN) | Tipologia        |
|-------------|-------------------------|------------------|
| HT60        | 100                     | Traffico pesante |
| HT45        | 75                      |                  |
| HT38        | 62.5                    |                  |
| HT30        | 50                      |                  |
| HT26        | 35                      |                  |
| LT12        | 20                      | Traffico leggero |
| LT6         | 10                      |                  |
| LT3         | 5                       |                  |
| FERROVIARIO | 200                     |                  |

|                            |                |                  |                   |
|----------------------------|----------------|------------------|-------------------|
| Tipologia di traffico      |                | Traffico pesante | ▼                 |
| Classe convoglio           |                | HT60             | ▼                 |
| Carico per ruota           | (P)            | 100              | kN                |
| Coefficiente di incremento | ( $\varphi$ )  | 1,07             | --                |
| Pressione dinamica         | ( $\sigma_z$ ) | 13,308           | kN/m <sup>2</sup> |
| Carico dinamico            | ( $Q_{din}$ )  | 23,955           | kN/m              |

#### Sovraccarico statico

|                            |             |      |                   |
|----------------------------|-------------|------|-------------------|
| Carico statico agente      | ( $P_n$ )   | 40   | kN                |
| Larghezza di impronta      | ( $u_1$ )   | 1,00 | m                 |
| Lunghezza di impronta      | ( $u_2$ )   | 1,0  | m                 |
| Pressione statica          | ( $q_s$ )   | 0,49 | kN/m <sup>2</sup> |
| Coefficiente di diffusione | ( $\beta$ ) | 0,88 | --                |
| Sovraccarico statico       | ( $P_s$ )   | 0,78 | kN/m              |

#### Sovraccarico statico

|                            |             |      |                   |
|----------------------------|-------------|------|-------------------|
| Carico statico agente      | ( $P_n$ )   | 20   | kN                |
| Larghezza di impronta      | ( $u_1$ )   | 1,00 | m                 |
| Lunghezza di impronta      | ( $u_2$ )   | 1,0  | m                 |
| Pressione statica          | ( $q_s$ )   | 0,25 | kN/m <sup>2</sup> |
| Coefficiente di diffusione | ( $\beta$ ) | 0,88 | --                |
| Sovraccarico statico       | ( $P_s$ )   | 0,39 | kN/m              |

#### Carico totale sulla tubazione

|                                         |               |        |      |
|-----------------------------------------|---------------|--------|------|
| Carico del fluido trasportato           | ( $Q_a$ )     | 23,31  | kN/m |
| Sovraccarico statico dovuto al rinterro | ( $Q_{st}$ )  | 144,00 | kN/m |
| Sovraccarico idrostatico                | ( $Q_{idr}$ ) | 0,00   | kN/m |
| Sovraccarico dinamico stradale          | ( $Q_{din}$ ) | 23,955 | kN/m |
| Sovraccarico statico                    | ( $P_s$ )     | 0,39   | kN/m |
| <b>Carico totale sulla tubazione</b>    | ( $Q_{tot}$ ) | 191,66 | kN/m |

# VERIFICHE PER TUBAZIONI FLESSIBILI

## Verifica delle deformazioni a breve termine

| Angolo appoggio<br>$2\alpha$ [°] | Coefficiente<br>sottofondo K |
|----------------------------------|------------------------------|
| 0                                | 0.121                        |
| 60                               | 0.103                        |
| 90                               | 0.096                        |
| 120                              | 0.09                         |
| 180                              | 0.083                        |

|                                        |                    |       |     |
|----------------------------------------|--------------------|-------|-----|
| Angolo di appoggio                     | ( $2\alpha$ )      | 90    | (°) |
| Coefficiente di sottofondo             | (K)                | 0,096 | --  |
| Coefficiente di deformazione differita | (F)                | 1     | --  |
| Deformazione diametrale del tubo       | ( $\Delta_d$ )     | 41,73 | mm  |
| Deformazione percentuale               | ( $\delta$ )       | 2,32  | %   |
| Deformazione massima ammissibile       | ( $\delta_{lim}$ ) | 5     | %   |
| <b>Verifica soddisfatta</b>            |                    | SI    |     |

