



Ambito Distrettuale Sarnese Vesuviano  
Legge 02/12/2015



PATTO PER LA CAMPANIA - SETTORE PRIORITARIO "AMBIENTE"  
INTERVENTO STRATEGICO  
"PIANO DELLA DEPURAZIONE E SERVIZIO IDRICO INTEGRATO"  
Delibera Giunta Regionale della Campania n°732 del 13/12/2016



**COMUNE DI BOSCOREALE  
ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA  
ZONA PASSANTI**



INT 7310

PROGETTO ESECUTIVO

INGEGNERIA

Il Responsabile  
ing. Domenico Cesare

Elaborato:

A8

Titolo:

**Relazione attraversamento linea ferroviaria  
Napoli-Torre Annunziata-Poggiomarino  
km 11+198**

Scala:

//

COLLABORATORI

CONSULENZA

ing. Gaetano Gabriele



ing. Carmine Bussone

Revisione

0

Motivo della revisione

EMISSIONE PER APPROVAZIONE

Data

Aprile 2019

IL PROGETTISTA  
ing. Domenico Cesare

IL RUP

INT 7310	Comune di Boscoreale Estensione della rete fognaria in zona Passanti
----------	---

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>ATTRAVERSAMENTO LINEA CIRCUMVESUVIANA EAV NAPOLI - TORRE ANNUNZIATA – POGGIOMARINO KM 11+198 .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>ESECUZIONE DI PERFORAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA - TOC .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>VERIFICA DEL TUBO DI PROTEZIONE .....</b>	<b>4</b>
4.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E DEL TERRENO .....	4
4.2	CONDIZIONE (A) – PESO PROPRIO.....	4
4.3	CONDIZIONE (B) – CARICO RIPARTITO SUPERIORE (P).....	4
4.4	CONDIZIONE (C) - INTERAZIONI TUBO-TERRENO .....	5
<b>4.5</b>	<b>CALCOLO E VERIFICA DELL’INFLESSIONE DIAMETRALE A LUNGO TERMINE</b>	<b>6</b>
<b>4.6</b>	<b>CALCOLO E VERIFICA DELLA SOLLECITAZIONE MASSIMA DI FLESSIONE RISULTANTE DALL’INFLESSIONE DEL TUBO .....</b>	<b>9</b>
<b>4.7</b>	<b>CALCOLO E VERIFICA DEL CARICO CRITICO DI COLLASSO ASSOCIATO ALL’INSTABILITÀ DELL’EQUILIBRIO ELASTICO .....</b>	<b>10</b>
<b>4.8</b>	<b>VERIFICA IDRAULICA DEL TUBO DI PROTEZIONE-TUBAZIONE SCARICO .....</b>	<b>12</b>
<b>5.</b>	<b>CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITA’ .....</b>	<b>13</b>

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

INT 7310	Comune di Boscoreale Estensione della rete fognaria in zona Passanti
----------	---

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è l'attraversamento ferroviario della linea Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino al Km 11+198 da realizzarsi nell'ambito delle opere di fognatura di cui al progetto per le "Opere di completamento della rete fognaria di Boscoreale - zona Passanti"

L'attraversamento è stato progettato così come indicato nelle "Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti gas e liquidi, con ferrovie ed altre linee di trasporto" approvate con Decreto 04 aprile 2014 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Di seguito si descrivono le opere previste nonché le verifiche effettuate.

## 2. ATTRAVERSAMENTO LINEA CIRCUMVESUVIANA EAV NAPOLI - TORRE ANNUNZIATA - POGGIOMARINO KM 11+198

A servizio del nuovo impianto di sollevamento, denominato "sollevamento n. 1" il tronco di condotta premente tra i nodi 37-38\* trasferisce i reflui nel collettore gravitativo del bacino di via Marra tra i nodi 28b-38-29.

Il tracciato della condotta premente (*cf. elab. C4.20*) attraversa, tra i picchetti 93-99 (NODI 36-38\*) la linea ferrata EAV Torre Annunziata - Poggiomarino alla progressiva Km 11+198.

L'attraversamento è del tipo interrato (mediante opera sotterranea con la tecnica della PERFORAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA - TOC) e risponde alle "Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti gas e liquidi, con ferrovie ed altre linee di trasporto" approvate con Decreto 04 aprile 2014 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti..

