



COMUNE DI BRA



COMUNE DI POCAPAGLIA

Realizzazione di collettori fognari
in Località Tarable nel Comune di Pocapaglia
ed in Località La Bassa nel Comune di Bra

PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE



TECNOEDIL S.p.A. Via Vivaro, 2 – 12051 ALBA (CN)
tel. +39 0173.441155 – fax + 39 0173.441104
www.egea.it – mail: tecnoedil@egea.it

PROGETTISTA



SAGLIETTO ENGINEERING S.r.l.
Corso Giolitti, 36 – 12100 CUNEO (CN)
tel. +39 0171.698381 – fax + 39 0171.600599
sagliettoengineering@pec.it

Dott. Ing. Fabrizio Saglietto

CERTIFICATORE



REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	ALLEGATO
00	30/11/2017	Relazione idraulica	2.1
Protocollo		Commessa 2016_013	

INDICE

INDICE	1
PREMESSE	2
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
INTERVENTI IN PROGETTO	2
Intervento A - Strada Gerbido.....	2
Intervento B - Cascine Nuove	3
Intervento C - Tarable	3
VERIFICHE IDRAULICHE	4
Intervento A - Strada Gerbido.....	6
Intervento B - Cascine Nuove	8
Intervento C - Tarable	10
VERIFICHE STATICHE	11
Calcolo dei carichi	13
Calcolo del carico dovuto al rinterro.....	13
Calcolo del carico dovuto ai sovraccarichi mobili.....	14
Calcolo del carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta dentro il tubo	15
Calcolo del carico dovuto alla pressione idrostatica esterna.....	15
Verifiche per tubazioni flessibili.....	16
Verifica dell'inflessione diametrale a lungo termine	16
Verifica all'instabilità all'equilibrio elastico (Buckling)	17
Verifica della sollecitazione massima di flessione	18

PREMESSE

Nell'ambito del Progetto Definitivo per i lavori di "Realizzazione di collettori fognari in Località Tarable nel Comune di Pocapaglia ed in Località La Bassa nel Comune di Bra" affidato alla Società di Ingegneria Saglietto Engineering S.r.l., nella persona del sottoscritto Ing. Fabrizio Saglietto dalla Tecnoedil S.p.A., il presente elaborato contiene le verifiche idrauliche relative alle portate di progetto, condotte in termini di riempimento della condotta e di velocità, e le verifiche statiche effettuate in funzione del materiale della condotta, della tipologia e della modalità di posa del rinterro.

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Gli interventi in progetto sono redatti in conformità alla seguente Normativa specifica di settore (oltre a quella già indicata nella Relazione tecnica illustrativa):

- DIN 1072/1985-12 "Road and foot bridges; design loads";
- C950-88: AWWA "Standard for Fiberglass Pressure Pipe".

INTERVENTI IN PROGETTO

Le opere in progetto sono suddivise in tre interventi che vengono di seguito esposti.

Intervento A - Strada Gerbido

L'intervento prevede la realizzazione di un tratto di tubazione per l'allaccio alla rete fognaria di nuove utenze, attualmente non ancora servite da alcun sistema di raccolta e collettamento dei reflui, lungo strada Gerbido per uno sviluppo complessivo di 377 m divisi come segue:

- tra le sezioni 1-10 e 25-49, per una lunghezza totale di 275 m, la condotta sarà composta da tubazione in *PVC DE250* serie UNI EN 1401, avente rigidità circonferenziale $SN= 8KN/m^2$;
- tra le sezioni 10-25, per una lunghezza totale di 102 m, la condotta sarà invece composta da tubazione in *PEAD DE250* serie UNI EN 1401 "SLOW-FLOW" avente rigidità circonferenziale $SN= 8 KN/m^2$.

La condotta in progetto si innesta sul collettore SISI di nuova realizzazione. A protezione del tubo si prescrive l'esecuzione di un letto di posa in sabbia dello spessore minimo di 15 cm ed un primo rinterro (sempre in sabbia) per almeno 15 cm al di sopra della generatrice superiore. Il rinterro della

tubazione avverrà utilizzando il materiale precedentemente estratto (vagliato per escluderne eventuali trovanti ritenuti inidonei), opportunamente costipato. Quanto di risulta dovrà essere avviato a smaltimento presso siti autorizzati.

