



ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI SpA



COGESI S.C.R.L.
consorzio gestori servizi idrici



| | |
|--------|--|
| Comuni | CARRU' – LEQUIO TANARO – MONCHIERO – MONFORTE D'ALBA - PIOZZO (CN) |
|--------|--|

| | |
|---------|--|
| Oggetto | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO – ECONOMICA <i>(art. 41 D.Lgs 36/2023)</i> NUOVA CONDOTTA DI ADDUZIONE A SERVIZIO DELLA RETE ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI (COMUNI DI CARRU' - LEQUIO TANARO – MONCHIERO – MONFORTE D'ALBA – PIOZZO) |
|---------|--|

| | |
|-----------|---|
| Elaborato | D11 – RELAZIONE GENERALE ATTRAVERSAMENTO LINEA FERROVIARIA DISMESSA CEVA – NARZOLE – progressiva km 75 + 190 – comune di Monchiero |
|-----------|---|

| | |
|--------------------------|--|
| Committente del progetto |  ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI SpA |
|--------------------------|--|

| | |
|-------------|--|
| Progettista | dott. ing. Enrico Piovano - ufficio tecnico ALAC |
|-------------|--|

| | |
|-------------------------------------|--|
| Responsabile Unico del Procedimento | geom. Mario Giraudo – ufficio tecnico ALAC |
|-------------------------------------|--|

| Commessa | Livello di progetto | Approvazione | Data approvazione | N° elaborato | Rev. | Data | Scala |
|----------|---|--------------|-------------------|--------------|-----------|---------|-------|
| 2021_01 | FATTIBILITA' TECNICO - ECONOMICA | CdA | 04/08/2022 | D11 | 02 | 08/2023 | --- |

| Rev. | Descrizione | Data | Redatto | Verificato | Approvato |
|-----------|---------------------------------------|---------|---------|------------|------------|
| 00 | Prima emissione | 07/2022 | | | |
| 01 | Aggiornamento | 03/2023 | | | |
| 02 | Aggiornamento testalino D.Lgs 36/2023 | 08/2023 | | | |
| – | Studio di fattibilità | 07/2021 | | | 26/08/2021 |

Questo elaborato è di proprietà di ACQUEDOTTO LANGHE e ALPI CUNEEESI SpA
L'elaborato non può essere modificato, copiato, duplicato, riprodotto o divulgato, anche parzialmente, senza autorizzazione scritta del proprietario.

ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEEESI SpA
Corso Nizza 9, 12100 CUNEO – tel. 0171 697550 – e-mail acquedotto.langhe@legalmail.it – Capitale Sociale € 5.000.000
n. iscrizione registro imprese di Cuneo e Codice Fiscale e Partita IVA 00451260046 – n. REA CN - 179339

CO.GE.S.I. SCRL
Corso Nizza 90, 12100 CUNEO – tel. 0171 326771 – e-mail cogesi@cogesi.it – Capitale Sociale € 3.000.000
n. iscrizione registro imprese di Cuneo e Codice Fiscale e Partita IVA 03434470047 – n. REA CN - 290478

Indice

| | |
|---|----|
| 1. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO | 3 |
| 2. ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO | 5 |
| 2.1 Scelte progettuali | 5 |
| 2.2 Caratteristiche tecniche | 6 |
| 2.3 Verifiche idrauliche condotta di adduzione | 7 |
| 2.4 Verifica dello smaltimento della portata..... | 10 |
| 2.5 Verifica della tubazione di protezione..... | 11 |
| 2.6 Verifica idraulica tubazione di scarico del pozzetto A..... | 16 |

1. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO

La presente relazione è redatta in fase di progettazione definitiva dell'intervento "NUOVA CONDOTTA DI ADDUZIONE A SERVIZIO DELLA RETE ACQUEDOTTO LANGHE E ALPI CUNEESI". Il progetto prevede la realizzazione di una nuova condotta di adduzione che si snoderà per una lunghezza complessiva di 16,1 km sul territorio dei comuni di Carrù, Piozzo, Lequio Tanaro, Monchiero e Monforte d'Alba.

Il progetto prevede in comune di Monchiero l'attraversamento della linea ferroviaria dismessa Ceva – Narzole alla progressiva km 75 +190.