Nelle tavole di progetto D9-D9.1-D9.2-D9.3, è possibile riscontrare la conformità dell'attraversamento ferroviario al decreto di cui sopra.

La condotta trasferisce reflui fognari in pressione ed è in PEAD PE 100 il diametro DE 180mm PN 16 spessore 16,40mm; il tubo di protezione è PEAD PE 100 di diametro DE Ø 400mm e Di 327mm.

Tra la superficie della tubazione fognaria e la superficie del tubo di protezione saranno inseriti degli appositi collari distanziatori in polietilene ad alta intensità (HDPE). Tali collari sono posizionati, all'interno del tubo di protezione, ad interasse pari a 2.00m; in corrispondenza delle estremità e dei giunti della tubazione fognaria, si prevedono due collari affiancati.

I collari distanziatori devono, inoltre, permettere l'agevole introduzione della condotta nel tubo di protezione e sono realizzati interamente con materiali dielettrici resistenti nel tempo alle erosioni chimiche e alle correnti elettriche.

Il tubo di protezione è interrato con profondità, dal piano del ferro alla sua generatrice superiore, pari ad  $h = 2,20m$  ( $h > h_{min} = 2.00m$  prevista in normativa); la pendenza della tubazione fognaria è pari a  $i = 0.015$  ( $i > i_{min} = 0.002$  prevista in normativa).

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

INT 7310	Comune di Boscoreale Estensione della rete fognaria in zona Passanti
----------	---

Le distanze, misurate ortogonali al binario più esterno, dei due manufatti in c.a.v. adeguate all'attraversamento, sono rispettivamente 19.30m per il pozzetto posizionato al picch 38\*; 19.14 m per il pozzetto posizionato al picchetto 36.

L'angolo formato dal tracciato della condotta fognaria e dalla linea ferroviaria è pari a 100°; tale valore è maggiore del valore minimo previsto in normativa ( $\phi=45^\circ$ ).

La tubazione attraversa la particella 446 del foglio 8 del comune di Boscoreale, intestata a FERROVIA SP, per una lunghezza di 5,50m; considerando una larghezza di servizio di 3,00m l'area della particella interessata dall'attraversamento è pari a 16,50m<sup>2</sup>.

Nel seguito è riportata la verifica della tubazione di protezione così come previsto dalla citata normativa.

Pertanto, con riferimento alla suddetta normativa, le modalità esecutive della infissione di manufatti a sezione circolare sono, di norma, quelle esposte nel successivo capitolo.

### **3. ESECUZIONE DI PERFORAZIONE ORIZZONTALE CONTROLLATA - TOC**

Perforazione Orizzontale Controllata (DD - Directional Drilling; HDD - Horizontal Directional Drilling; T.O.C. - Trivellazione Orizzontale Controllata; T.O.T. - Trivellazione Orizzontale Teleguidata; Perforazione Direzionale; Perforazione Teleguidata) per la posa senza scavo a cielo aperto di tubazioni interrata.

L'installazione della tubazione viene eseguita per tiro in un foro nel sottosuolo di diametro adeguato, preventivamente perforato ed alesato mediante perforatrice direzionale da superficie o da buca di dimensioni adeguate all'installazione da effettuare. In sintesi, si può affermare che le fasi lavorative sono così contraddistinte:

- Realizzazione del foro pilota;
- Alesatura del foro fino al raggiungimento del diametro desiderato;
- Tiro e posa delle tubazioni in acciaio o HDPE.

Il controllo totale della testa di perforazione è assicurato da una speciale strumentazione alloggiata all'interno della stessa ed è in grado, in qualsiasi momento, di fornire la direzione della lancia, l'inclinazione e la profondità. Terminato il foro pilota la testa di perforazione opportunamente sagomata a forma di flauto, viene sostituita da particolari alesatori che sono trascinati a ritroso lungo lo stesso percorso creato dalle aste di perforazione. Gli alesatori hanno la funzione di fresare il terreno circostante alle aste aiutate dal fango bentonitico e/o polimeri per consentire, dopo diversi passaggi di alesatura, la successiva introduzione nel foro così praticato della tubazione prescelta.

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

**4. VERIFICA DEL TUBO DI PROTEZIONE**

La verifica del tubo di protezione, in questo caso in PEAD, è stata effettuata secondo quanto richiesto dal punto 4.4 delle Norme Tecniche del Decreto 04 aprile 2014.