Intervento B - Cascine Nuove

L'intervento prevede la realizzazione di un tratto di condotta lungo il sedime della frazione Cascine Nuove del comune di Pocapaglia per circa 1283 m divisi come segue:

- tra le sezioni 1-61 e 72-145, per una lunghezza totale di 1200 m, la condotta sarà composta da tubazione in *PVC DE250* serie UNI EN 1401, avente rigidezza circonferenziale $SN= 8KN/m^2$;
- tra le sezioni 61 e 72, per una lunghezza totale di 83 m, verrà invece posata una tubazione in *PEAD DE250* serie UNI EN 1401 “*SLOW-FLOW*” avente rigidezza circonferenziale $SN=8KN/m^2$. La scelta del tipo di tubazione è dovuta all'elevata pendenza che la condotta avrà in questo tratto.

Le modalità costruttive saranno analoghe a quelle descritte nell'intervento di Strada Gerbido.

Intervento C - Tarable

L'intervento in frazione Tarable nel comune di Pocapaglia prevede la dismissione delle fosse Imhoff che attualmente raccolgono i reflui delle abitazioni presenti. La tubazione in progetto, di lunghezza totale 406m, sarà composto, anche in questo caso, da due tipologie di tubazione:

- tra le sezioni 1-27 e 41-46, per una lunghezza totale di 266 m, la condotta sarà composta da tubazione in *PVC DE250* serie UNI EN 1401, avente rigidezza circonferenziale $SN= 8KN/m^2$;
- tra le sezioni 27-41, per una lunghezza totale di 140 m, la condotta sarà invece composta da tubazione in *PEAD DE250* serie UNI EN 1401 “*SLOW-FLOW*” avente rigidezza circonferenziale $SN= 8 KN/m^2$.

Detto collettore andrà a congiungersi a valle all'interno del pozzetto previsto in corrispondenza della sezione 128 dell'intervento B – Cascine Nuove.

VERIFICHE IDRAULICHE

Le fognature oggetto di intervento sono di tipo nero e, pertanto, non convogliano acque meteoriche. La determinazione delle portate di progetto si basa, quindi, sulla stima dell'utenza civile allacciabile alla rete di drenaggio.

Allo scopo, sulla base dei sopralluoghi effettuati e considerate le caratteristiche urbanistiche delle aree interessate dalle lavorazioni, sono stati quantificati gli abitanti potenzialmente serviti dai collettori in progetto:

Intervento	Abitanti equivalenti
	A.E.
Strada Gerbido	100
Località Cascine nuove	40
Località Tarable	30

Le portate fognarie medie impiegate per le verifiche idrauliche delle nuove condotte si ottengono attribuendo ai suddetti abitanti una dotazione idrica di acquedotto pari a 250 l/ab/d, corretta con un fattore pari a 0,8 che tenga in considerazione l'effettivo afflusso in fognatura. Viene altresì considerato, per il calcolo delle portate massime attese, un coefficiente maggiorativo che rappresenti la punta idraulica legata alla concentrazione dei conferimenti in fognatura in alcuni momenti della giornata. Di seguito, si riportano le portate medie e massime ricavate secondo il procedimento sopra descritto:

Intervento	Portata media	Fattore di punta	Portata massima
	mc/h	(-)	mc/h
Strada Gerbido	0,83	4	3,33
Cascine nuove	0,33	4	1,33
Tarable	0,25	4	1,00

Sulla base delle suddette portate di progetto, si conduce la verifica delle nuove tubazioni suddividendo l'intera lunghezza in tratti di uguale pendenza, al fine di poter valutare la capacità idraulica (ovvero l'idoneità dei diametri selezionati) e la velocità di deflusso dei liquami (che dovrà essere tale da scongiurare sia la sedimentazione dei materiali solidi sia l'erosione delle pareti delle canalizzazioni).

Il calcolo dei principali parametri idraulici viene effettuato mediante l'applicazione della nota formula di Chèzy, valida per correnti in moto uniforme:

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

dove:

Q = portata defluente [m^3/s];

A = area della sezione liquida [m^2];

$\chi = cR^{1/6}$;

i = pendenza del fondo [m/m];

con

c = coefficiente di scabrezza di Strickler [$\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$];

R = raggio idraulico (area della sezione liquida/contorno bagnato) [m].

Il coefficiente di scabrezza di Strickler è stato assunto pari a $50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i tratti in PEAD DE250 SN8 corrugato interno e $80 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i tratti in PVC DE250 SN8.