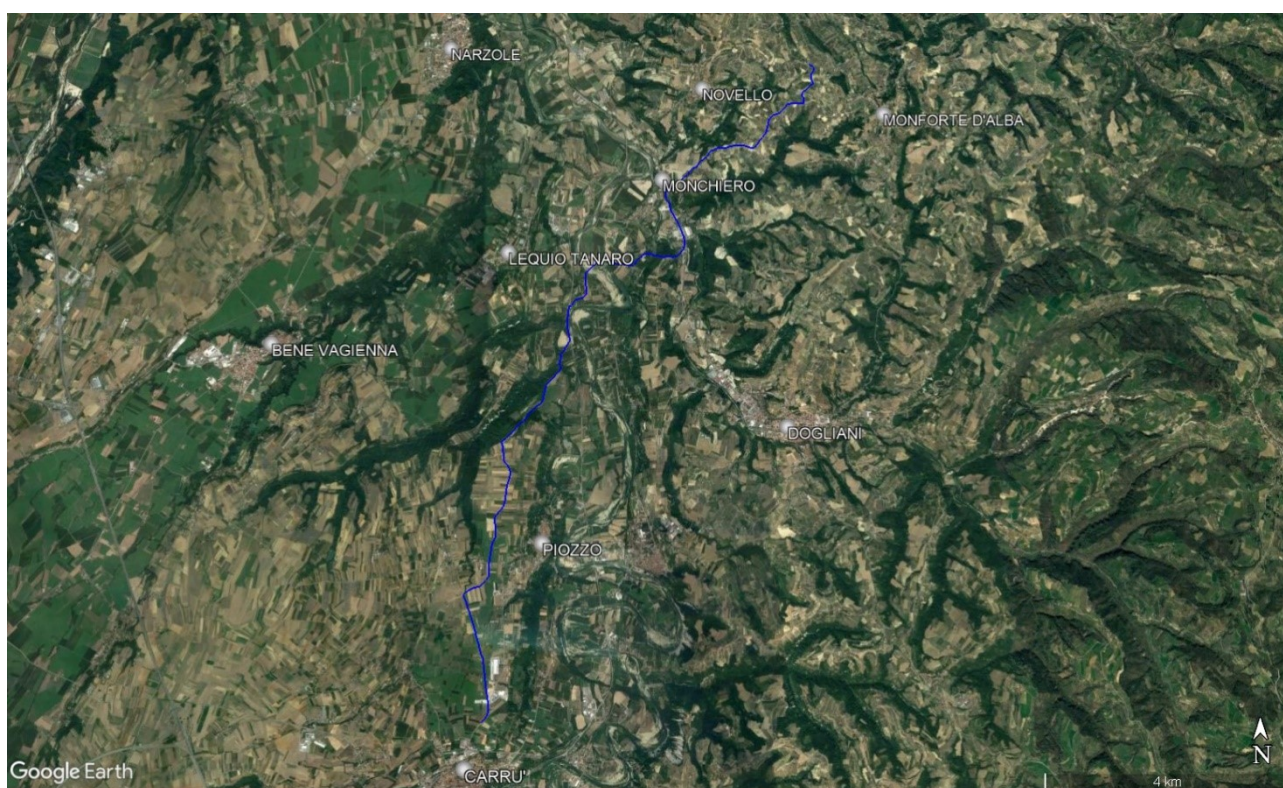


Figura 1 - Foto aerea dell'area di intervento

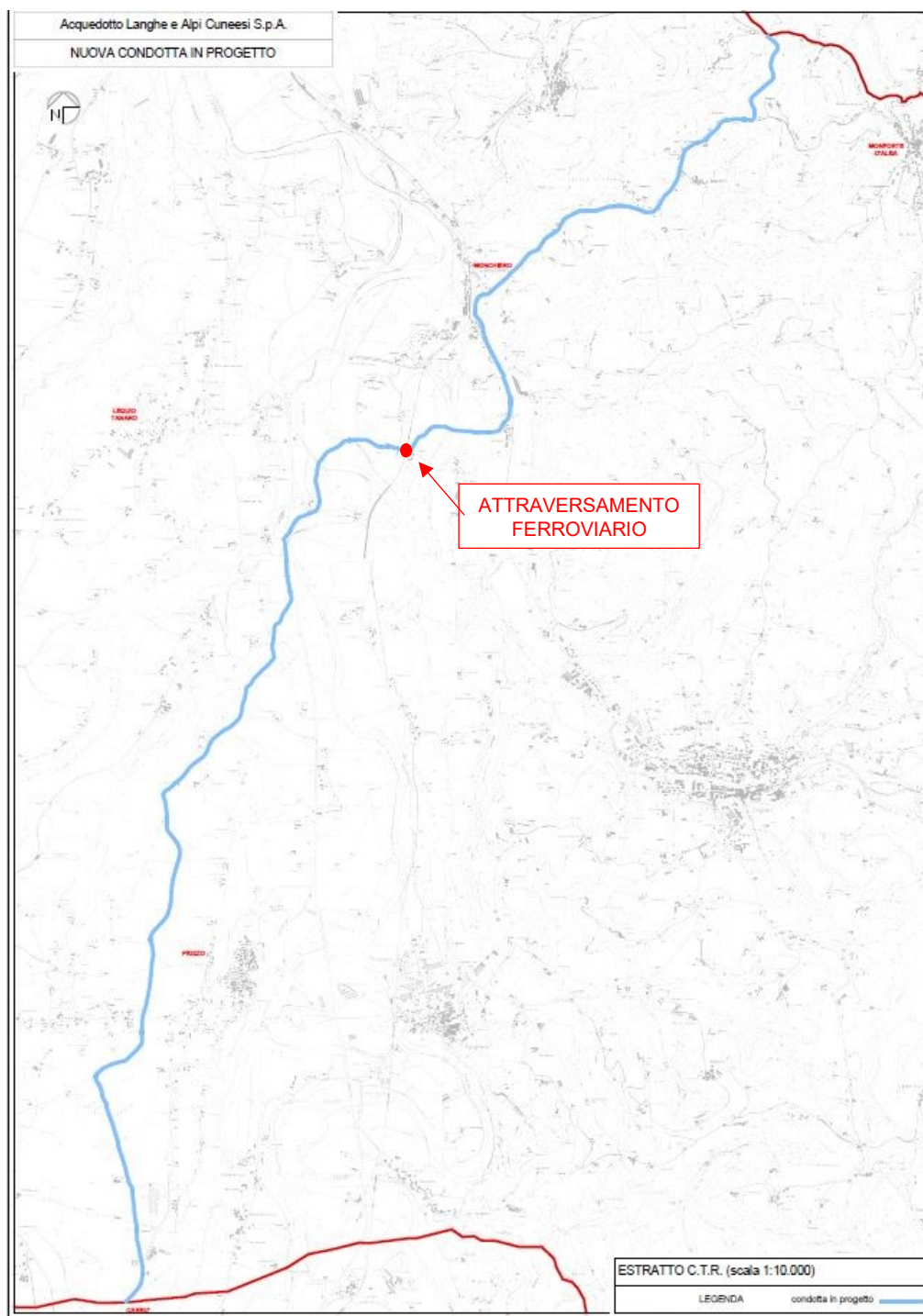


Figura 2 - Estratto CTR con individuazione dell'opera in progetto e dell'attraversamento ferroviario (cerchio rosso)

2. ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO

Si rende necessaria da parte della Rete Ferroviaria Italiana l'autorizzazione per l'attraversamento della linea ferroviaria dismessa Ceva Narzole in comune di Monchiero (progressiva km 75 + 190).

La normativa che regola gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte o canali convoglianti liquidi o gas con ferrovie o altre linee di trasporto è il D.M. n. 137 del 4 aprile 2014. L'attraversamento in progetto è da classificarsi tra gli attraversamenti interrati di cui al punto. 4.1.1.

2.1 Scelte progettuali

Il tracciato dell'attraversamento è rettilineo e forma con l'asse del binario un angolo di circa 90 gradi, come prescritto dal punto 4.1.1.1.

Non si prevedono interferenze con manufatti e strutture della ferrovia: la sede ferroviaria non sarà occupata da personale od attrezzature e sarà comunque cura della ditta esecutrice recepire, prima dell'inizio dei lavori, le indicazioni del Piano di Sicurezza e Coordinamento inerenti ai rischi specifici dell'intervento in prossimità della linea ferroviaria ed attuarle mediante la redazione del Piano Operativo di Sicurezza.

Ai sensi del punto 4.1.1.3 del Decreto del 4 aprile 2014 la condotta di trasporto dell'acqua potabile DN250 sarà contenuta entro un tubo di protezione in acciaio DN 450 mm.

Ai sensi del punto 4.1.1.4 del Decreto del 4 aprile 2014 il tubo attraversante sarà interrato per un'estesa di 10 m oltre la rotaia esterna a una profondità tale che l'altezza del terreno sovrastante il tubo di protezione risulta di almeno 1,20 m ed il punto più alto del tubo stesso si trova a 2,13 - 2,15 m al di sotto del piano del ferro (superiore ai 2 m minimi richiesti). Stante la ferrovia dismessa l'attraversamento sarà eseguito mediante scavo a cielo aperto.

