

COMUNE DI MOIO DELLA CIVITELLA
(Provincia di Salerno)

LAVORI PER IL COMPLETAMENTO E RISANAMENTO DI UN
COLLETTORE FOGNARIO NEL COMUNE
DI MOIO DELLA CIVITELLA

CUP: C35B18002530002

Tav. G13	PROGETTO ESECUTIVO
	STRALCIO 1
data: agg.:	RELAZIONE IDRAULICA

I TECNICI



IL R.U.P.

COMUNE DI MOIO DELLA CIVITELLA
Provincia di Salerno

*LAVORI PER IL COMPLETAMENTO E RISANAMENTO DI UN
COLLETTORE FOGNARIO NEL COMUNE
DI MOIO DELLA CIVITELLA*

CALCOLO DELLE PORTATE E VERIFICA CONDOTTA

FINALITA' DELL'INTERVENTO

Con la presente progettazione L'Amministrazione Comunale di Moio della Civitella intende continuare l'opera di riqualificazione e valorizzazione già avviata con interventi su diverse aree comunali per il completamento della rete fognaria per lo smaltimento delle acque nere. L'intervento riguarda l'area adibita a polo sportivo (campo da tennis e campo da calcio) per collegarsi successivamente su un tratto di fognatura esistente.

La proposta progettuale muove dalla necessità di porre soluzioni non più procrastinabili a quei servizi essenziali alla vita di una comunità quali lo smaltimento delle acque reflue.

Pertanto, si intende riqualificare e valorizzare una parte del territorio comunale proprio attraverso la realizzazione della rete fognante e delle opere complementari quali la ripavimentazione dei tratti in oggetto, garantendo quei requisiti di igiene e salubrità necessari per il decoro urbano nonché per il rispetto delle norme in materia.

Le tubazioni utilizzate per l'intervento, con DI 200 e 315, sono in (PP) rigido avente strutturata a doppia parete, corrugata esternamente e liscia internamente e classe di rigidità anulare SN 16 kN/m², il collegamento dei tubi avviene tramite un manicotto di giunzione e due guarnizioni elastomeriche. La sua lunghezza permette l'inserimento di più costole al suo interno da entrambe le parti, in modo da assicurare l'allineamento dei tubi ed evitare rischi di sfilamento.

GENERALITA' SUL CALCOLO E VERIFICA DELLA CONDOTTA

La rete fognaria deve rispettare i principi di funzionalità e di affidabilità.

I limiti funzionali sono legati al tipo di portata. Infatti, quando circolano le portate bianche, bisogna evitare velocità troppo elevate che comporterebbero erosioni e corrosioni oltre ad essere difficilmente governabili.

Si pone, in tal caso, il limite superiore:

$$v_{\max} \leq 5 \text{ m/s}$$

Per le portate nere si devono evitare velocità troppo basse che favorirebbero la sedimentazione, soprattutto delle particelle più grandi, le quali farebbero diminuire la sezione utile. Inoltre, non dimentichiamo che le particelle che sedimentano sono putrescibili.

Nella realtà è impossibile evitare del tutto la sedimentazione, poiché lo scarico delle acque nelle fognature, essendo strettamente legato all'acquisizione di acqua dall'acquedotto, presenta dei periodi di calo durante alcune ore della giornata. Allora bisogna fare in modo che, almeno una volta al giorno ci siano delle velocità di autopulitura che permettano il lavaggio della fognatura.

In particolare per le portate nere bisogna rispettare il limite inferiore per la **velocità di tempo asciutto**:

$$v_{ta} \geq 0,5 \text{ m/s}$$

Un altro limite da rispettare riguarda il **grado di riempimento h/D** il quale non deve superare valori di: $0,7 \div 0,8$.

Se ci riferiamo alla scala di deflusso per le sezioni chiuse, troviamo che la velocità attinge il valore massimo proprio quando il grado di riempimento h/D è pari a 0,8, mentre la portata è massima per valori maggiori di h/D.

Si fa riferimento non al massimo della portata ma a quello della velocità perché da quel momento in poi si hanno:

- **sia instabilità delle velocità v;**
- **sia instabilità delle portate Q.**

Inoltre il 20% di franco ci garantisce l'areazione della fogna. Il calcolo idraulico va fatto riferendosi non alle sezioni ma ai tratti. In ognuno di essi la portata viene supposta costante e pari al valore che assume nella sezione a valle.

Questo infatti ci permette di passare dal moto vario che si ha nei canali alle ipotesi di moto permanente a tratti.

Per poter procedere ai calcoli bisogna fissare:

- **forma;**
- **dimensioni.**

dello speco.

Per poter procedere ai calcoli occorre conoscere le portate in ogni sezione, intendendo per sezione il punto in cui varia la portata e/o la pendenza. Quindi per le varie sezioni si devono calcolare sia le portate nere **Q_n** che quelle di pioggia **Q_t**.