Le condizioni di carico sono le seguenti:

- A) peso proprio della tubazione;
- B) carico ripartito superiore corrispondente al peso del terrapieno sovrastante la tubazione ed al carico mobile transitante;
- C) altre azioni determinate attraverso appropriato studio di interazione tubazione/terreno, che tiene conto della deformabilità delle tubazioni e delle caratteristiche di rigidità del terreno stesso.

Per le tubazioni in polietilene sono previste le seguenti verifiche:

1. Calcolo e verifica della inflessione diametrale a lungo termine;
2. Calcolo e verifica della sollecitazione o deformazione massima di flessione risultante dall'inflessione del tubo;
3. Calcolo e verifica del carico critico di collasso associato all'instabilità dell'equilibrio elastico.

**4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E DEL TERRENO**

Tubo di protezione in PEAD PE100 PN16

$D_i = 0.327$                   Peso = 41,61 kg/m

$D_e = 0.40m$

$s = 36,3$  mm (spessore);

Caratteristiche del terreno

$\gamma_t = 1600$  kg/mc

$\varphi = 23^\circ$

$K_a = 0,438$  (coeff. di spinta attiva)

**4.2 CONDIZIONE (A) – PESO PROPRIO**

Peso = 4,08 N/cm    \*da manuale dei produttori

**4.3 CONDIZIONE (B) – CARICO RIPARTITO SUPERIORE (P)**

Peso terrapieno superiore  $W_c = \gamma_t * H * D$

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

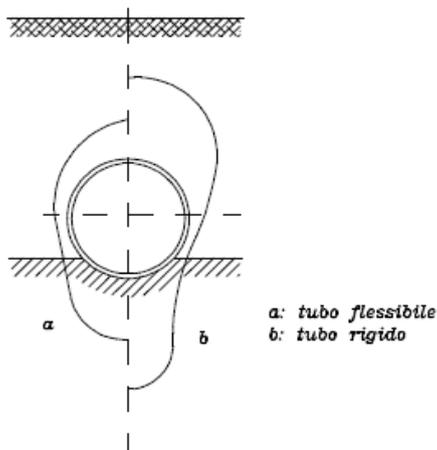
Carico mobile transitante sul binario che, per ferrovia a semplice binario, risulta:

$$W_L = \frac{15000}{2.60 + 1.5 * h} * D * \varphi$$

$\varphi$  è il coefficiente correttivo per la tipologia dei carichi;  $\varphi = 1 + 0,6/H$  per carichi dinamici ferroviari

#### 4.4 CONDIZIONE (C) - INTERAZIONI TUBO-TERRENO

Le sollecitazioni su un tubo interrato dipendono dall'interazione tubo-terreno, fortemente legata alla deformabilità relativa dei due elementi: se il tubo si deforma di più del terreno che lo circonda, sarà sollecitato in modo minore poiché deformandosi sensibilmente coinvolge il terreno di rinfianco a collaborare alla resistenza.



Dalla deformabilità relativa tubo-terreno dipende il comportamento statico della condotta.

Emerge, quindi, la convenienza a classificare le tubazioni in base all'elasticità in sito.

Nel caso in esame, poiché la tubazione risulta costituita da materiale plastico, le verifiche statiche della condotta saranno effettuate considerando il caso di tubazione flessibile. Per i tubi flessibili, a differenza dei tubi definiti "rigidi" (calcestruzzo, ghisa, gres, etc.),

l'entità della deformazione verticale dipende strettamente dalla qualità del terreno di riempimento circostante che sostiene lateralmente il tubo e ne ostacola la tendenza ad ovalizzarsi.

Le normative internazionali inerenti la posa ed il collaudo delle condotte in polietilene prescrivono che i metodi per il calcolo dei carichi e delle deformazioni per i tubi flessibili siano basati sulla massima deformazione perpendicolare consentita quale risultato dei carichi applicati dal terreno di ricoprimento, dai mezzi stradali e dall'eventuale presenza di acqua di falda.

Per garantire un corretto dimensionamento statico è dunque necessario fissare accuratamente le caratteristiche granulometriche e di compattazione che deve avere il terreno di riempimento utilizzato nella fase di posa in opera.

Trattandosi di una posa senza scavo, il terreno circostante la tubazione può considerarsi adeguatamente compattato.

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

Le interazioni tubo-terreno vengono tenute in considerazione attraverso l'uso di coefficienti tabellati che sono inseriti nelle formule di verifica statica.