Ai sensi del punto 4.3 del Decreto del 4 aprile 2014 la condotta di trasporto dell'acqua potabile nel tratto in corrispondenza dell'attraversamento del sedime ferroviario (da pozzetto a pozzetto) sarà in acciaio. Lo spessore della tubazione determinato secondo il punto 4.3.3 sarà pari a 15 mm.

Ai sensi del punto 4.3.9 il tratto di condotta costituente l'attraversamento sarà sottoposto a collaudo mediante prova idraulica in opera con pressione pari a 1,5 volte la pressione idraulica massima di esercizio. La pressione dovrà mantenersi costante per 2 ore dopo la stabilizzazione e dovrà essere dimostrata mediante l'utilizzo di manometro registratore su disco ai sensi del punto 4.3.10 del D.M.

Ai sensi del punto 4.4.6 del Decreto del 4 aprile 2014, la condotta avrà pendenza pari al 4 % (superiore al due per mille) in direzione del pozzetto posto a quota inferiore (pozzetto A nella tavola) e terminerà ad una distanza di 10 m da entrambi i lati (valore minimo ammesso) dalla più vicina rotaia.

Ai sensi del punto 4.4.8 del Decreto del 4 Aprile 2014 le estremità del tubo di protezione termineranno in pozzetto praticabile della dimensione interna di 250 x 200 cm allo scopo di consentire l'ispezione dell'intercapedine libera fra la condotta ed il tubo di protezione, nonché di raccogliere e smaltire le eventuali perdite dovute ad avaria o rottura della condotta. All'interno di tali pozzetti saranno posizionate le valvole di intercettazione; nel pozzetto posto a quota inferiore sarà installata la valvola di scarico. Dal pozzetto A (posto a quota inferiore) sarà realizzata una tubazione di scarico in PEAD il cui tracciato seguirà quello della tubazione di adduzione in pressione fino al canale di derivazione esistente posto in prossimità del fiume Tanaro dove avverrà lo scarico.