## Verifica delle deformazioni a lungo termine

|                                        |                    |       |    |
|----------------------------------------|--------------------|-------|----|
| Coefficiente di deformazione differita | (F)                | 2     | -- |
| Deformazione diametrale del tubo       | ( $\Delta_d$ )     | 84,29 | mm |
| Deformazione percentuale               | ( $\delta$ )       | 4,68  | %  |
| Deformazione massima ammissibile       | ( $\delta_{lim}$ ) | 5     | %  |
| <b>Verifica soddisfatta</b>            |                    | SI    |    |

## Verifica di instabilità all'equilibrio elastico

|                                                                      |               |        |                   |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|--------|-------------------|
| Fattore di progettazione                                             | ( $F_s$ )     | 2,5    | (--)              |
| Fattore di spinta idrostatica                                        | ( $R_w$ )     | 1,00   | --                |
| Coefficiente empirico supporto elastico                              | ( $B'$ )      | 0,370  | --                |
| Pressione risultante dovuta ai carichi esterni                       | ( $P_{est}$ ) | 93,74  | kN/m <sup>2</sup> |
| Pressione ammissibile di Bucking (ANSI-AWWA C950/88) - Breve termine | ( $Q_a$ )     | 149,38 | kN/m <sup>2</sup> |
| <b>Verifica soddisfatta</b>                                          |               | SI     |                   |
| Pressione ammissibile di Bucking (ANSI-AWWA C950/88) - Lungo termine | ( $Q_a$ )     | 124,98 | kN/m <sup>2</sup> |
| <b>Verifica soddisfatta</b>                                          |               | SI     |                   |

Calcolo del massimo sforzo di trazione

Peso specifico materiale tubazione (γc) 14,70 (kN/m³)

| Parametri di sollecitazione per unità di lunghezza in una tubazione interrata per diverse ampiezze d'appoggio |                     |                  |                    |                   |                     |                    |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| CARICHI                                                                                                       | Angolo appoggio [°] | Sforzo Normale N |                    |                   | Momento Flettente M |                    |                   |
|                                                                                                               |                     | Sezione chiave   | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo | Sezione chiave      | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo |
| Peso proprio Gc                                                                                               | 180°                | -0.027 Gc        | +0.250 Gc          | +0.027 Gc         | +0.028 Gcd          | -0.031 Gcd         | +0.035 Gcd        |
|                                                                                                               | 120°                | -0.040 Gc        | +0.250 Gc          | +0.040 Gc         | +0.030 Gcd          | -0.036 Gcd         | +0.042 Gcd        |
|                                                                                                               | 90°                 | -0.053 Gc        | +0.250 Gc          | +0.053 Gc         | +0.033 Gcd          | -0.039 Gcd         | +0.051 Gcd        |
| Peso dell'acqua Qa                                                                                            | 180°                | -0.188 Qa        | -0.068 Qa          | -0.451 Qa         | +0.028 Qad          | -0.031 Qad         | +0.035 Qad        |
|                                                                                                               | 120°                | -0.199 Qa        | -0.068 Qa          | -0.438 Qa         | +0.030 Qad          | -0.035 Qad         | +0.042 Qad        |
|                                                                                                               | 90°                 | -0.212 Qa        | -0.068 Qa          | -0.424 Qa         | +0.033 Qad          | -0.039 Qad         | +0.051 Qad        |
| Carico verticale uniforme Q                                                                                   | 180°                | 0                | +0.50 Q            | 0                 | +0.063 Qd           | -0.063 Qd          | +0.063 Qd         |
|                                                                                                               | 120°                | -0.013 Q         | +0.50 Q            | +0.013 Q          | +0.066 Qd           | -0.066 Qd          | +0.069 Qd         |
|                                                                                                               | 90°                 | -0.027 Q         | +0.50 Q            | +0.027 Q          | +0.069 Qd           | -0.070 Qd          | +0.078 Qd         |
| Spinta H0                                                                                                     | -                   | +0.5 H0          | 0                  | +0.5 H0           | -0.063 H0 d         | +0.063 H0 d        | -0.063 H0 d       |
| Spinta Ht                                                                                                     | -                   | +0.313 Ht        | 0                  | +0.687 Ht         | -0.052 Ht d         | +0.063 Ht d        | -0.073 Ht d       |