Sulla base dei suddetti dati, a mezzo della relazione sopra riportata, sono stati ricavati per la portata media e di punta i valori dell'altezza d'acqua, del grado di riempimento e delle velocità per i diversi tratti (definiti da una variazione di pendenza) e nelle condizioni geometriche e di funzionamento ipotizzate. Inoltre, è stata condotta una verifica sulla base dei numeri di Froude e Vedernikov.

Il numero di *Froude* (F_r) è dato da:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h_m}}$$

dove V e h_m rappresentano velocità media ed altezza media della corrente.

Per le canalizzazioni fognarie si può assumere che il limite di stabilità corrisponda ad un numero di Froude pari a tre.

Quando si è in presenza di canali a pendenza molto forte può capitare che la corrente non riesca a dissipare tutta l'energia potenziale fornita dall'abbassamento del fondo. In questi casi, definiti correnti rapide, il moto della corrente assume un aspetto irregolare caratterizzato dalla formazione spontanea di treni di onde frangenti, le "roll waves". Queste dissipano energia con vortici ad asse orizzontale, interessando il canale per un'altezza maggiore di quella di moto uniforme. La condizione limite di stabilità del moto uniforme può essere espressa mediante il numero di *Vedernikov* (V_e), che deve risultare minore dell'unità:

$$V_e = n \cdot g_v \cdot F_r$$

dove

$n=2/3$ esponente del raggio idraulico nella formula del moto uniforme;

$g_v=0,5$ parametro di forma per sezioni semicircolari;

F_r = numero di Froude.

Intervento A - Strada Gerbido

Distanza progressiva		Portata media di tempo secco	Diametro interno	Pendenza	Altezza d'acqua	Grado di riempimento	Velocità	Fr	Ve
m									
inizio	fine	mc/h	cm	%	cm	%	m/s	(-)	(-)
0,000	16,634	0,83	23,54	7,10	0,73	3,10	0,58	2,16	0,72
16,634	33,012			8,81	0,70	2,96	0,62	2,37	0,79
33,012	63,906			8,62	0,70	2,98	0,62	2,35	0,78
63,906	85,216		21,80	11,48	0,82	3,75	0,51	1,80	0,60
85,216	118,058			11,10	0,82	3,78	0,50	1,77	0,59
118,058	139,535			12,02	0,81	3,71	0,52	1,83	0,61
139,535	165,872			16,48	0,75	3,46	0,57	2,11	0,70
165,872	224,969		23,54	10,30	0,67	2,87	0,65	2,53	0,84
224,969	282,154			9,46	0,69	2,92	0,63	2,44	0,81
282,154	328,304			9,29	0,69	2,93	0,63	2,42	0,81
328,304	377,155			9,39	0,69	2,92	0,63	2,43	0,81

Distanza progressiva		Portata massima di punta	Diametro interno	Pendenza	Altezza d'acqua	Grado di riempimento	Velocità	Fr	Ve
m									
inizio	fine	mc/h	cm	%	cm	%	m/s	(-)	(-)
0,000	16,634	3,33	23,54	7,10	1,36	5,77	0,92	2,52	0,84
16,634	33,012			8,81	1,29	5,49	0,99	2,79	0,93
33,012	63,906			8,62	1,30	5,52	0,98	2,76	0,92
63,906	85,216		21,80	11,48	1,54	7,07	0,79	2,04	0,68
85,216	118,058			11,10	1,55	7,12	0,79	2,01	0,67
118,058	139,535			12,02	1,52	6,99	0,81	2,09	0,70
139,535	165,872			16,48	1,42	6,49	0,90	2,42	0,81
165,872	224,969		23,54	10,30	1,25	5,29	1,05	2,99	1,00
224,969	282,154			9,46	1,27	5,40	1,02	2,88	0,96
282,154	328,304			9,29	1,28	5,42	1,01	2,85	0,95
328,304	377,155			9,39	1,27	5,41	1,01	2,87	0,96

Nel dimensionamento di condotte circolari chiuse di diametro minore o uguale a 40cm, è buona pratica costruttiva che il franco (tra pelo libero e generatrice superiore della sezione), con le portate di progetto, sia maggiore o uguale al 50% dell'altezza dello speco per questioni di sicurezza e per l'alimentazione d'aria della corrente. Detta condizione viene soddisfatta nella totalità dei tratti di condotta.