2.2 Caratteristiche tecniche

Si riportano nel seguito le caratteristiche tecniche delle condotte interferenti e dei pozzetti di collegamento:

- Individuazione chilometrica: km 75+190;
- Funzionamento della condotta: a pressione;
- Modalità di posa: mediante scavo a cielo aperto;
- Condotta di adduzione: la condotta, posta al di sotto del piano ferrato, sarà costituita da:
 - tubazione: acciaio;
 - conforme alla norma UNI EN 10224/06;
 - qualità dell'acciaio: L275;
 - carico unitario minimo di snervamento: $Re\ 275\ N/mm^2$;
 - diametro nominale: DN 250 mm;
 - diametro esterno: De 273 mm;
 - spessore: 15 mm;
 - diametro interno reale: 243 mm;
 - pendenza: 4 %;
 - posa: posata all'interno del tubo di protezione con distanziatori di materiale isolante non deteriorabile. Detti distanziatori avranno caratteristiche conformi a quanto richiesto dal D.M. 4 aprile 2014 (non occuperanno più di un quarto della sezione dell'intercapedine) e saranno in numero tale da garantire che la condotta portante non entri in contatto con il tubo di protezione.
- Tubazione di protezione: il tubo di protezione esterno sarà costituito da:
 - tubazione: acciaio;
 - conforme alla norma UNI EN 10224/06;
 - qualità dell'acciaio: L235
 - carico unitario minimo di snervamento: $Re\ 235\ N/mm^2$;
 - diametro nominale: DN450 mm;
 - diametro esterno: De 457,2 mm;
 - spessore: 8,8 mm;
 - diametro interno reale: 439,6 mm;
 - pendenza: 4 %.
- Pozzetti: i pozzetti alle estremità del tubo di protezione saranno realizzati utilizzando moduli prefabbricati delle dimensioni interne minime di 250 x 200 cm o in alternativa saranno realizzati in opera. La soletta sarà di tipo carrabile per traffico pesante provvista di passo d'uomo sul quale verrà installato un chiusino in ghisa del peso minimo di 80 kg, di classe D400 e provvisto di guarnizione di tenuta atta ad impedire infiltrazioni nel manufatto dal piano stradale. Lo smaltimento delle eventuali perdite sarà garantito da una condotta di scarico in PEAD DE400 SN8 con pendenza pari a 0,4 % che dal pozzetto posta a quota inferiore scaricherà all'interno del canale di derivazione posto in prossimità del fiume Tanaro.

Il diametro del tubo-camicia è tale da assicurare un'intercapedine di $0,0700\ m^2$ (maggiore rispetto all'intercapedine minimo richiesto pari a $0,0464\ m^2$) che permette di far defluire tutta la portata sollevata in arrivo in caso di rottura della tubazione. L'intercapedine minima richiesta è stata calcolata considerando che i distanziatori non devono occupare più di un quarto dell'area dell'intercapedine (punto 4.4.5).

2.3 Verifiche idrauliche condotta di adduzione

Calcolo e verifica dello spessore minimo della condotta di adduzione

Per la verifica di resistenza dello spessore minimo della tubazione si fa riferimento alle modalità di calcolo definite al punto 2.3.3 del Decreto del 4 aprile 2014:

$$S_{min} = \frac{200 \cdot \frac{S}{K_s} + p \cdot D_e}{200 \cdot \frac{S}{K_s} + 2 \cdot p}$$

dove

s = spessore della condotta [mm];

S = carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato [daN/mm²];

K_s = coefficiente di sicurezza minimo, pari a 2,5, rispetto al carico di snervamento [-];

p = pressione massima che può aversi nel più sfavorevole caso [daN/cm²];

D_e = diametro esterno della condotta [mm].

Si procede pertanto alla determinazione dei dati necessari calcolando la sovrappressione massima generata dal colpo d'ariete per il tratto in esame.

Pressioni massime di esercizio

Nel punto iniziale i dati di progetto indicano pressioni (p) dell'ordine dei 75 - 76 bar (cautelativamente è stato considerato un valore pari a 77 bar).

Sovrappressione dovuta al colpo d'ariete

Per la determinazione della sovrappressione dovuta al colpo d'ariete per il tratto di condotta relativo all'attraversamento occorre:

- determinare la celerità;
- verificare la condizione di chiusura della valvola secondo Allievi;
- determinare la durata della fase secondo Allievi;
- determinare la sovrappressione secondo la formula di Allievi-Michaud;
- determinare la pressione massima generata;
- verificare lo spessore della condotta.

A. Determinazione della celerità

Il calcolo della celerità o velocità di propagazione delle perturbazioni di velocità e di pressione conseguenti ad una manovra dell'organo otturatore verrà calcolata applicando la formula di Allievi:

$$c = \frac{C}{\sqrt{\left(1 + \frac{\varepsilon}{E} \cdot \frac{D}{s}\right)}}$$

dove:

c = celerità o velocità di propagazione delle perturbazioni di velocità e di pressione [m/s];

C = celerità del suono nel liquido per l'acqua (1420 m/s);

ε = modulo di elasticità di volume liquido per l'acqua ($2 \cdot 10^8$ kg/m²);

E = modulo di elasticità normale dell'acciaio della condotta ($1,9 \cdot 10^{10}$ kg/m²);

D = diametro interno reale della condotta ($D_i = 243$ mm);

s = spessore della condotta ($s = 15$ mm).