DETERMINAZIONE DELLA PORTATA NERA:

L'entità delle portate nere è legata alla disponibilità d'acqua potabile nelle abitazioni; è quindi a tale quantità d'acqua che si ci riferisce nei calcoli di progetto, tenendo conto tuttavia che esiste una trasformazione e una diversa distribuzione temporale tra ingresso ed uscita dalle abitazioni.

E' pertanto evidente che la stima delle portate nere non può prescindere dalla conoscenza delle portate dell'acquedotto urbano.

Si considera quindi il numero di abitanti equivalenti per un tratto di fognatura che si dovrà dimensionare.

La portata nera media giornaliera che affluisce alla condotta, espressa in l/sec, è data dalla formula:

$$Q_m = \frac{A_{be} \varphi D_i}{86400} \left[\frac{l}{s} \right]$$

Dove

Q_m = portata media giornaliera

A_{be} = numero abitanti equivalenti

φ = percentuale di disperdimento, cioè la percentuale d'acqua che, per vari motivi, non arriva alla fognatura;

generalmente si assume un valore pari al 20%;

Di = dotazione idrica giornaliera per abitante espressa in $\frac{l}{Ab * g}$

Ai fini progettuali, per tenere conto della contemporaneità d'uso degli apparecchi sanitari, il calcolo della portata nera si riferisce alla portata di punta oraria.. La portata nera di punta oraria si ottiene moltiplicando la portata media giornaliera per il coefficiente di punta Cp: $Q_p = Q_m * C_p$

Il coefficiente di punta si ricava in funzione del numero di abitanti.

DIMENSIONAMENTO E VERIFICA

Il dimensionamento del tratto fognario consiste nella determinazione delle dimensioni da assegnare allo speco in modo da assicurare il transito della portata della portata di progetto con un tirante idrico h che assicuri un prefissato franco di sicurezza. La verifica consiste nella determinazione del tirante idrico h e della velocità V che si instaurano nel tratto di canale con la portata assegnata.

Trascurando la variabilità del moto nel tempo, si considerano condizioni di moto uniforme. In condizioni di moto uniforme, quindi, la traccia longitudinale della superficie libera (che rappresenta la linea piezometrica della corrente) risulta parallela alla linea di fondo e, conseguentemente, la cadente J risulta uguale alla pendenza i del canale.

La legge che lega la cadente $J=i$ alla velocità media della corrente e alle caratteristiche geometriche e di scabrezza dell'alveo è espressa dalla seguente formula $V = \chi \sqrt{R_0 i}$

Per il dimensionamento idraulico si utilizza la formula di Chezy:

$$Q = A_0 * \chi * \sqrt{R_0 i}$$

Dove:

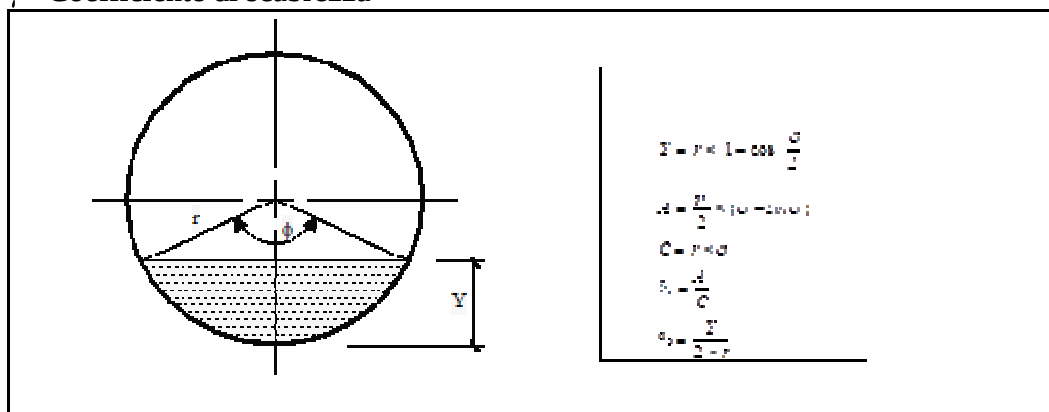
Q= portata

Ao= Area della sezione liquida

χ =Coefficiente di attrito determinato con la formula di Bazin: $\chi = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}}$

R= Raggio idraulico

γ = Coefficiente di scabrezza



Num	TRATTO	LUNGHEZZA m	PENDENZA m/m	QUOTA scorrimento iniziale	QUOTA scorrimento finale	TIPO SEZIONE	MATERIALE	DIMENSION E SEZIONE	SCABREZZ A (Bazin)	ALTEZZA D'ACQUA cm	PORTATA NERA l/sec	PORTATA BIANCA l/sec	VELOCITA' m/sec
1	Tratto F	178,93	0,1209	554,20	540,41	CIRCOLARE	PP	200	0,10	2	0,75	0,00	1,51
1	Tratto C	127,40	0,1606	559,50	541,73	CIRCOLARE	PP	200	0,10	1	0,75	0,00	1,30
1	Tratto A	107,30	0,0781	552,89	544,51	CIRCOLARE	PP	200	0,10	2	0,75	0,00	1,22
1	Tratto B	210,74	0,0318	544,01	537,31	CIRCOLARE	PP	315	0,10	2	0,80	0,00	0,78
1	Tratto D	420,02	0,1104	582,79	536,41	CIRCOLARE	PP	315	0,10	1	0,63	0,00	1,09
1	Tratto E	280,52	0,1339	536,41	498,85	CIRCOLARE	PP	315	0,10	2	1,95	0,00	1,60