Considerando invece, che la velocità della corrente nelle canalizzazioni fognarie rispetto alla portata media di tempo secco non deve essere inferiore a 0,5m/s per evitare la formazione di depositi persistenti di materiali sedimentabili, ne maggiore di 4-5m/s, rispetto alle portate pluviali, per evitare problemi di abrasione delle superfici interne, si nota che tali condizioni sono soddisfatte nella totalità dei tratti di condotta.

Per quanto riguarda i numeri di Froude e di Vedernikov, si conclude che le verifiche hanno avuto esito positivo.

Intervento B - Cascine Nuove

Distanza progressiva		Portata media di tempo secco	Diametro interno	Pendenza	Altezza d'acqua	Grado di riempimento	Velocità	Fr	Ve	
m										
inizio	fine	mc/h	cm	%	cm	%	m/s	(-)	(-)	
0,000	59,276	0,33	23,54	4,87	0,54	2,29	0,36	1,58	0,53	
59,276	116,060			6,03	0,52	2,20	0,39	1,72	0,57	
116,060	147,224			3,23	0,59	2,49	0,32	1,34	0,45	
147,224	173,394			2,33	0,63	2,67	0,29	1,17	0,39	
173,394	225,029			2,75	0,61	2,58	0,31	1,25	0,42	
225,029	243,655			6,51	0,51	2,16	0,40	1,77	0,59	
243,655	302,645			10,09	0,47	1,99	0,45	2,11	0,70	
302,645	340,717			9,49	0,47	2,01	0,44	2,06	0,69	
340,717	398,717			7,01	0,50	2,13	0,41	1,83	0,61	
398,717	431,217			5,39	0,53	2,25	0,37	1,65	0,55	
431,217	481,208			2,79	0,60	2,57	0,31	1,26	0,42	
481,208	540,383			4,94	0,54	2,29	0,37	1,59	0,53	
540,383	583,254			21,80	19,51	0,50	2,27	0,43	1,94	0,65
583,254	622,919				29,34	0,46	2,10	0,48	2,29	0,76
622,919	653,040		23,54	1,23	0,72	3,05	0,24	0,89	0,30	
653,040	699,097			0,79	0,79	3,36	0,21	0,74	0,25	
699,097	752,699			1,81	0,66	2,81	0,27	1,05	0,35	
752,699	811,570			1,61	0,68	2,88	0,26	1,00	0,33	
811,570	858,790			2,28	0,63	2,68	0,29	1,16	0,39	
858,790	899,387			3,31	0,58	2,48	0,32	1,35	0,45	
899,387	925,320			3,21	0,59	2,49	0,32	1,34	0,45	
925,320	961,214			2,81	0,60	2,57	0,31	1,26	0,42	
961,214	1001,185			3,16	0,59	2,50	0,32	1,33	0,44	
1001,185	1046,230			3,22	0,59	2,49	0,32	1,34	0,45	
1046,230	1088,896			2,86	0,60	2,55	0,31	1,27	0,42	
1088,896	1138,233			2,85	0,60	2,56	0,31	1,27	0,42	
1138,233	1195,816	3,44		0,58	2,46	0,33	1,37	0,46		
1195,816	1253,398	2,81		0,60	2,56	0,31	1,26	0,42		
1253,398	1282,507	2,22	0,63	2,69	0,29	1,15	0,38			