Si ottiene $c = 1312,5$ m/s.

B. Verifica della condizione di chiusura della valvola

Considerando:

$T_c = 10$ s tempo ipotizzato di chiusura delle valvole a volantino

$L = 22$ m lunghezza del tratto di condotta dell'attraversamento ferroviario

$c = 1312,5$ m/s celerità o velocità di propagazione delle perturbazioni di velocità e di pressione conseguenti ad una manovra dell'organo otturatore

Ipotesi 1 manovra brusca

$$\text{chiusura } T_c < 2 \cdot \frac{L}{c}$$

la sovrappressione è raggiunta nella prima parte della condotta

$$\text{la sovrappressione è così determinata } \Delta p = c \cdot \frac{V_0}{g}$$

Ipotesi 2 manovra lenta

$$\text{chiusura } T_c > 2 \cdot \frac{L}{c}$$

la sovrappressione non si verifica in nessuna sezione della condotta

In questo caso si determina la durata di fase secondo Allievi e la sovrappressione secondo la formula di Allievi-Michaud.

Nel caso in esame $2 \cdot \frac{L}{c} = 0,034$ secondi; pertanto con $T_c > 2 \cdot \frac{L}{c}$ è il caso di manovra lenta.

C. Determinazione della durata di fase secondo Allievi

Considerando:

| | |
|------------------|--|
| τ | durata di fase secondo Allievi |
| $T_c = 10$ s | tempo ipotizzato di chiusura delle valvole a volantino |
| $L = 22$ m | lunghezza del tratto di condotta dell'attraversamento ferroviario |
| $c = 1312,5$ m/s | celerità o velocità di propagazione delle perturbazioni di velocità e di pressione conseguenti ad una manovra dell'organo otturatore |

Pertanto

$$\tau = T_c \cdot \frac{2 \cdot L}{c} = 0,34 \text{ s}$$

D. Determinazione della sovrappressione secondo la formula di Allievi-Michaud

La formula di Allievi-Michaud fornisce un valore cautelativo in eccesso del sovraccarico massimo espresso in metri di colonna d'acqua. Tale formula è utilizzabile nell'ipotesi di una manovra di chiusura lenta e lineare nelle sezioni e che il massimo sovraccarico si verifichi al termine della prima fase.

| | |
|-----------------------------|---|
| Δp | sovrappressione espressa in metri di colonna d'acqua |
| $L = 22$ m | lunghezza del tratto di condotta dell'attraversamento ferroviario |
| $V_0 = 2,16$ m/s | velocità del fluido nella condotta in esame |
| $g = 9,81$ m/s ² | accelerazione di gravità |
| $\tau = 0,34$ s | durata della fase secondo Allievi |

Pertanto:

$$\Delta p \leq \frac{2 \cdot L \cdot V_0}{g \cdot \tau}$$

$$\Delta p \leq 28,49 \text{ m}$$

Tale valore di sovrappressione espresso in metri di colonna d'acqua corrisponde a una sovrappressione di circa 2,84 bar.

E. Determinazione della pressione massima

Considerando che la pressione di esercizio è pari a 77 bar e che il valore in eccesso del sovraccarico massimo dovuto al colpo d'ariete nel tratto di condotta relativo all'attraversamento ferroviario è pari a 2,84 bar si ottiene una pressione massima P_{\max} pari a 79,84 bar (cautelativamente è stato considerato un valore pari a 80 bar).

F. Verifica dello spessore minimo della condotta

Per la verifica di resistenza dello spessore minimo della tubazione si fa riferimento alle modalità di calcolo definite al punto 2.3.3 del Decreto del 4 aprile 2014.

Pertanto lo spessore minimo della tubazione è determinato con la seguente formula:

$$s_{min} = \frac{200 \cdot \frac{S}{K_s} + p \cdot D_e}{200 \cdot \frac{S}{K_s} + 2 \cdot p}$$

dove:

| | |
|-----------------------------|---|
| $s = 15 \text{ mm}$ | spessore della condotta; |
| $S = 27,5 \text{ daN/mm}^2$ | carico di snervamento minimo dell'acciaio impiegato; |
| $K_s = 2,5$ | coefficiente di sicurezza minimo rispetto al carico di snervamento; |
| $p = 80 \text{ daN/cm}^2$ | pressione massima che può aversi nel più sfavorevole caso; |
| $D_e = 273 \text{ mm}$ | diametro esterno della condotta. |

Da cui risulta $s_{min} = 10,2 \text{ mm}$.

Pertanto considerando una condotta avente spessore $s = 15 \text{ mm} > s_{min} = 10,2 \text{ mm}$ la verifica risulta superata.

2.4 Verifica dello smaltimento della portata

Si procede alla verifica della capacità del tubo di protezione di smaltire la portata della condotta di adduzione in caso di rottura ai sensi del punto 4.4.3 del Decreto del 4 aprile 2014.