|                             | Carichi (kN/m) | Sforzo Normale N |                    |                   | Momento Flettente M |                    |                   |
|-----------------------------|----------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
|                             |                | Sezione chiave   | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo | Sezione chiave      | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo |
| Peso proprio Gc             | 2.77           | -0.146965        | 0.693229           | 0.146965          | 0.164711            | -0.194659          | -0.254554         |
| Peso dell'acqua Qa          | 23.10          | -4.896913        | -1.570708          | -9.793825         | 1.372060            | -1.621525          | 2.120456          |
| Carico verticale uniforme Q | 168.74         | -4.555913        | 84.368760          | 4.555913          | 20.957200           | -21.260927         | 23.690748         |
| Spinta H0                   | 42.45          | 21.225664        | 0                  | 21.225664         | -4.813981           | 4.813981           | -4.813981         |
| Spinta Ht                   | 9.55           | 2.989635         | 0                  | 6.561914          | -0.894025           | 1.083146           | -1.255074         |
| Totale                      | 246.61         | 14.616           | 83.491             | 22.697            | 16.786              | -17.180            | 19.488            |

|                                                                  |             |          |     |
|------------------------------------------------------------------|-------------|----------|-----|
| Tensione all'estradosso Sezione chiave                           | (σe_chiave) | 87,554   | Mpa |
| Tensione all'intradosso Sezione chiave                           | (σi_chiave) | -86,695  | Mpa |
| Tensione all'estradosso Sezione sul fianco                       | (σe_fianco) | -86,714  | Mpa |
| Tensione all'intradosso Sezione sul fianco                       | (σi_fianco) | 91,625   | Mpa |
| Tensione all'estradosso Sezione sul fondo                        | (σe_fondo)  | 101,814  | Mpa |
| Tensione all'intradosso Sezione sul fondo                        | (σi_fondo)  | -100,479 | Mpa |
| Tensione max                                                     | (σmax)      | 101,814  | Mpa |
| Tensione min                                                     | (σmin)      | -100,479 | Mpa |
| Tensione ammissibile (in funzione del materiale della tubazione) | (σamm)      | 47       | Mpa |
| Verifica soddisfatta                                             |             | NO       |     |

Calcolo della reazione laterale del terreno

| Grado di compattazione | tc       |
|------------------------|----------|
| Assente                | 1 -- 5   |
| scarso                 | 6 -- 10  |
| Moderato               | 11 -- 13 |
| Buono                  | 14 -- 20 |

|                                              |               |         |   |                   |
|----------------------------------------------|---------------|---------|---|-------------------|
| Grado di compattazione                       |               | Buono   | ▼ |                   |
| Fattore di compattazione                     | ( $f_c$ )     | 15      | ▼ | --                |
| Coefficiente rigidità terreno                | ( $c_r$ )     | 60,00   |   | N/cm <sup>3</sup> |
| Pressione laterale terreno a breve termine   | ( $r_{tbt}$ ) | 107,552 |   | kN/m              |
| Fattore di reazione laterale a breve termine | ( $R_{tbt}$ ) | 136,891 |   | kN/m              |
| Pressione laterale terreno a lungo termine   | ( $r_{ltt}$ ) | 107,662 |   | kN/m              |
| Fattore di reazione laterale a lungo termine | ( $R_{ltt}$ ) | 137,031 |   | kN/m              |

#### Carico totale sulla tubazione

|                                         |               |        |      |
|-----------------------------------------|---------------|--------|------|
| Carico del fluido trasportato           | ( $Q_s$ )     | 23,10  | kN/m |
| Sovraccarico statico dovuto al rinterro | ( $Q_{st}$ )  | 144,00 | kN/m |
| Sovraccarico idrostatico                | ( $Q_{idr}$ ) | 0,00   | kN/m |
| Sovraccarico dinamico stradale          | ( $Q_{din}$ ) | 23,955 | kN/m |
| Sovraccarico statico                    | ( $P_s$ )     | 0,78   | kN/m |
| <b>Carico totale sulla tubazione</b>    | ( $Q_{tot}$ ) | 191,84 | kN/m |

|                                      |                     |          |                   |
|--------------------------------------|---------------------|----------|-------------------|
| Materiale                            | (--)                | C.A.     | --                |
| Diametro tubazione esterno           | (DN)                | 3000     | mm                |
| Spessore parete tubazione            | (s)                 | 250      | mm                |
| Modulo elasticità breve termine      | (E)                 | 35000000 | kN/m <sup>2</sup> |
| Modulo elasticità lungo termine      | (E <sub>m</sub> )   | 35000000 | kN/m <sup>2</sup> |
| Diametro interno tubazione (DN - 2s) | (D <sub>i</sub> )   | 2500,00  | mm                |
| Diametro medio                       | (D <sub>m</sub> )   | 2750,00  | mm                |
| Rigidezza anulare (breve termine)    | (SN <sub>bt</sub> ) | 2191,33  | kN/m <sup>2</sup> |
| Rigidezza anulare (lungo termine)    | (SN <sub>lt</sub> ) | 2191,33  | kN/m <sup>2</sup> |