Distanza progressiva		Portata massima di punta	Diametro interno	Pendenza	Altezza d'acqua	Grado di riempimento	Velocità	Fr	Ve	
m										
inizio	fine	mc/h	cm	%	cm	%	m/s	(-)	(-)	
0,000	59,276	1,33	23,54	4,87	0,97	4,14	0,60	1,95	0,65	
59,276	116,060			6,03	0,93	3,95	0,65	2,14	0,71	
116,060	147,224			3,23	1,07	4,54	0,53	1,62	0,54	
147,224	173,394			2,33	1,15	4,89	0,47	1,40	0,47	
173,394	225,029			2,75	1,11	4,71	0,50	1,51	0,50	
225,029	243,655			6,51	0,91	3,88	0,66	2,22	0,74	
243,655	302,645			10,09	0,83	3,52	0,77	2,68	0,89	
302,645	340,717			9,49	0,84	3,57	0,75	2,61	0,87	
340,717	398,717			7,01	0,90	3,82	0,68	2,29	0,76	
398,717	431,217			5,39	0,95	4,05	0,62	2,04	0,68	
431,217	481,208			2,79	1,11	4,70	0,50	1,52	0,51	
481,208	540,383			4,94	0,97	4,13	0,61	1,96	0,65	
540,383	583,254			21,80	19,51	0,89	4,11	0,71	2,40	0,80
583,254	622,919				29,34	0,82	3,75	0,81	2,88	0,96
622,919	653,040		23,54	1,23	1,33	5,66	0,38	1,05	0,35	
653,040	699,097			0,79	1,48	6,28	0,32	0,85	0,28	
699,097	752,699			1,81	1,22	5,18	0,43	1,25	0,42	
752,699	811,570			1,61	1,25	5,32	0,41	1,18	0,39	
811,570	858,790			2,28	1,16	4,92	0,47	1,38	0,46	
858,790	899,387			3,31	1,06	4,52	0,53	1,64	0,55	
899,387	925,320			3,21	1,07	4,55	0,52	1,62	0,54	
925,320	961,214			2,81	1,10	4,69	0,50	1,52	0,51	
961,214	1001,185			3,16	1,07	4,56	0,52	1,61	0,54	
1001,185	1046,230			3,22	1,07	4,54	0,52	1,62	0,54	
1046,230	1088,896			2,86	1,10	4,67	0,50	1,54	0,51	
1088,896	1138,233			2,85	1,10	4,67	0,50	1,53	0,51	
1138,233	1195,816			3,44	1,05	4,48	0,54	1,67	0,56	
1195,816	1253,398			2,81	1,10	4,69	0,50	1,52	0,51	
1253,398	1282,507			2,22	1,16	4,95	0,46	1,37	0,46	

Come si può notare dai risultati di calcolo sopra esposti, le altezze d'acqua associate alle massime portate risultano ampiamente compatibili con il diametro delle condotte (franco tra pelo libero e generatrice superiore della sezione maggiore o uguale al 50% dell'altezza dello speco). Le velocità massime sono anch'esse sensibilmente inferiori ai valori limite (da rispettare per contenere

l'abrasione delle tubazioni 4-5 m/s). Per quanto riguarda le velocità medie, è evidente l'effetto dei numerosi tratti caratterizzati da bassa pendenza (condizionati dalla morfologia locale e pertanto non modificabili) e delle ridotte portate (dovute al basso numero di utenti allacciati) che danno origine a velocità di scorrimento modeste per cui verrà richiesta una manutenzione più accurata.

Per quanto riguarda i numeri di Froude e di Vedernikov, si conclude che le verifiche hanno avuto esito positivo.

Intervento C - Tarable

Distanza progressiva		Portata media di tempo secco	Diametro interno	Pendenza	Altezza d'acqua	Grado di riempimento	Velocità	Fr	Ve	
inizio	fine									
m		mc/h	cm	%	cm	%	m/s	(-)	(-)	
0,000	85,390									
85,390	127,500	0,25	23,54	1,00	0,66	2,82	0,20	0,78	0,26	
127,500	171,443			2,56	0,55	2,32	0,27	1,15	0,38	
171,443	230,272		21,80	15,40	0,39	1,65	0,45	2,29	0,76	
230,272	241,859			10,78	0,41	1,76	0,41	2,01	0,67	
241,859	281,567			34,01	0,40	1,82	0,45	2,26	0,75	
281,567	310,458			31,24	0,40	1,85	0,44	2,19	0,73	
310,458	370,000			30,10	0,41	1,87	0,43	2,16	0,72	
370,000	406,172			39,99	0,39	1,77	0,47	2,40	0,80	
				23,54	2,79	0,54	2,28	0,27	1,19	0,40

Distanza progressiva		Portata massima di punta	Diametro interno	Pendenza	Altezza d'acqua	Grado di riempimento	Velocità	Fr	Ve
m		mc/h	cm	%	cm	%	m/s	(-)	(-)
inizio	fine								
0,000	85,390	1,00	23,54	1,00	1,22	5,20	0,32	0,93	0,31
85,390	127,500			2,56	0,99	4,21	0,44	1,42	0,47
127,500	171,443			15,40	0,67	2,84	0,79	3,09	1,03
171,443	230,272			10,78	0,72	3,07	0,71	2,65	0,88
230,272	241,859		21,80	34,01	0,70	3,20	0,77	2,95	0,98
241,859	281,567			31,24	0,71	3,26	0,75	2,85	0,95
281,567	310,458			30,10	0,72	3,29	0,74	2,80	0,93
310,458	370,000			39,99	0,67	3,09	0,81	3,16	1,05
370,000	406,172		23,54	2,79	0,97	4,12	0,45	1,47	0,49