La condotta di adduzione nel tratto relativo all'attraversamento ferroviario ha una sezione interna reale di passaggio della portata determinata dalla seguente relazione:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

dove

| | |
|----------------------|---|
| $D = 243 \text{ mm}$ | diametro interno reale della condotta nel tratto relativo all'attraversamento ferroviario |
|----------------------|---|

La sezione interna della condotta ha una superficie $S = 0,0464 \text{ m}^2$.

La sezione utile del tubo di protezione per lo smaltimento della portata della condotta di adduzione è data dall'area della corona circolare decurtata del 25% per la presenza dei distanziatori, che con riferimento al punto 4.4.5 del Decreto 4 aprile 2014 devono essere in materiale non deteriorabile e non devono occupare più di $\frac{1}{4}$ dell'area dell'intercapedine.

$$S_{\text{smaltimento}} = (S_{\text{protezione}} - S_{\text{condotta}}) \cdot (1 - 0,25)$$

$$S_{\text{smaltimento}} = \frac{\pi}{4} (D_{i\text{protezione}}^2 - D_{e\text{condotta}}^2) \cdot (1 - 0,25)$$

dove

| | |
|---|---|
| $S_{\text{smaltimento}}$ | sezione utile del tubo di protezione per lo smaltimento della portata della condotta di adduzione |
| $D_{i\text{protezione}} = 439,6 \text{ mm}$ | diametro interno reale tubazione di protezione |
| $D_{e\text{condotta}} = 273,0 \text{ mm}$ | diametro esterno condotta di adduzione |

Pertanto con

$$S_{\text{smaltimento}} = (0,1518 \text{ m}^2 - 0,0585 \text{ m}^2) \cdot 0,75 = 0,0700 \text{ m}^2 > S = 0,0464 \text{ m}^2$$

la verifica risulta soddisfatta.

2.5 Verifica della tubazione di protezione

Per la verifica di resistenza della tubazione di protezione si fa riferimento alle modalità di calcolo definite al punto 4.4.2 del Decreto del 4 Aprile 2014.

Per poter procedere alla verifica occorre determinare i dati:

- Peso proprio della tubazione;
- Carico ripartito superiore, corrispondente al peso del terrapieno sovrastante la tubazione e al carico mobile transitante sul binario opportunamente combinati;
- Carico ripartito laterale, corrispondente alla parte rettangolare del diagramma di spinta (terra + sovraccarico);
- Carico triangolare laterale, corrispondente alla parte triangolare del diagramma di spinta;
- Reazione radiale costante in un settore corrispondente ad un angolo al centro di 60° , in funzione del carico Q, pari alla somma di tutti i carichi verticali opportunamente combinati, agente sulla tubazione.

A) Peso proprio della tubazione

Il peso complessivo è dato dalla somma di: peso proprio della tubazione di protezione (P), peso proprio della tubazione portante (Pc) e peso dell'acqua contenuta nella condotta interna (Pa).

| <i>tubazione di protezione</i> | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|------|
| DN | De | Di | P | | |
| mm | mm | mm | kg/m | N/m | N/cm |
| 450 | 457,2 | 439,6 | 97,31 | 954,61 | 9,55 |

| <i>condotta</i> | | | | | |
|-----------------|-----|-------|-------|--------|------|
| DN | De | Di | Pc | | |
| mm | mm | mm | kg/m | N/m | N/cm |
| 250 | 273 | 243,0 | 95,44 | 936,27 | 9,36 |

| fluido: acqua | | | | | |
|-------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|------|
| ρ | g | γ | | A | Pa |
| kg/m ³ | m/s ² | N/m ³ | N/cm ³ | cm ² | N/cm |
| 1000 | 9,81 | 9810 | 0,00981 | 497,97 | 4,89 |

B) Carico ripartito superiore, corrispondente al peso del terrapieno sovrastante la tubazione e al carico mobile transitante sul binario opportunamente combinati

I parametri geotecnici di progetto considerati sono riportati nella seguente tabella:

| | |
|---------------------------|-----------|
| γ_{terreno} | φ |
| kN/m ³ | ° |
| 19 | 29 |

Il carico ripartito superiore (p) risulta come somma del carico permanente (pp):

$$pp = \gamma_{\text{terreno}} \cdot H$$

e del carico accidentale (pa)

per ferrovie a semplice binario: $pa = [15000 : (2,6 + 1,5 H)] \text{ daN/m}^2$

per ferrovie a doppio binario: $pa = [15000 : (3,08 + 0,8 H)] \text{ daN/m}^2$

Per il caso in esame si tratta di ferrovia a semplice binario.

| | | | | | |
|----|--------|-------------------|--------------------|------|--|
| H | 2,15 | m | altezza terrapieno | | |
| pp | 40,85 | kN/m ² | | | |
| De | 0,4396 | m | | | |
| Pt | 17,96 | kN/m | 179,6 | N/cm | |

| | | | | | | | |
|----|---------|--------------------|--------------------|------|-------|------|--|
| H | 2,15 | m | altezza terrapieno | | | | |
| pa | 2575,11 | daN/m ² | singolo binario | | | | |
| De | 0,4396 | m | | | | | |
| Pm | 1132,02 | daN/m | 11,32 | kN/m | 113,2 | N/cm | |