#### Carico del fluido trasportato

|                               |                   |       |      |
|-------------------------------|-------------------|-------|------|
| Carico del fluido trasportato | (Q <sub>a</sub> ) | 48,13 | kN/m |
|-------------------------------|-------------------|-------|------|

#### Caratteristica trincea e rinterro

|                                                   |     |      |   |
|---------------------------------------------------|-----|------|---|
| Larghezza trincea sull'estradosso della tubazione | (B) | 3    | m |
| Altezza trincea sull'estradosso della tubazione H | (H) | 6.50 | m |

| Tipo di terreno                    | Peso specifico $\gamma_t$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Peso immerso $\gamma'$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | Angolo di attrito interno $\phi$<br>[°] |
|------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Argilla fangosa                    | 20                                                | 16.9                                           | 20                                      |
| Argilla sabbiosa                   | 18                                                | 15.9                                           | 14                                      |
| Argilla umida comune               | 20                                                | 16.4                                           | 12                                      |
| Fango con polvere di roccia        | 18                                                | 16.9                                           | 25                                      |
| Loess                              | 21                                                | 15.9                                           | 18                                      |
| Marna                              | 21                                                | 16.9                                           | 22                                      |
| Misto di cava di ghiaia e ciottoli | 20                                                | 16.8                                           | 37                                      |
| Misto di cava di sabbia e ghiaia   | 20                                                | 16.5                                           | 33                                      |
| Sabbia argillosa                   | 18                                                | 15.9                                           | 15                                      |
| Sabbia secca                       | 15                                                | 15.9                                           | 31                                      |
| Sabbia umida                       | 17                                                | 16.4                                           | 34                                      |
| Terra secca                        | 17                                                | 15.5                                           | 14                                      |
| Terra umida                        | 20                                                | 16.0                                           | 25                                      |
| Terreno misto compatto             | 20                                                | 16.4                                           | 33                                      |
| Terreno misto sciolto              | 18                                                | 15.9                                           | 15                                      |
| Terreno paludoso                   | 17                                                | 9.9                                            | 12                                      |
| Terreno sabbioso                   | 19                                                | 15.8                                           | 30                                      |

## Sovraccarico dinamico

| Classe      | Carico per ruota P (kN) | Tipologia        |
|-------------|-------------------------|------------------|
| HT60        | 100                     | Traffico pesante |
| HT45        | 75                      |                  |
| HT38        | 62.5                    |                  |
| HT30        | 50                      |                  |
| HT26        | 35                      |                  |
| LT12        | 20                      | Traffico leggero |
| LT6         | 10                      |                  |
| LT3         | 5                       |                  |
| FERROVIARIO | 200                     |                  |

Tipologia di traffico

Traffico pesante

Classe convoglio

HT60

Carico per ruota

(P)

100

kN

Coefficiente di incremento

(φ)

1,05

--

Pressione dinamica

(σ<sub>z</sub>)

7,793

kN/m<sup>2</sup>

Tipo di terreno di rinterro

Misto di cava di sabbia e ghiaia

Peso specifico rinterro

(γ<sub>t</sub>)

20

kN/m<sup>3</sup>

Peso specifico rinterro immerso

(γ'<sub>t</sub>)

16,5

kN/m<sup>3</sup>

Angolo di attrito interno terreno rinterro

(Φ)

33

(°)

Coefficiente attrito rinterro/pareti

(μ)