FOGNATURA NERA

Dotazione Idrica l/ab.giorno: 260

Percentuale disperdimento: 20

TRATTO		ABITANTI PROPRI	ABITANTI PROGRESSIVI	PORTATA NERA MEDIA	COEFF. DI PUNTA	PORTATA NERA DI PUNTA	PORTATA NERA ENTRANTE
n	Nome	n	n	l/sec		l/sec	l/sec
1	Tratto F	60	60	0,26	2,82	0,75	0,12
1	Tratto C	30	30	0,23	2,82	0,75	0,12
1	Tratto A	20	20	0,23	2,82	0,75	0,12
1	Tratto B	10	60	0,28	2,82	0,80	0,14
1	tratto D	40	40	0,31	2,85	0,63	0,1
1	Tratto E	100	100	0,72	2,71	1,95	0,48

Num	TRATTO	POZZETTO		LUNGHEZZA m	MATERIALE	DIAMETRO mm	PENDENZA m/m	Altezza d'acqua cm	PORTATA		VELOCITA'		IDONETA'	
		partenza	arrivo						TEORICA l/sec	MASSIMA l/sec	TEORICA cm/sec	MASSIMA cm/sec	PORTATA	LAVAGGIO
1	Tratto F	1	2	20,13	PP	200	0,2483	1	0,75	225,68	162,08	761,05	idoneo	idoneo
1	Tratto F	2	3	25,12	PP	200	0,1354	1	0,75	166,61	119,66	561,86	idoneo	idoneo
1	Tratto F	3	4	9,22	PP	200	0,0576	2	0,75	108,65	104,03	366,42	idoneo	idoneo
1	Tratto F	4	5	7,81	PP	200	0,1060	2	0,75	147,48	141,19	497,33	idoneo	idoneo
1	Tratto F	5	6	27,17	PP	200	0,0794	2	0,75	127,63	122,20	430,41	idoneo	idoneo
1	Tratto F	6	tratto 2	24,56	PP	200	0,0762	2	0,75	125,04	119,71	421,66	idoneo	idoneo
1	Tratto C	1	2	39,70	PP	200	0,1746	1	0,75	189,24	135,91	638,16	idoneo	idoneo
1	Tratto C	2	3	17,01	PP	200	0,1572	1	0,75	179,57	128,97	605,56	idoneo	idoneo
1	Tratto C	3	4	18,16	PP	200	0,1359	1	0,75	166,94	119,89	562,97	idoneo	idoneo
1	Tratto C	4	5	18,37	PP	200	0,1518	1	0,75	176,44	126,72	595,02	idoneo	idoneo
1	Tratto C	5	6	13,40	PP	200	0,1825	1	0,75	193,48	138,96	652,46	idoneo	idoneo
1	Tratto C	6	tratto 2	3,99	PP	200	0,1145	2	0,75	153,27	146,74	516,86	idoneo	idoneo
1	Tratto A	1	2	28,71	PP	200	0,0554	2	0,75	352,90	103,10	479,12	idoneo	idoneo
1	Tratto A	2	3	11,03	PP	200	0,1020	1	0,75	478,97	104,63	650,28	idoneo	idoneo
1	Tratto A	3	4	25,22	PP	200	0,0570	2	0,75	358,06	104,60	486,12	idoneo	idoneo
1	Tratto A	4	5	21,82	PP	200	0,0842	1	0,75	435,12	95,05	590,74	idoneo	idoneo
1	Tratto A	5	6	16,91	PP	200	0,1308	1	0,75	542,44	118,49	736,45	idoneo	idoneo
1	Tratto A	6	tratto 2	3,61	PP	200	0,0490	2	0,75	332,08	97,01	450,85	idoneo	idoneo
2	Tratto B	incrocio tratto C	2	9,05	PP	315	0,0356	2	0,80	282,86	82,64	384,03	idoneo	idoneo
2	Tratto B	2	3	9,93	PP	315	0,0318	2	0,80	267,51	78,15	363,19	idoneo	idoneo
2	Tratto B	3	4	6,56	PP	315	0,0438	2	0,80	313,73	91,65	425,94	idoneo	idoneo
2	Tratto B	4	5	14,42	PP	315	0,0448	2	0,80	317,42	92,73	430,95	idoneo	idoneo
2	Tratto B	5	6	11,86	PP	315	0,0379	2	0,80	292,12	85,34	396,60	idoneo	idoneo
2	Tratto B	6	6	12,11	PP	315	0,0189	2	0,80	206,23	60,25	279,99	idoneo	idoneo
2	Tratto B	6	6	18,96	PP	315	0,0114	2	0,80	160,44	57,33	217,82	idoneo	idoneo
2	Tratto B	6	incrocio tratto D	12,57	PP	315	0,0246	2	0,80	235,08	68,68	319,16	idoneo	idoneo
2	Tratto B	incrocio tratto D	7	8,79	PP	315	0,0102	2	0,80	151,75	54,23	206,03	idoneo	idoneo
2	Tratto B	7	8	20,45	PP	315	0,0198	2	0,80	211,28	61,72	286,84	idoneo	idoneo
2	Tratto B	8	9	17,06	PP	315	0,0455	2	0,80	320,03	93,49	434,50	idoneo	idoneo
2	Tratto B	9	10	14,01	PP	315	0,0458	2	0,80	320,82	93,72	435,56	idoneo	idoneo
2	Tratto B	10	11	6,51	PP	315	0,0456	2	0,80	320,28	93,57	434,63	idoneo	idoneo
2	Tratto B	11	12	12,38	PP	315	0,0424	2	0,80	308,79	90,21	419,23	idoneo	idoneo
2	Tratto B	12	13	10,38	PP	315	0,0444	2	0,80	316,06	92,33	429,10	idoneo	idoneo
2	Tratto B	13	incrocio	25,70	PP	315	0,0281	2	0,80	251,34	73,43	341,23	idoneo	idoneo
3	Tratto D	1	P	23,13	PP	315	0,0129	2	0,63	170,21	49,72	231,08	idoneo	idoneo
3	Tratto D	P	2	23,13	PP	315	0,0044	2	0,63	99,58	35,58	135,19	idoneo	idoneo
3	Tratto D	2	2	15,53	PP	315	0,0129	2	0,63	170,20	49,72	231,07	idoneo	idoneo