Anche in questo caso, le altezze d'acqua associate alle massime portate risultano ampiamente compatibili con il diametro delle condotte, le velocità massime sono sensibilmente minori di 4-5 m/s, le velocità medie sono modeste (dovute alle basse portate attese). Per cui, anche per questo intervento verranno richiesti interventi di manutenzione più frequenti. I numeri di Froude e di Vedernikov rientrano nei limiti imposti.

VERIFICHE STATICHE

Le condotte soggette a verifica sono in PEAD DE250 SN8 corrugato interno (diametro interno 218 mm) e PVC DE250 SN8 (diametro interno 235,4 mm) aventi le seguenti caratteristiche:

- PEAD DE250 SN8 corrugato interno:

- classe di rigidità anulare SN 8 (pari a 8 kN/mq);
- diametro esterno: 0,250 m;
- diametro interno: 0,218 m;
- $r = 0,117$ m (raggio medio della tubazione);
- $s = 0,016$ m (spessore della tubazione);
- $E_s = 6900$ kN/mq (modulo di elasticità del terreno che avvolge la tubazione);
- E_t istantaneo = 900000 kN/mq (modulo di elasticità istantaneo del materiale costituente la tubazione);

- E_t a lungo t = 225000 kN/mq (modulo di elasticità a lungo t del materiale costituente la tubazione).

-PVC DE 250 SN8:

- classe di rigidità anulare SN 8 (pari a 8 kN/mq);
- diametro esterno: 0,250 m;
- diametro interno: 0,2354 m;
- $r = 0,121$ m (raggio medio della tubazione);
- $s = 0,0073$ m (spessore della tubazione);
- $E_s = 6900$ kN/mq (modulo di elasticità del terreno che avvolge la tubazione);
- E_t istantaneo = 3000000 kN/mq (modulo di elasticità istantaneo del materiale costituente la tubazione);
- E_t a lungo t = 1500000 kN/mq (modulo di elasticità a lungo t del materiale costituente la tubazione).

A protezione del tubo si prescrive l'esecuzione di un letto di posa in sabbia dello spessore minimo di 15 cm ed un primo rinterro (sempre in sabbia) per almeno 15 cm al di sopra della generatrice superiore. Il rinterro della tubazione avverrà utilizzando il materiale precedentemente estratto (con l'esclusione di eventuali trovanti ritenuti inidonei), opportunamente costipato, previa verifica da parte dell'Impresa della sua non contaminazione.

La verifica statica di una tubazione interrata consiste nell'accertare che i carichi agenti sulla struttura provochino tensioni e deformazioni ammissibili, cioè compatibili con il materiale costituente la tubazione e con le esigenze di progetto. Le verifiche delle tubazioni flessibili possono essere effettuate seguendo le indicazioni riportate nella norma AWWA (American Water Works Association) C950/88.

Il criterio di verifica da adottare dipende dal comportamento della tubazione nei confronti della deformabilità, cioè dall'elasticità in sito. La distinzione tra struttura rigida e flessibile viene effettuata tramite il coefficiente d'elasticità in sito (n):

$$n = \frac{E_s}{E_t} \cdot \left(\frac{r}{s}\right)^3$$

dove

E_s : modulo di elasticità del terreno che avvolge la tubazione;

E_t : modulo di elasticità istantaneo del materiale costituente la tubazione;

$r = (D-s)/2$ raggio medio della tubazione;

s: spessore della tubazione.

La tubazione interrata è flessibile (o deformabile) se risulta $n \geq 1$.