0,649

(--)

| Tipo di terreno                                                                                                                                 | Materiale alla rinfusa<br>Indice Proctor<br>Densità relativa | Compattazione |                  |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------|------------------|--------------|
|                                                                                                                                                 |                                                              | Leggera       | Moderata         | Alta         |
|                                                                                                                                                 |                                                              | <85%<br><40%  | 85-94%<br>40-70% | >95%<br>>70% |
| Terreno coesivo LL > 50%<br>Argilla e limo ad alta plasticità                                                                                   | 0                                                            | 0             | 0                | 350          |
| Terreno coesivo LL < 50%<br>Argilla e limo a media e bassa plasticità con meno del 25% di particelle di fango                                   | 350                                                          | 1400          | 2800             | 7000         |
| Terreno granulare coesivo<br>Ghiaia con particelle fini con bassa o media plasticità<br>Sabbia con particelle fini con bassa o media plasticità | 700                                                          | 2800          | 7000             | 14000        |
| Terreno senza coesione<br>Ghiaia con curva granulometrica ben assortita o non ben assortita                                                     | 700                                                          | 7000          | 14000            | 21000        |
| Rocce macinate                                                                                                                                  | 7000                                                         | 21000         | 21000            | 21000        |

|                                                                           |                   |                                                      |                   |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------------------|-------------------|
| Tipo di terreno rinfiando                                                 |                   | Terreno coesivo LL<50% - Argilla e limo a media e ba | ▼                 |
| Grado di compattazione del rinterro all'intorno del tubo - Indice Proctor |                   | >95% - Compattazione Alta (Densità relativa >70%)    | ▼                 |
| Modulo elasticità del rinterro                                            | (E <sub>t</sub> ) | 7000                                                 | kN/m <sup>2</sup> |
| Peso specifico acqua                                                      | (γ <sub>w</sub> ) | 9,806                                                | kN/m <sup>3</sup> |
| Tipo di tubazione                                                         |                   | Rigida                                               |                   |
| Tipo di trincea                                                           |                   | Stretta                                              |                   |

|                                             |                    |        |                   |
|---------------------------------------------|--------------------|--------|-------------------|
| <b>Carico statico del rinterro</b>          |                    |        |                   |
| Altezza della falda su estradosso tubazione | (h)                | 2      | m                 |
| Coefficiente di spinta attiva               | (K <sub>a</sub> )  | 0,295  | --                |
| Coefficiente di Marston                     | (C <sub>t</sub> )  | 1,47   | --                |
| Carico statico del rinterro                 | (Q <sub>st</sub> ) | 354,75 | kN/m              |
| Pressione verticale                         | (q <sub>st</sub> ) | 139,12 | kN/m <sup>2</sup> |

|                                               |                     |         |                   |
|-----------------------------------------------|---------------------|---------|-------------------|
| <b>Sovraccarico idrostatico</b>               |                     |         |                   |
| Pressione della falda su estradosso tubazione | (q <sub>idr</sub> ) | 34,321  | kN/m <sup>2</sup> |
| Carico idrostatico                            | (Q <sub>idr</sub> ) | 102,963 | kN/m              |

|                             |                   |      |                   |
|-----------------------------|-------------------|------|-------------------|
| <b>Sovraccarico statico</b> |                   |      |                   |
| Carico statico agente       | (P <sub>n</sub> ) | 40   | kN                |
| Larghezza di impronta       | (u <sub>1</sub> ) | 1,00 | m                 |
| Lunghezza di impronta       | (u <sub>2</sub> ) | 1,0  | m                 |
| Pressione statica           | (q <sub>s</sub> ) | 0,20 | kN/m <sup>2</sup> |
| Coefficiente di diffusione  | (β)               | 0,71 | --                |
| Sovraccarico statico        | (P <sub>s</sub> ) | 0,43 | kN/m              |

|                                         |                     |        |      |
|-----------------------------------------|---------------------|--------|------|
| <b>Carico totale sulla tubazione</b>    |                     |        |      |
| Carico del fluido trasportato           | (Q <sub>a</sub> )   | 48,13  | kN/m |
| Sovraccarico statico dovuto al rinterro | (Q <sub>st</sub> )  | 354,75 | kN/m |
| Sovraccarico idrostatico                | (Q <sub>idr</sub> ) | 102,96 | kN/m |
| Sovraccarico dinamico stradale          | (Q <sub>din</sub> ) | 23,378 | kN/m |
| Sovraccarico statico                    | (P <sub>s</sub> )   | 0,43   | kN/m |
| <b>Carico totale sulla tubazione</b>    | (Q <sub>tot</sub> ) | 529,65 | kN/m |

**Verifica delle deformazioni a lungo termine**

|                                        |                    |      |    |
|----------------------------------------|--------------------|------|----|
| Coefficiente di deformazione differita | (F)                | 2    | -- |
| Deformazione diametrale del tubo       | ( $\Delta_d$ )     | 5,66 | mm |
| Deformazione percentuale               | ( $\delta$ )       | 0,19 | %  |
| Deformazione massima ammissibile       | ( $\delta_{lim}$ ) | 5    | %  |
| <b>Verifica soddisfatta</b>            |                    | SI   |    |