3	Tratto D	2	3	4,84	PP	315	0,1146	1	0,63	507,57	110,88	689,11	idoneo	idoneo
3	Tratto D	3	4	18,07	PP	315	0,0876	1	0,63	443,72	96,93	602,42	idoneo	idoneo
3	Tratto D	4	5	15,30	PP	315	0,1339	1	0,63	548,69	119,86	744,94	idoneo	idoneo
3	Tratto D	5	6	10,87	PP	315	0,1260	1	0,63	532,41	116,30	722,83	idoneo	idoneo
3	Tratto D	6	7	17,76	PP	315	0,1061	1	0,63	488,48	106,70	663,19	idoneo	idoneo
3	Tratto D	7	8	11,83	PP	315	0,1182	1	0,63	515,60	112,63	700,00	idoneo	idoneo
3	Tratto D	8	9	12,80	PP	315	0,1593	1	0,63	598,57	130,75	812,65	idoneo	idoneo
3	Tratto D	9	10	21,55	PP	315	0,1683	1	0,63	615,28	134,40	835,34	idoneo	idoneo
3	Tratto D	10	12	14,34	PP	315	0,1349	1	0,63	550,84	120,33	747,86	idoneo	idoneo
3	Tratto D	12	13	20,58	PP	315	0,0904	1	0,63	450,83	98,48	612,07	idoneo	idoneo
3	Tratto D	13	14	14,65	PP	315	0,0944	1	0,63	460,63	100,62	625,37	idoneo	idoneo
3	Tratto D	14	15	20,08	PP	315	0,0552	2	0,63	352,22	102,90	478,20	idoneo	idoneo
3	Tratto D	15	16	25,54	PP	315	0,1351	1	0,63	551,13	120,39	748,25	idoneo	idoneo
3	Tratto D	16	17	22,87	PP	315	0,1024	1	0,63	479,95	104,84	651,60	idoneo	idoneo
3	Tratto D	17	18	18,30	PP	315	0,0821	1	0,63	429,66	93,86	583,33	idoneo	idoneo
3	Tratto D	18	19	24,81	PP	315	0,1563	1	0,63	592,89	129,51	804,94	idoneo	idoneo
3	Tratto D	19	20	22,19	PP	315	0,1135	1	0,63	505,23	110,36	685,93	idoneo	idoneo
3	Tratto D	20	21	22,60	PP	315	0,1700	1	0,63	618,22	135,05	839,33	idoneo	idoneo
3	Tratto D	21	22	12,18	PP	315	0,1408	1	0,63	562,65	122,91	763,88	idoneo	idoneo
3	Tratto D	22	23	10,01	PP	315	0,1559	1	0,63	592,14	129,35	803,93	idoneo	idoneo
3	Tratto D	23	incrocio tratto 1	7,95	PP	315	0,1607	1	0,63	601,08	131,30	816,06	idoneo	idoneo
3	Tratto D	incrocio tratto 1	incrocio tratto 3	9,10	PP	315	0,0989	1	0,63	471,49	102,99	640,12	idoneo	idoneo
4	tratto E	1	2	7,53	PP	315	0,0009	5	1,95	45,71	29,85	62,06	idoneo	idoneo
4	tratto E	2	3	8,82	PP	315	0,1841	2	1,95	643,41	187,96	873,53	idoneo	idoneo
4	tratto E	3	4	13,79	PP	315	0,1742	2	1,95	625,91	182,85	849,77	idoneo	idoneo
4	tratto E	4	5	11,61	PP	315	0,1452	2	1,95	571,35	166,91	775,70	idoneo	idoneo
4	tratto E	5	6	17,19	PP	315	0,1348	2	1,95	550,64	160,86	747,58	idoneo	idoneo
4	tratto E	6	7	20,87	PP	315	0,1148	2	1,95	508,06	148,42	699,77	idoneo	idoneo
4	tratto E	7	8	11,31	PP	315	0,1851	2	1,95	609,30	178,00	827,22	idoneo	idoneo
4	tratto E	8	12	13,60	PP	315	0,2241	2	1,95	709,93	207,40	963,84	idoneo	idoneo
4	tratto E	12	13	10,50	PP	315	0,2491	2	1,95	748,41	218,64	1016,09	idoneo	idoneo
4	tratto E	13	14	8,09	PP	315	0,1481	2	1,95	577,13	168,60	783,55	idoneo	idoneo
4	tratto E	14	15	5,37	PP	315	0,2646	2	1,95	771,36	225,34	1047,24	idoneo	idoneo
4	tratto E	15	canale in cls	19,72	PP	315	0,1137	2	1,95	505,58	147,70	686,41	idoneo	idoneo
4	tratto E	canale in cls	17	7,19	PP	315	0,0827	2	1,95	431,38	154,14	585,66	idoneo	idoneo
4	tratto E	17	18	11,74	PP	315	0,1085	2	1,95	494,02	144,32	670,71	idoneo	idoneo
4	tratto E	18	19	14,80	PP	315	0,2177	2	1,95	699,74	204,42	950,00	idoneo	idoneo
4	tratto E	19	20	11,76	PP	315	0,0634	2	1,95	377,49	134,89	512,50	idoneo	idoneo
4	tratto E	20	22	6,78	PP	315	0,3113	2	1,95	836,72	244,44	1135,98	idoneo	idoneo
4	tratto E	22	26	14,44	PP	315	0,1704	2	1,95	619,12	180,87	840,55	idoneo	idoneo
4	tratto E	26	28	8,48	PP	315	0,1598	2	1,95	599,42	175,11	813,80	idoneo	idoneo
4	tratto E	28	29	7,93	PP	315	0,1453	2	1,95	571,64	167,00	776,09	idoneo	idoneo
4	tratto E	29	31	6,76	PP	315	0,2101	2	1,95	687,35	200,80	933,19	idoneo	idoneo
4	tratto E	31	32	7,15	PP	315	0,0180	3	1,95	201,47	83,87	273,52	idoneo	idoneo
4	tratto E	32	33	16,64	PP	315	0,0114	3	1,95	160,22	66,70	217,53	idoneo	idoneo
4	tratto E	33	34	18,44	PP	315	0,0044	4	1,95	99,40	51,75	134,94	idoneo	idoneo