Quindi risulta: $p = pp + pa = 66,60 \text{ kN/m}^2$

Considerando

$$P_t \text{ (peso del terrapieno)} = p_p \cdot D_e = 179,6 \text{ N/cm}$$

$$P_m \text{ (carico mobile)} = p_a \cdot D_e = 113,2 \text{ N/cm}$$

La reazione totale Q è data dalla somma di tutti i carichi verticali agenti sulla tubazione di protezione:

$$Q = P + P_c + P_a + P_t + P_m$$

$$Q = 316,6 \text{ N/cm} = 3227,32 \text{ kg/m} = 31,66 \text{ kN/m}$$

C) Carico ripartito laterale (q), corrispondente alla parte rettangolare del diagramma di spinta (pressione dovuta al terreno + pressione dovuta al sovraccarico accidentale)

Considerando

$$q = k_0 \cdot p$$

dove:

k_0 coefficiente di spinta a riposo, funzione di φ , valutato con l'espressione di Jaky

$$k_0 = \left(1 + \frac{2}{3} \sin \varphi\right) \cdot \left(\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}\right)$$

p carico ripartito superiore (precedentemente calcolato).

Si ottiene

| | | |
|-------|-------|-------------------|
| k_0 | 0,46 | |
| p | 66,60 | kN/m ² |
| q | 30,64 | kN/m ² |

D) Carico triangolare laterale, corrispondente alla parte triangolare del diagramma di spinta

Considerando

$$z = k_0 \cdot D_e \cdot \gamma_{\text{terreno}}$$

dove

k_0 coefficiente di spinta a riposo, funzione di φ , valutato con l'espressione di Jaky;

D_e diametro esterno della tubazione di protezione.

Si ottiene

| | | |
|---------------------------|--------|-------------------|
| k_0 | 0,46 | |
| D_e | 0,4396 | m |
| γ_{terreno} | 19 | kN/m ³ |
| z | 3,84 | kN/m ² |

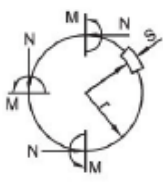
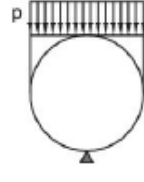
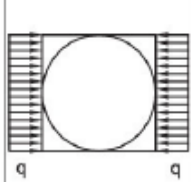
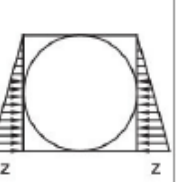

E) Reazione radiale costante in un settore corrispondente ad un angolo al centro di 60°, in funzione del carico Q, pari alla somma di tutti i carichi verticali opportunamente combinati, agente sulla tubazione

Considerando i dati determinati nei paragrafi precedenti si possono determinare le sollecitazioni unitarie nelle sezioni radiali della tubazione di protezione.

Nella seguente tabella si riassumono i dati precedentemente calcolati.

| | | |
|---------------------------|--------|-------------------|
| γ_{terreno} | 19 | kN/m ³ |
| r (r medio) | 0,224 | m |
| s | 0,0088 | m |
| p | 66,60 | kN/m ² |
| q | 30,64 | kN/m ² |
| z | 3,84 | kN/m ² |
| Q | 31,65 | kN/m |

Le sollecitazioni unitarie del tubo di protezione sono determinate secondo la seguente tabella.

| | A | B | C | D | E |
|-----------------------------|--|---|---|--|---|
| | PESO PROPRIO | CARICO RIPARTITO SUPERIORE | CARICO RIPARTITO LATERALE | CARICO TRIANGOLARE LATERALE | REAZIONE RADIALE COSTANTE SETTORE $2\varphi_0=60^\circ$ |
| SCHEMA |  |  |  |  |  |
| SEZIONE VERTICALE SUPERIORE | $M = \frac{1}{2} \gamma_t s r^2$ $N = -\frac{1}{2} \gamma_t s r$ | $M = \left(\frac{4}{3\pi} - \frac{1}{8} \right) p r^2 = 0,29941 p r^2$ $N = -\frac{1}{3\pi} p r = -0,10610 p r$ | $M = -\frac{1}{4} q r^2$ $N = q r$ | $M = -\frac{5}{48} z r^2 = -0,10417 z r^2$ $N = \frac{5}{16} z r = 0,31250 z r$ | $Q =$ (reazione totale) $M = -0,0073038 Q r$ $N = 0,014817 Q$ |
| SEZIONE ORIZZONTALE MEDIANA | $M = -\frac{\pi-2}{2} \gamma_t s r^2 = -0,57080 \gamma_t s r^2$ $N = \frac{\pi}{2} \gamma_t s r = 1,57080 \gamma_t s r$ | $M = \left(\frac{1}{\pi} - \frac{5}{8} \right) p r^2 = -0,30669 p r^2$ $N = p r$ | $M = \frac{1}{4} q r^2 =$ $N = 0$ | $M = \frac{1}{8} z r^2 = 0,125 z r^2$ $N = 0$ | $M = 0,0075118 Q r$ $N = 0$ |
| SEZIONE VERTICALE INFERIORE | $M = \frac{3}{2} \gamma_t s r^2$ $N = \frac{1}{2} \gamma_t s r$ | $M = \left(\frac{2}{3\pi} + \frac{3}{8} \right) p r^2 = 0,58721 p r^2$ $N = \frac{1}{3\pi} p r = 0,10610 p r$ | $M = -\frac{1}{4} q r^2$ $N = q r$ | $M = -\frac{7}{48} z r^2 = -0,14583 z r^2$ $N = \frac{11}{16} z r = 0,68750 z r$ | $M = -0,11165 Q r$ $N = 0,11916 Q$ |