**Verifica di instabilità all'equilibrio elastico**

|                                                                      |                     |         |                   |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------|---------|-------------------|
| Fattore di progettazione                                             | (F <sub>s</sub> )   | 2,5     | (--)              |
| Fattore di spinta idrostatica                                        | (R <sub>w</sub> )   | 0,90    | --                |
| Coefficiente empirico supporto elastico                              | (B')                | 0,500   | --                |
| Pressione risultante dovuta ai carichi esterni                       | (P <sub>est</sub> ) | 114,20  | kN/m <sup>2</sup> |
| Pressione ammissibile di Bucking (ANSI-AWWA C950/88) - Breve termine | (Q <sub>a</sub> )   | 5210,69 | kN/m <sup>2</sup> |
| <b>Verifica soddisfatta</b>                                          |                     | SI      |                   |

**Verifica delle deformazioni a breve termine**

| Angolo appoggio<br>2 $\alpha$ [°] | Coefficiente<br>sottofondo K |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 0                                 | 0.121                        |
| 60                                | 0.103                        |
| 90                                | 0.096                        |
| 120                               | 0.09                         |
| 180                               | 0.083                        |

|                                        |                    |       |     |
|----------------------------------------|--------------------|-------|-----|
| Angolo di appoggio                     | (2 $\alpha$ )      | 90    | (°) |
| Coefficiente di sottofondo             | (K)                | 0,096 | --  |
| Coefficiente di deformazione differita | (F)                | 1     | --  |
| Deformazione diametrale del tubo       | ( $\Delta_d$ )     | 2,83  | mm  |
| Deformazione percentuale               | ( $\delta$ )       | 0,09  | %   |
| Deformazione massima ammissibile       | ( $\delta_{lim}$ ) | 5     | %   |
| <b>Verifica soddisfatta</b>            |                    | SI    |     |

Calcolo del massimo sforzo di trazione

Peso specifico materiale tubazione

( $\gamma_c$ )

14,70

(kN/m<sup>3</sup>)

| Parametri di sollecitazione per unità di lunghezza in una tubazione interrata per diverse ampiezze d'appoggio |                     |                  |                    |                   |                     |                    |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| CARICHI                                                                                                       | Angolo appoggio [°] | Sforzo Normale N |                    |                   | Momento Flettente M |                    |                   |
|                                                                                                               |                     | Sezione chiave   | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo | Sezione chiave      | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo |
| Peso proprio $G_c$                                                                                            | 180°                | -0.027 $G_c$     | +0.250 $G_c$       | +0.027 $G_c$      | +0.028 $G_c d$      | -0.031 $G_c d$     | +0.035 $G_c d$    |
|                                                                                                               | 120°                | -0.040 $G_c$     | +0.250 $G_c$       | +0.040 $G_c$      | +0.030 $G_c d$      | -0.035 $G_c d$     | +0.042 $G_c d$    |
|                                                                                                               | 90°                 | -0.053 $G_c$     | +0.250 $G_c$       | +0.053 $G_c$      | +0.033 $G_c d$      | -0.039 $G_c d$     | -0.051 $G_c d$    |
| Peso dell'acqua $Q_a$                                                                                         | 180°                | -0.196 $Q_a$     | -0.068 $Q_a$       | -0.451 $Q_a$      | +0.028 $Q_a d$      | -0.031 $Q_a d$     | +0.035 $Q_a d$    |
|                                                                                                               | 120°                | -0.199 $Q_a$     | -0.068 $Q_a$       | -0.438 $Q_a$      | +0.030 $Q_a d$      | -0.035 $Q_a d$     | +0.042 $Q_a d$    |
|                                                                                                               | 90°                 | -0.212 $Q_a$     | -0.068 $Q_a$       | -0.424 $Q_a$      | +0.033 $Q_a d$      | -0.039 $Q_a d$     | +0.051 $Q_a d$    |
| Carico verticale uniforme $Q$                                                                                 | 180°                | 0                | +0.50 $Q$          | 0                 | +0.063 $Q d$        | -0.063 $Q d$       | +0.063 $Q d$      |
|                                                                                                               | 120°                | -0.013 $Q$       | +0.50 $Q$          | +0.013 $Q$        | +0.066 $Q d$        | -0.069 $Q d$       | +0.069 $Q d$      |
|                                                                                                               | 90°                 | -0.027 $Q$       | +0.50 $Q$          | +0.027 $Q$        | +0.069 $Q d$        | -0.070 $Q d$       | +0.078 $Q d$      |
| Spinta $H_0$                                                                                                  | -                   | +0.5 $H_0$       | 0                  | +0.5 $H_0$        | -0.063 $H_0 d$      | +0.063 $H_0 d$     | -0.063 $H_0 d$    |
| Spinta $H_t$                                                                                                  | -                   | +0.313 $H_t$     | 0                  | +0.687 $H_t$      | -0.052 $H_t d$      | +0.063 $H_t d$     | -0.073 $H_t d$    |