VERIFICA DELLE DEFORMAZIONI

La verifica statica di una tubazione interrata viene effettuata calcolando:

- i carichi permanenti che gravano sulla tubazione;
- i carichi accidentali che gravano sulla tubazione;
- il carico idraulico indotto dalla presenza della falda;
- le reazioni laterali del terreno.

I carichi permanenti cui è sottoposta una tubazione interrata dipendono per lo più dall'azione del rinterro mentre i carichi accidentali sono per lo più da attribuirsi alla presenza di traffico.

Verifica della deformazione di una tubazione secondo il metodo di Marston-Spangler						
Tubazione	Ricoprimento	Falda	Compattazione	Sovraccarico statico	Sovraccarico Dinamico	RISULTATO
Corrugato DN315 SN16	H = 1,5m	No falda	Alta	Q _{svc} = 60kN/m	HT30 (P = 50kN/ruota)	POSITIVO

Dati dimensionali del Tubo			
Diametro	DN =	315	mm
Rigidità circonferenziale (EN ISO 9969)	SN =	16	kN/m ²
Modulo di elasticità	E _{st} =	150000	kN/m ²
Tipo di parete	Corrugato		

Dati dello scavo			
Larghezza	B =	1,500	m
Altezza sull'estradosso	H =	1,50	m
Tipologia del terreno indisturbato	Argilla sabbiosa		
Tipologia del terreno di rinfianco	Sabbia secca		
Peso specifico rinterro	γ _t =	15	kN/m ³
Angolo di attrito interno	φ =	14	°
Coeff. di attrito rinterro/pareti	μ =	0,25	
Angolo di supporto	2α =	0	°
Tipo di compattazione	Alta		
Modulo di elasticità terreno	E _t =	14000	kN/m ²
Altezza della falda sulla tubazione	h =	0	m
Peso specifico sommerso del riempimento	γ' =	15,9	
Verifica tipo di trincea (UNI 7517)	Trincea larga		

Determinazione carico statico			
Coeff. di spinta attiva	K _a =	0,610	
Coeff. di carico statico	χ =	0,862	
Carico idrostatico	Q _{id} =	0,000	kN/m
Sovraccarico statico	Q _{svc} =	60,000	kN/m
Carico statico	Q _{st} =	67,088	kN/m