Valori di progetto:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
Es	kN/mq	6900	6900
Et istantaneo	kN/mq	900000	3000000
Et a lungo t	kN/mq	225000	1500000
D (diametro esterno)	m	0,250	0,250
Di (diametro interno)	m	0,218	0,2354
r	m	0,117	0,121
s	m	0,016	0,0073
n	(-)	3,00	10,57
		FLESSIBILE	FLESSIBILE

Calcolo dei carichi

Calcolo del carico dovuto al rinterro

Il carico dovuto al rinterro viene calcolato in maniera differente a seconda che la posa sia in trincea stretta o in trincea larga. Si dice che un tubo avente diametro esterno (D) è posato in trincea stretta quando la larghezza della trincea (B) a livello della generatrice superiore del tubo e l'altezza del rinterro (H) al di sopra di questa generatrice soddisfano una delle seguenti condizioni:

$$B \leq 2D \quad \text{con} \quad H \geq 1,5B$$

$$2D < B < 3D \quad \text{con} \quad H \geq 3,5B$$

Si dice che un tubo è posato in trincea larga quando le relazioni fra B, D, H differiscono da quelle sopra indicate.

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
D	m	0,250	0,250
B	m	0,80	0,80
H (media)	m	1,15	1,15
Tipo di trincea	(-)	LARGA	LARGA

Per la posa in trincea larga il carico dovuto al rinterro (P_{ST}) viene valutato secondo la seguente espressione:

$$P_{ST} = C_e \cdot \gamma_t \cdot D^2$$

dove:

C_e : coefficiente funzione del rapporto H/D. Per rinfianco in materiale arido, sempre necessario per tubazioni flessibili:

$$C_e = \frac{H}{D}$$

γ_t : peso specifico del rinterro (saturo).

Per cui:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
C_e	(-)	4,60	4,60
γ_t	kN/mc	19,6	19,6
P_{st}	kN/m	5,64	5,64

Calcolo del carico dovuto ai sovraccarichi mobili

Il calcolo del carico sulla generatrice superiore del tubo generato da un carico mobile agente in superficie viene calcolato tramite la seguente espressione:

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

dove:

p_v : pressione verticale sulla generatrice superiore del tubo dovuta ai sovraccarichi mobili concentrati (N/mq). E' ricavabile da grafici forniti dalla norma DIN 1072 in funzione dell'altezza H e del carico per ruota (P) definito in base alle classi di carico HT (autocarro pesante) ed LT (autocarro leggero o ferroviario). Nel caso in oggetto si valuta il carico dovuto al transito di un convoglio HT60 a cui si attribuisce un carico per ruota di 100kN;

φ : coefficiente di incremento. Nel caso di traffico stradale e autostradale è dato da:

$$\varphi = 1 + \frac{0,3}{H}$$

Risulta:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
pv	t/mq	4,60	4,60
φ	(-)	1,26	1,26
Pdin	kN/m	14,22	14,22

Calcolo del carico dovuto alla massa dell'acqua contenuta dentro il tubo

Il carico verticale sulla generatrice superiore del tubo dovuta alla massa dell'acqua contenuta nel tubo riempito per tre quarti (P_a), è funzione del diametro interno (D_i) e si calcola con la formula:

$$P_a = 5788D_i^2$$

per cui:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
D_i	m	0,218	0,2354
P_a	kN/m	0,28	0,32

Calcolo del carico dovuto alla pressione idrostatica esterna

A titolo cautelativo, la superficie della falda viene assunta coincidente con la quota di piano campagna. Per cui la tubazione sarà soggetta ad una pressione idrostatica esterna che può essere calcolata attraverso:

$$Q_w = \gamma_w \left(H_w + \frac{D}{2} \right) D$$

dove

γ_w : peso specifico dell'acqua pari a 10000N/mc;

H_w : altezza della superficie libera della falda sulla sommità della canalizzazione.

Per cui:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
H_w	m	1,15	1,15
Q_w	kN/m	3,19	3,19

Verifiche per tubazioni flessibili

Verifica dell'inflessione diametrale a lungo termine

L'inflessione diametrale assoluta del tubo in senso verticale con il 95% della probabilità, è fornita dalla seguente formula:

$$\Delta y = \frac{(D_e \cdot P_{st} + P_{din}) \cdot K_x}{8 \cdot RG + 0,061 \cdot K_a \cdot E_s} + \Delta a$$

dove:

D_e : fattore di ritardo d'inflessione che tiene conto che il terreno continua a costiparsi nel tempo. Per grado di costipamento leggero è pari a 1,5;

K_x : coefficiente d'inflessione che dipende dalla capacità di sostegno fornita dal suolo all'arco inferiore d'appoggio del tubo. Per fondo sagomato con materiale di riempimento moderatamente costipato ai fianchi del tubo (densità proctor $\geq 85\%$ e $< 95\%$) o materiale di letto e rinfiacco di tipo ghiaioso è pari a 0,103;