|                               | Carichi (kN/m) | Sforzo Normale N |                    |                   | Momento Flettente M |                    |                   |
|-------------------------------|----------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
|                               |                | Sezione chiave   | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo | Sezione chiave      | Sezione sul fianco | Sezione sul fondo |
| Peso proprio $G_c$            | 31.75          | -1.682735        | 7.937430           | 1.682735          | 3.143222            | -3.714717          | -4.857707         |
| Peso dell'acqua $Q_a$         | 48.13          | -10.202500       | -3.272500          | -20.405000        | 4.764375            | -5.630625          | 7.363125          |
| Carico verticale uniforme $Q$ | 481.53         | -13.001184       | 240.762661         | 13.001184         | 99.675742           | -101.120318        | 112.676925        |
| Spinta $H_0$                  | 114.97         | 57.486174        | 0                  | 57.486174         | -21.729774          | 21.729774          | -21.729774        |
| Spinta $H_t$                  | 26.53          | 8.304541         | 0                  | 18.227539         | -4.139005           | 5.014563           | -5.810526         |
| Totale                        | 702.90         | 40.904           | 245.428            | 69.993            | 81.715              | -83.721            | 87.642            |

|                                                                  |                          |        |     |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------|-----|
| Tensione all'estradosso Sezione chiave                           | ( $\sigma_{e\_chiave}$ ) | 8,008  | Mpa |
| Tensione all'intradosso Sezione chiave                           | ( $\sigma_{i\_chiave}$ ) | -7,681 | Mpa |
| Tensione all'estradosso Sezione sul fianco                       | ( $\sigma_{e\_fianco}$ ) | -7,056 | Mpa |
| Tensione all'intradosso Sezione sul fianco                       | ( $\sigma_{i\_fianco}$ ) | 9,019  | Mpa |
| Tensione all'estradosso Sezione sul fondo                        | ( $\sigma_{e\_fondo}$ )  | 8,694  | Mpa |
| Tensione all'intradosso Sezione sul fondo                        | ( $\sigma_{i\_fondo}$ )  | -8,134 | Mpa |
| Tensione max                                                     | ( $\sigma_{max}$ )       | 9,019  | Mpa |
| Tensione min                                                     | ( $\sigma_{min}$ )       | -8,134 | Mpa |
| Tensione ammissibile (in funzione del materiale della tubazione) | ( $\sigma_{amm}$ )       | 47     | Mpa |
| Verifica soddisfatta                                             |                          | SI     |     |

Calcolo della reazione laterale del terreno

| Grado di compattazione | $f_c$    |
|------------------------|----------|
| Assente                | 1 -- 5   |
| scarso                 | 6 -- 10  |
| Moderato               | 11 -- 13 |
| Buono                  | 14 -- 20 |

|                                              |                     |         |   |                   |
|----------------------------------------------|---------------------|---------|---|-------------------|
| Grado di compattazione                       |                     | Buono   | ▼ |                   |
| Fattore di compattazione                     | (f <sub>c</sub> )   | 15      | ▼ | --                |
| Coefficiente rigidità terreno                | (c <sub>r</sub> )   | 97,50   |   | N/cm <sup>3</sup> |
| Pressione laterale terreno a breve termine   | (r <sub>tbl</sub> ) | 80,026  |   | kN/m              |
| Fattore di reazione laterale a breve termine | (R <sub>tbl</sub> ) | 169,760 |   | kN/m              |
| Pressione laterale terreno a lungo termine   | (r <sub>tl</sub> )  | 80,026  |   | kN/m              |
| Fattore di reazione laterale a lungo termine | (R <sub>tl</sub> )  | 169,760 |   | kN/m              |