Determinazione carico dinamico			
Tipologia di traffico (DIN 1072)	HT30		
Carico per ruota	P =	50	kN/ruota
Coeff. dinamico	ω =	1,20	
Tensione dinamica	σ _d =	17,277	kN/m ²
Carico dinamico	Q _d =	6,531	kN/m

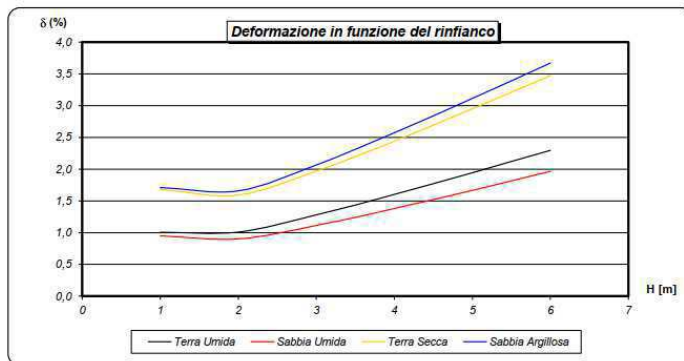
Carico TOTALE			
Carico totale	Q =	73,618	kN/m
Coeff. di sottofondo	K =	0,121	
Coeff. di deformazione differita	F =	1,5	
Deformazione assoluta	Δd =	13,61	mm
Deformazione relativa %	δ =	4,320	%
Tubazione verificata			

Il fornitore e i realizzatori del presente software non assumono alcuna responsabilità diretta o indiretta sull'uso e sui risultati forniti dal programma. Resta sempre e comunque convenuto che l'utente deve verificare personalmente i risultati, per i quali si assume la piena ed esclusiva responsabilità.

Tabelle riassuntive													
Deformazione % in funzione della compattazione del rinfianco (Tabella 2)													
SN = 16													
DN	Rinfianco	H = 1 m				H = 2 m				H = 3 m			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
315	Sabbia umida	5,46	3,12	1,68	0,95	5,18	2,96	1,59	0,90	6,40	3,66	1,97	1,11
	Sabbia argillosa	6,36	4,45	3,18	1,71	6,16	4,31	3,08	1,66	7,68	5,38	3,84	2,07
	Terra secca	6,24	4,37	3,12	1,68	5,92	4,14	2,96	1,59	7,32	5,12	3,66	1,97
	Terra umida**	5,78	3,30	1,78	1,00	5,82	3,32	1,79	1,01	7,36	4,20	2,26	1,28
DN	Rinfianco	H = 4 m				H = 5 m				H = 6 m*			
		R	L	M	A	R	L	M	A	R	L	M	A
315	Sabbia umida	7,94	4,53	2,44	1,38	9,59	5,48	2,95	1,67	11,30	6,45	3,47	1,96
	Sabbia argillosa	9,56	6,69	4,78	2,57	11,57	8,10	5,78	3,11	13,64	9,55	6,82	3,67
	Terra secca	9,07	6,35	4,53	2,44	10,96	7,67	5,48	2,95	12,91	9,04	6,45	3,47
	Terra umida**	9,21	5,26	2,83	1,60	11,19	6,39	3,44	1,94	13,21	7,55	4,06	2,30

*Ci si è limitati ai 6 metri in quanto gli usuali escavatori operano fino a profondità nell'ordine dei 6 metri, con magistrali di sostegno via via più impegnativi e costosi a misura che aumenta con la profondità.

**Occorre sottolineare come la tipologia "Terra Umida", pur geotecnica adatta all'uso, può presentare pietre e materiali vari che possono mettere in crisi la tubazione.

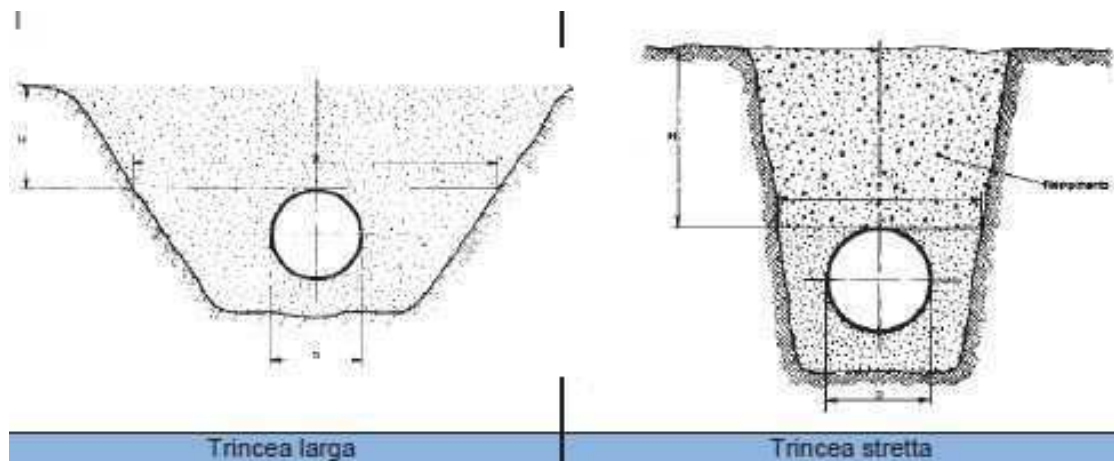


Tipo di compattazione: Alta

Le modalità di posa di una condotta fognaria implementati nel presente codice di calcolo sono in conformità a quanto proposto dalla normativa UNI 7517:

- posa in trincea stretta;
- posa in trincea larga.