RG : indice di rigidezza = $\frac{E_t \cdot I}{D^3}$;

I : momento d'inerzia del tubo $I = \frac{s^3}{12}$;

E_t riferito al modulo di elasticità a lungo termine del materiale costituente la tubazione);

K_a e Δa : parametri che consentono di passare dall'inflessione media (50% di probabilità) all'inflessione massima caratteristica (frattile di ordine 0,95 della distribuzione statistica dell'inflessione). Per $H \leq 4,9$ m risultano $K_a = 0,75$ e $\Delta a = 0$.

Risulta:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
De	(-)	1,5	1,5
Kx	(-)	0,103	0,103
RG	N/cm ²	0,60	0,34
Ka	(-)	0,75	0,75
Δa	(-)	0,00	0,00
Δy	cm	0,64	0,68

Nota la deformazione assoluta (Δy), si calcola la deformazione relativa come rapporto tra Δy ed il diametro esterno (D). La verifica è soddisfatta se il parametro $\Delta y/D$ non supera il 5% del diametro iniziale della condotta:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
$\Delta y/D$	%	2,57	2,72
Esito della verifica	(-)	POSITIVO	POSITIVO

Verifica all'instabilità all'equilibrio elastico (Buckling)

In una tubazione interrata, la pressione che determina instabilità elastica (“pressione di buckling”) dipende, non solamente dall’indice di rigidezza della tubazione (RG), ma anche dal modulo elastico del suolo che circonda la tubazione (E_s) in quanto il sistema terreno-tubazione si comporta come un’unica entità. L’espressione di stima della pressione ammissibile di buckling (N/cm^q) è:

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

dove:

FS: fattore di progettazione, pari a 2,5;

R_w : fattore di spinta idrostatica della falda eventualmente presente con:

$$R_w = 1 - 0,33 \frac{H_w}{H} \quad \text{con} \quad 0 \leq H_w \leq H;$$

H_w : altezza della superficie libera della falda sulla sommità della tubazione;

B' : coefficiente empirico di supporto elastico

$$B' = \frac{1}{1 + 4 \cdot e^{-0,213H}};$$

RG: indice di rigidezza = $\frac{E_t \cdot I}{D^3}$;

I: momento d’inerzia del tubo $I = \frac{s^3}{12}$.

Per cui:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
FS	(-)	2,5	2,5
Rw	(-)	0,67	0,67
B'	(-)	0,24	0,24
qa	N/cm ²	16,78	13,35

La verifica all'instabilità elastica si esegue confrontando la pressione ammissibile di buckling (q_a) con la risultante della pressione dovuta ai carichi esterni applicati in presenza di sovraccarichi mobili (p_e):

$$p_e = \gamma_w \cdot H_w + \frac{R_w \cdot P_{st}}{D} + \frac{P_{din}}{D}$$

Deve risultare $p_e \leq q_a$.

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
p_e	N/cm ²	8,35	8,35
Esito della verifica	(-)	POSITIVO	POSITIVO

Verifica della sollecitazione massima di flessione

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

$$\sigma = D_f \cdot E_t \cdot \frac{\Delta y}{D} \cdot \frac{s}{D} \leq \frac{\sigma_{lim}}{\mu}$$

dove:

σ : tensione dovuta alla deflessione diametrale;

RG: indice di rigidezza = $\frac{E_t \cdot I}{D^3}$;

D_f : fattore di forma funzione dell'indice di rigidezza (RG) della tubazione e delle caratteristiche geotecniche del rinterro (composizione granulometrica e grado di costipamento);

E_t a lungo t: modulo di elasticità a lungo t del materiale costituente la tubazione;

σ_{lim} : tensione limite ultima;

μ : coefficiente di sicurezza, fissato di norma in 1,5.

Si ha:

Parametro	U.d.m.	PEAD DE250 SN8 corrugato interno	PVC DE 250 SN8
Df	(-)	4,00	4,50
σ	N/cm ²	148,00	537,07
σ_{lim}	N/cm ²	2000	1250
μ	(-)	1,50	1,50
σ_{lim}/μ	N/cm ²	1333	833
Esito della verifica	(-)	POSITIVO	POSITIVO