Per valutare il comportamento statico di una tubazione flessibile, non si può fare riferimento, come nel caso delle tubazioni rigide, al carico di rottura, semplicemente per il fatto che la deformazione del tubo risulta inaccettabile molto prima che si raggiunga il carico di rottura per schiacciamento.

Pertanto, per la verifica statica delle tubazioni flessibili si possono seguire le indicazioni riportate nella norma AWWA (American Water Works Association) C950/88 che si riferisce a tubi a pressione in resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro, ma che può essere ragionevolmente estesa a tutti i materiali plastici e alle tubazioni flessibili in generale.

Si procede alla verifica statica del tubo di protezione così come richiesto dal punto 4.4 delle Norme Tecniche del Decreto 04 aprile 2014.

#### 4.5 CALCOLO E VERIFICA DELL'INFLESSIONE DIAMETRALE A LUNGO TERMINE

L'inflessione diametrale massima nella tubazione, con il 95% di probabilità, è fornita dalla seguente espressione (equazione di Spangler):

$$\Delta y = \frac{(D_e W_c + W_L + P) K_x r^3}{E_t I + 0,061 K_a E_s r^3} + \Delta a$$

Dove:

**$\Delta y$**  è l'inflessione verticale del tubo [cm];

**$D_e$**  è fattore di ritardo d'inflessione che tiene conto che il terreno continua a costiparsi nel tempo [numero adimensionale tabellato];

**$P$**  è il peso proprio della tubazione [N/cm];

**$W_c$**  è il carico verticale del suolo sul tubo per unità di lunghezza [N/cm] a cui va aggiunto il peso proprio della tubazione;

**$W_L$**  è il carico mobile per unità di lunghezza [N/cm];

**$K_x$**  è il coefficiente di inflessione, che dipende dalla capacità di sostegno fornita dal suolo all'arco inferiore d'appoggio del tubo [numero adimensionale tabellato];

**$r$**  è il raggio medio del tubo, pari a  $(D-s)/2$  [cm];

**$E_t I$**  è il fattore di rigidità trasversale della tubazione [N cm] –  $E_t$  è il modulo elastico della tubazione pari a 100.000 N/cm<sup>2</sup> per il PEAD (istantaneo) e dimezzato a lungo termine,  $I$  è il momento di inerzia del tubo;

**$E_s$**  è il modulo elastico del terreno (tabellato) [N/cm<sup>2</sup>];

**$K_x, \Delta a$**  sono parametri tabellati che permettono di passare dall'inflessione media (50% di probabilità) all'inflessione massima caratteristica (frattile di ordine 0,95 della distribuzione statica dell'inflessione).

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

**Per le tubazioni in PEAD, l'inflessione diametrale a lungo termine non deve superare il 5% del diametro iniziale della condotta.**

**Tab. - Fattore di ritardo d'inflessione  $D_e$**

TIPO DI RINTERRO E GRADO DI COSTIPAMENTO	$D_e$
Rinterro poco profondo con grado di costipamento da moderato a elevato	2,0
Materiale scaricato alla rinfusa o grado di costipamento leggero (scarso)	1,5

**Tab. - Coefficiente di inflessione  $K_x$**

TIPO DI INSTALLAZIONE	ANGOLO EQUIVAL. DI LETTO, IN GRADI	COEFFICIENTE $K_x$
Fondo sagomato con materiale di riempimento ben costipato ai fianchi del tubo (densità Proctor $\geq 95\%$ ) o materiale di letto e rinfianco di tipo ghiaioso leggermente costipato (densità Proctor $\geq 70\%$ )	180	0,083
Fondo sagomato con materiale di riempimento moderatamente costipato ai fianchi del tubo (densità Proctor $\geq 85\%$ e $< 95\%$ ) o materiale di letto e rinfianco di tipo ghiaioso	60	0,103
Fondo piatto con materiale di riempimento sciolto posato ai fianchi del tubo (non raccomandato)	0	0,110

**Tab. - Valori dei parametri  $K_a$  e  $\Delta_a$**

ALTEZZA H DEL RINTERRO [m]	$\Delta_a$	$K_a$
$H \leq 4,9$ m	0	0,75
$H > 4,9$ m e materiale scaricato alla rinfusa e con leggero grado di costipamento	0,02 D	1,0
$H > 4,9$ m e materiale con moderato grado di costipamento	0,01 D	1,0
$H > 4,9$ m e materiale con elevato grado di costipamento	0,005 D	1,0