I risultati sono sintetizzati nella seguente tabella.

| sezione | sollecitazione | u.m. | SOLLECITAZIONI UNITARIE | | | | | SOMMA |
|-----------------------------|----------------|-------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------|
| | | | A | B | C | D | E | |
| | | | peso proprio | carico ripartito superiore | carico ripartito laterale | carico triangolare laterale | reazione radiale costante settore 60° | |
| sezione verticale superiore | M | kNm/m | 0,0042 | 1,0006 | -0,3843 | -0,0201 | -0,0518 | 0,5485 |
| | N | kN/m | -0,0187 | -1,5829 | 6,8634 | 0,2688 | 0,4691 | 5,9996 |
| sezione orizzontale mediana | M | kNm/m | -0,0048 | -1,0249 | 0,3843 | 0,0241 | 0,0533 | -0,5680 |
| | N | kN/m | 0,0588 | 14,9184 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 14,9772 |
| sezione verticale inferiore | M | kNm/m | 0,0126 | 1,9623 | -0,3843 | -0,0281 | -0,7918 | 0,7706 |
| | N | kN/m | 0,0187 | 1,5829 | 6,8634 | 0,5914 | 3,7726 | 12,8289 |

Alle sollecitazioni così determinate corrispondono le seguenti tensioni massime calcolate per una sezione presso-inflessa utilizzando la seguente relazione:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} = \frac{N}{1 \cdot s} \pm \frac{6 \cdot M}{1 \cdot s^2}$$

| sezione | segno | σ_{max} | | | |
|-----------------------------|-------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | | kN/m ² | kN/cm ² | kg/cm ² | N/mm ² |
| sezione verticale superiore | + | 43.181,85 | 4,32 | 440 | 43,1819 |
| | - | -41.818,29 | -4,18 | -426 | -41,8182 |
| sezione orizzontale mediana | + | -42.302,94 | -4,23 | -431 | -42,3029 |
| | - | 45.706,85 | 4,57 | 466 | 45,7069 |
| sezione verticale inferiore | + | 61.164,53 | 6,12 | 623 | 61,1645 |
| | - | -58.248,86 | -5,82 | -594 | -58,2489 |

Per i tubi di protezione in acciaio la sollecitazione massima cui risulta sottoposto il materiale, nella verifica delle tensioni di esercizio, non deve essere superiore alla metà del carico di snervamento (S) minimo del materiale.

| | | |
|----------------------|-------|--------------------|
| S | 235 | MPa |
| | 23,5 | kN/cm ² |
| | 2396 | kg/cm ² |
| | 235 | N/mm ² |
| $\sigma_{adm} = S/2$ | 117,5 | N/mm ² |

La sollecitazione massima (61,16 N/mm²) risulta inferiore rispetto al valore di verifica (117,5 N/mm²).
La tubazione di protezione risulta pertanto verificata.

2.6 Verifica idraulica tubazione di scarico del pozzetto A

Si verifica ora la capacità di deflusso della tubazione di scarico del pozzetto A. La tubazione di scarico sarà realizzata in PEAD D400 mm e avrà funzionamento a pelo libero.

Per la verifica di utilizza la formula di Chèzy valida per correnti in moto uniforme:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- Q portata defluente [m³/s];
- A area della sezione liquida [m²];
- $\chi = c \cdot R^{1/6}$;
- i pendenza del fondo [m/m];

con

- c coefficiente di scabrezza di Strickler [m^{1/3} / s];
- R raggio idraulico (area della sezione liquida/contorno bagnato) [m].

Per la tubazione di scarico il coefficiente di scabrezza di Strickler è stato assunto pari a 80 m^{1/3} / s.

Sulla base dei dati sopra riportati sono stati calcolati i valori dell'altezza d'acqua e del grado di riempimento della condotta di scarico in caso di rottura della condotta di adduzione.

- D 400 mm
- sp 19,1 mm
- Di 361,8 mm
- i 0,004
- c 80 m^{1/3} / s
- h 286 mm (corrispondente a circa 80% di riempimento della tubazione)
- Q 101,17 l/s

Analizzando i dati si può notare che il diametro scelto risulta adeguato a convogliare la portata massima di progetto transitante nella condotta di adduzione in caso di rottura accidentale della stessa. Si evidenzia inoltre che tale tubazione di scarico entrerà in funzione solo in caso di evento eccezionale (rottura) e che convoglierà acqua potabile e quindi senza problemi di sedimenti.