Nella figura successiva se ne mostra una rappresentazione schematica tratta dal documento IIP, Istituto Italiano dei Plastici, Installazione delle fognature in PVC,



Calcolo dei carichi dovuti al rinterro

Nella determinazione del carico permanente che sollecita una condotta interrata un ruolo importante è dato dall'azione del rinterro. Tra le diverse metodologie utilizzate nella comune prassi ingegneristica si è scelto di utilizzare il metodo di Marston Spangler – Iowa State College Engineering Experiment Station [Da Deppo, 2009 Fognature]

Posa in trincea stretta

La norma UNI considera che una condotta sia posata in trincea **stretta** quando sia soddisfatta una delle seguenti condizioni:

1. $B \leq 2D$ con $H \geq 1.5B$;
2. $2D \leq B \leq 3D$ con $H \geq 3.5B$

In cui B e H indicano la larghezza e l'altezza dall'estradosso della tubazione come riportato nella precedente figura.

Nella posa in trincea stretta, il peso del rinterro che grava sull'estradosso della tubazione Q_{st} è minore del peso del relativo volume, per effetto dell'attrito presente tra il terreno indisturbato posto ai lati della trincea ed il terreno di rinterro. Tale azione è funzione del peso specifico, dell'angolo di attrito del terreno indisturbato e del coefficiente d'attrito con il rinterro.

Il valore di carico Q_{st} del rinterro è calcolabile mediante la relazione:

$$Q_{st} = C_t \gamma_t B D N$$

in cui:

- Q_{st} indica il carico dovuto al rinterro [kN/m];
- B indica la larghezza della trincea [m];
- DN il diametro esterno della tubazione fognaria [m];
- γ_t indica il peso specifico del terreno di rinterro [kN/m³];
- C_t indica il coefficiente di Marston [-].

Il coefficiente di Marston si valuta mediante la relazione:

$$C_t = \frac{1 - \exp\left(-2k_a \mu \frac{H}{B}\right)}{2k_a f}$$

in cui:

- C_t coefficiente adimensionale di Marston [-];
- $k_a = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$ coefficiente di spinta attiva con φ angolo d'attrito del terreno di rinterro [°];
- f coefficiente di attrito tra terreno indisturbato e rinterro pari a $\operatorname{tg}\varphi$ [°];
- H altezza del terreno di rinterro valutata dall'estradosso della tubazione [m];
- B larghezza della trincea [m].

Nel caso di trincea stretta, al carico Q_{st} corrisponde una pressione verticale q_{st} valutabile con la relazione:

$$q_{st} = \frac{2Q_{st}}{\sqrt{2DN}}$$

in cui:

- q_{st} pressione verticale agente sulla parte superiore del tubo per una lunghezza pari alla corda compresa in un angolo al centro di 90°;
- DN il diametro esterno della tubazione [m];
- Q_{st} indica il sovraccarico indotto dal rinterro [kN/m]

Posa in opera trincea larga

Nel caso in cui le condizioni elencate nel precedente paragrafo non siano rispettate la posa si definisce in trincea larga.

In questo caso il carico Q_{st} generato dal peso del terreno sovrastante l'estradosso della tubazione è pari a:

$$Q_{st} = \gamma_t DNH$$

in cui:

- Q_{st} indica il sovraccarico indotto dal rinterro [kN/m];
- DN il diametro esterno della tubazione [m];
- H altezza del terreno di rinterro valutata dall'estradosso della tubazione [m].

al carico Q_{st} corrisponde una pressione verticale q_{st} valutabile mediante la relazione:

$$q_{st} = \frac{Q_{st}}{0.85DN}$$

In cui q_{st} indica la pressione verticale agente sulla parte superiore del tubo per una lunghezza pari alla corda compresa in un angolo al centro pari a circa 130°;

- DN il diametro esterno della tubazione fognaria [m];
- Q_{st} indica il sovraccarico indotto dal rinterro [kN/m].

Caratteristiche dei terreni

Nella successiva tabella sono elencate le caratteristiche geotecniche dei terreni da assumere per la definizione del carico indotto dal rinterro:

<i>Tipo di terreno</i>	<i>Peso specifico γ_t [kN/m³]</i>	<i>Peso immerso γ' [kN/m³]</i>	<i>Angolo di attrito interno φ [°]</i>
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

Azione dei sovraccarichi veicolari

Sul terreno sovrastante la tubazione interrata oltre al rinterro possono agire altri carichi.