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

## Valori medi del modulo di elasticità del suolo che avvolge la tubazione («modulus of soil reaction»)

### VALORI DI $E_s$ IN FUNZIONE DEL TIPO E DEL GRADO DI COMPATTAZIONE DEL MATERIALE CHE AVVOLGE LA TUBAZIONE [kgf/cm<sup>2</sup>]

TIPO DI SUOLO - MATERIALE CHE AVVOLGE LA TUBAZIONE	scaricato alla rinfusa	costipamento leggero < 85% proctor < 40% densità rel.	costipamento moderato 85,95% proctor 40,70% dens. rel.	costipamento elevato > 95% proctor > 70% dens. rel.
a) Suoli a grana fine, con meno del 25% di particelle a grana grossolana; plasticità da media a nulla.	3,4	14	28	70
c) Suoli a grana fine, con più del 25% di particelle a grana grossolana; plasticità da media a nulla. Suoli a grana grossolana con più del 12% di fini	7	28	70	140
c) Suoli a grana grossolana con pochi fini o nessuno (< 12% di fini)	14	70	140	211
d) Roccia frantumata	70	-	211	-
<small>Appartengono al gruppo a) i seguenti suoli: argille inorganiche con plasticità da bassa a media - limo inorganico e sabbia molto fine            Appartengono al gruppo b) i seguenti suoli: quelli del gruppo a), ma con più del 25% di particelle a grana grossolana - miscele di ghiaia, sabbia e limo (o argilla) mal graduate - sabbie con limo            Appartengono al gruppo c) i seguenti suoli: misture di ghiaia e sabbia con pochi fini o nessuno - sabbie ghiaiose con pochi fini o nessuno</small>				

Si riporta di seguito il risultato della verifica:

CONDIZIONE A - PESO PROPRIO DELLA TUBAZIONE			
Peso proprio del tubo	$p$	41,61	Kg/m
	=	<b>4,08</b>	N/cm
CONDIZIONE B - CARICO RINTERRO			
Carico dovuto al rinterro	$W_c =$	1 408,00	Kg/m
	=	<b>138,12</b>	N/cm
CARICO VERTICALE MOBILE			
Sovraccarico mobile	$p =$	25 423,73	N/mq
fattore dinamico	$\varphi =$	1,27	
Carico verticale mobile	$W_L =$	12 942,99	N/m
	=	<b>129,43</b>	N/cm

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

INT 7310	Comune di Boscoreale Estensione della rete fognaria in zona Passanti
----------	---

INFLESSIONE DIAMETRALE A LUNGO TERMINE			
fattore di ritardo dell'inflessione	$D_e =$	2,00	-
carico dovuto al rinterro	$W_c =$	138,12	N/cm
carico dovuto ai sovraccarichi mobili	$W_L =$	129,43	N/cm
coefficiente di inflessione	$K_x =$	0,083	
raggio medio del tubo	$r =$	18,19	cm
Momento di inerzia	$I =$	3,99	cm <sup>3</sup>
fattore di rigidità trasversale tubazione	$E_t * I =$	199 301	N * cm
parametro passaggio da inflessione media a massima	$K_a =$	0,75	
parametro passaggio da inflessione media a massima	$\Delta a =$	0	
Modulo elasticità del terreno	$E_s =$	686,00	N/cm <sup>2</sup>
inflessione diametrale del tubo	$\Delta y =$	0,53	cm
%	%	1,32	OK

#### 4.6 CALCOLO E VERIFICA DELLA SOLLECITAZIONE MASSIMA DI FLESSIONE RISULTANTE DALL'INFLESSIONE DEL TUBO

La sollecitazione massima di flessione che risulta dall'inflessione del tubo non deve eccedere la resistenza a flessione a lungo termine del prodotto, ridotta tramite un fattore di sicurezza.

In particolare dovrà risultare:

$$\sigma = D_f E_t \left( \frac{\Delta y}{D} \right) \left( \frac{s}{D} \right) \leq \frac{\sigma_{lim}}{\mu}$$

$\sigma$  [N/cm<sup>2</sup>] = tensione dovuta alla deflessione diametrale;

$\sigma_{lim}$  [N/cm<sup>2</sup>] = la tensione limite ultima fornita dalla società produttrice della tubazione; nel caso del PEAD PE100 viene posta pari a 1000;

$D_f$  = fattore di forma i cui valori sono stati parametrizzati in funzione dell'indice di rigidità RG

$\mu$  = un coefficiente di sicurezza, pari a 1.5.

INDICE DI RIGIDEZZA DELLA TUBAZIONE RG [N/m <sup>2</sup> ]	TIPO DI MATERIALE DI SOTTOFONDO E RINFIANCO E GRADO DI COSTIPAMENTO			
	GHIAIOSO		SABBIOSO	
	Da naturale a leggero	Da moderato a elevato	Da naturale a leggero	Da moderato a elevato
1150	5.5	7.0	6.0	8.0
2300	4.5	5.5	5.0	6.5
4600	3.8	4.5	4.0	5.5
9200	3.3	3.8	3.5	4.5

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

INT 7310	Comune di Boscoreale Estensione della rete fognaria in zona Passanti
----------	---

Si riporta di seguito il risultato della verifica:

<b>Verifica sollecitazione massima di flessione</b>			
tensione limite ultima	$\sigma_{lim} =$	1000	N/cm <sup>2</sup>
coeff. Di sicurezza	$\mu =$	1,5	
	$\sigma_{lim}/\mu =$	667	N/cm <sup>2</sup>
Fattore di forma	Df	3,8	
tensione dovuta alla deflessione diametrale	$\sigma =$	227,20	N/cm <sup>2</sup>
verifica		<b>OK</b>	

#### **4.7 CALCOLO E VERIFICA DEL CARICO CRITICO DI COLLASSO ASSOCIATO ALL'INSTABILITÀ DELL'EQUILIBRIO ELASTICO**

Una tubazione sollecitata da forze radiali uniformemente distribuite e dirette verso il centro di curvatura, dapprima rimane circolare, poi all'aumentare delle forze, si inflette ovalizzandosi (deformata a due lobi) e progressivamente si ha deformazione a tre lobi, ecc.

Il carico critico per unità di superficie vale:

$$p_{cr} = (n_l^2 - 1) \frac{E_t I}{r^3}$$

dove  $n_l$  è il numero dei lobi della deformata.

Il carico critico che provoca la deformazione a due lobi è quindi pari a:

$$p_{cr} = 3 \frac{E_t I}{r^3}$$

La forza critica per unità di lunghezza che provoca l'instabilità elastica è:

$$P_{cr} = p_{cr} D$$

dove

D[m] = diametro esterno del tubo

Per quanto riguarda le tubazioni interrato, la pressione che determina l'instabilità elastica (*pressione di buckling*) è legata, oltre alle caratteristiche meccaniche della tubazione, anche al modulo elastico  $E_s$  del suolo che circonda la tubazione, in quanto il sistema terreno-tubazione si comporta come un'unica entità..

La norma ANSI-AWWA C950/88 propone la seguente espressione per la valutazione della "pressione ammissibile di Buckling":

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

$$q_a = \frac{1}{FS} (32R_w B' E_s \frac{E_t I}{D^3})^{1/2}$$

dove:

$q_a$  [N/cm<sup>2</sup>] = è la pressione ammissibile di buckling;

FS è il fattore di progettazione, pari a 2.5;

$R_w$  è il fattore di spinta idrodinamica della falda eventualmente presente

$$R_w = 1 - 0.33(H_w / H) \quad 0 \leq H_w \leq H$$

$B'$  è il coefficiente empirico di supporto elastico fornito dalla relazione

$$B' = 1 / (1 + 4e^{-0.213H})$$

H è l'altezza di rinterro [cm]

$H_w$  è l'altezza della superficie libera della falda sulla sommità della tubazione [cm]

La verifica all'instabilità elastica si esegue confrontando la pressione ammissibile  $q_a$  con la risultante dei carichi esterni applicati.

In particolare dovrà risultare:

$$\gamma_w H_w + R_w \frac{W_c}{D} + \frac{W_l}{D} \leq q_a$$

Si riporta di seguito il risultato della verifica effettuata:

Verifica instabilità equilibrio elastico			
pressione ammissibile di buckling	$q_a$	56,67	N/cm <sup>2</sup>
fattore di progettazione	FS	2,5	
fattore di spinta idrostatica della falda	$R_w$	1	
coefficiente empirico di supporto elastico	$B'$	0,29	
altezza falda su tubazione	$H_w$	0	cm
Risultante		6,69	N/cm <sup>2</sup>
		<b>OK</b>	

In conclusione, il tubo di protezione scelto in progetto è verificato in tutte le condizioni richieste dalla normativa.

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

#### 4.8 VERIFICA IDRAULICA DEL TUBO DI PROTEZIONE-TUBAZIONE SCARICO

La condotta fognaria in pressione, tronco 37-38, è stata progettata e verificata per convogliare una portata di progetto pari a 15,00 l/s il sollevamento è ubicato nel nodo 37, incrocio con via Marra ed è equipaggiato con 1+1r pompe l'altezza manometrica è pari a 11,38m.

La tubazione sarà posizionata all'interno di un tubo guaina in PEAD PE100 di diametro interno Di 327mm di lunghezza pari a 40,00 m.

Il tubo guaina termina in un pozzetto praticabile in modo da rendere agevole l'ispezione dell'intercapedine libera tra il tubo e il controtubo. Il pozzetto è in grado di raccogliere e smaltire le eventuali perdite dovute ad una rottura della condotta, attraverso una tubazione di troppo pieno PVC De 315 posta ad un'altezza pari a circa 1,60 m dal fondo del pozzetto. L'acqua sfiorata sarà recapitata in un pozzetto adiacente, delle dimensioni 1,00x1,00m capofogna del tronco di fognatura 36-37.

Per la verifica dello speco del tubo guaina è stata utilizzata la formula di resistenza, di Gaukler e Strikler:

$$Q = K \sigma R^{2/3} i^{1/2}$$

in cui, per il coefficiente di resistenza al moto si è assunto un valore medio  $K=80$  per il controtubo, che tiene conto delle caratteristiche del materiale e una riduzione del 25% della sezione idraulica per tenere conto della presenza dei distanziatori.

Si riporta di seguito la verifica idraulica del tubo di protezione e della luce di sfioro.

#### **Verifica idraulica del tubo di protezione**

La sezione idrica da verificare è la corona circolare formata:

- $D_{int} = 327$  mm (diametro interno tubo di protezione);
- $D_{est} = 180$  mm (diametro esterno condotta premente);
- $I = 0.015$  m/m pendenza del tubo di protezione;
- $\sigma = 0,044$  m<sup>2</sup>;
- $R = 0,032$  m;
- $K = 80$  m<sup>1/3</sup>/s.

Con tali caratteristiche la portata massima che può essere convogliata è pari a 43 l/s, superiore alla portata di progetto di 15 l/s; il tubo di protezione risulta quindi verificato anche dal punto di vista idraulico.

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

**Verifica idraulica della tubazione di troppo pieno**

La tubazione di troppo pieno, PVC De 315 è in grado di convogliare a gravità nel vicino pozzetto fognario, capofogna del tronco fognario 36-37, la massima portata convogliata dal controtubo in caso di avaria della tubazione premente, pari a 15l/s, con un grado di riempimento pari a 38%.

In particolare :

- Q= 15,00 l/s
- P= 0,3%
- D= 300 mm
- Gr= 38%
- V=0.67m/s

Anche il tronco fognario 36-37 sarà in grado di smaltire a gravità la portata convogliata dal troppo pieno .

In particolare :

- Q= 15,00 l/s
- P= 0,5%
- D= 300 mm
- Gr= 31%
- V=0.80m/s

In conclusione dai calcoli effettuati si deduce che il sistema tubo di protezione - condotta di scarico è in grado di convogliare a gravità nel recapito finale, in caso di avaria della condotta idrica, la massima portata di progetto pari a 15,00 l/s.

**5. CRONOPROGRAMMA DELLE ATTIVITA'**

a) Installazione cantiere:	giorni 2
b) Pozzi	
b1) Scavi e trasporti a rifiuto:	giorni 3
c) TOC	
c1) Installazione apparecchiature:	giorni 1
c2) Perforazione:	giorni 2
c3) Infilaggio tubazione:	giorni 2

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------

INT 7310	Comune di Boscoreale Estensione della rete fognaria in zona Passanti
----------	---

d) Completamenti e ripristini

d1) Posa pozzetti in cav:

giorni 2

d2) Ripristino pavimentazione stradale:

giorni 3

*TOTALE*

*giorni 15*

Progetto Esecutivo	A8	Relazione Attraversamento linea ferroviaria Napoli - Torre Annunziata - Poggiomarino Km 11+198	Rev.0	File: A8.doc
--------------------	----	--	-------	--------------