Questi si suddividono in dinamici, relativi al traffico stradale e/o ferroviario, e statici, associati a corpi posti sul terreno che grava sul tubo.

Per il calcolo del carico veicolare si fa riferimento a quanto espresso dalla normativa DIN 1072 secondo cui il traffico veicolare può essere suddiviso nelle seguenti classi di carico:

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	

La pressione dinamica σ_z esercitata dal traffico sul tubo viene valutata adottando le seguenti relazioni:

- $\sigma_z = 0.8743 \frac{P}{H^{1.5194}} \varphi$ valida per traffico stradale pesante (convoglio classe HT) e ferroviario;
- $\sigma_z = 0.5281 \frac{P}{H^{1.0461}} \varphi$ valida per traffico stradale leggero (convoglio classe LT).

in cui:

- σ_z pressione dinamica [kN/m²];
- P carico per ruota [kN];
- H altezza del terreno valutata dall'estradosso del tubo [m];
- φ coefficiente di incremento valutato con la relazione $\varphi = 1 + 0,3/H$, $\varphi = 1 + 0,6/H$ per mezzi ferroviari.

Nota la pressione dinamica è possibile calcolare il carico dinamico che grava su una condotta di diametro esterno DN applicando la relazione:

$$Q_{din} = \sigma_z DN$$

In cui:

- σ_z indica la pressione dinamica [kN/m²];
- DN indica il diametro esterno del tubo [m];

Azione del peso del fluido

Si considera come carico aggiuntivo sul tubo anche il peso dell'acqua contenuta al suo interno. Il carico, nell'ipotesi di tubo pieno, si calcola con la relazione:

$$Q_a = 7.70 D_i^2$$

In cui D_i indica il diametro interno della tubazione [m].

Carico idrostatico dovuto alla falda

Se nel terreno in cui è posata la tubazione si è in presenza di falda si deve tenere conto della pressione idrostatica che la falda esercita sulla condotta mediante la relazione:

$$Q_{idr} = \gamma_w \left(h + \frac{DN}{2} \right) DN$$

in cui:

- Q_{idr} indica il carico indotto dalla falda [kN/m];
- DN il diametro esterno della condotta [m]
- γ_w indica il peso specifico dell'acqua [kN/m³];
- h indica l'altezza della falda valutata rispetto l'estradosso delle tubazioni [m].

la pressione esercitata dalla falda q_{idr} è pari a:

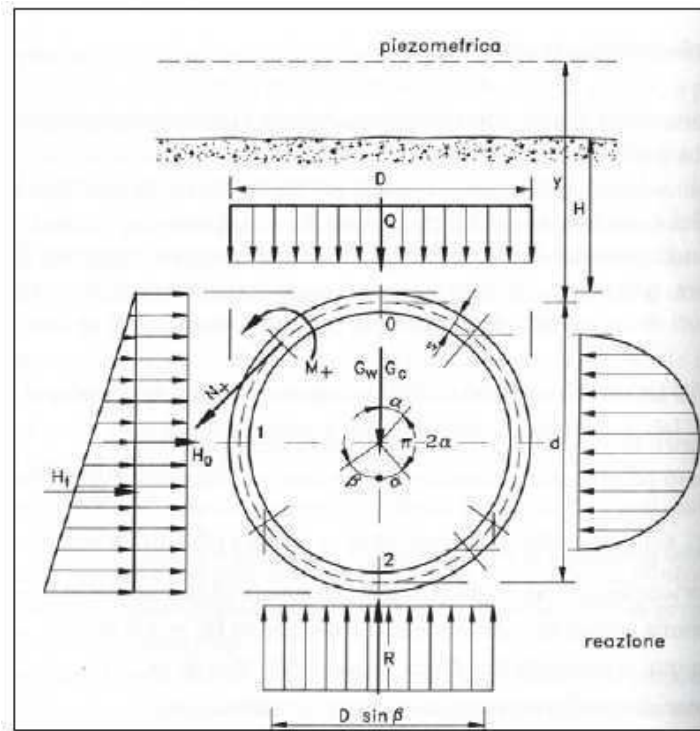
$$q_{idr} = \gamma_w \left(h + \frac{DN}{2} \right) = \frac{Q_{idr}}{DN}$$

Nel caso di presenza di falda il carico del rinterro, per la quota parte interessata dalla falda, deve essere calcolato adottando il relativo peso specifico immerso γ_t tabulato nella precedente tabella.

Verifica statica tubazioni flessibili

Verifica alla deformazione

La deformazione viene calcolata adottando lo schema statico proposto da Spangler secondo cui lo stato di sollecitazione che si produce in una tubazione sottoposta ai carichi indicati nella figura successiva è caratterizzato da una distribuzione parabolica della spinta passiva simmetrica rispetto al diametro orizzontale e applicata a partire dall'angolo a pari a 40° per un'ampiezza di 100 mentre la reazione sul fondo della trincea interessa varie ampiezze [Da Deppo – Fognature 2009]



La deformazione del diametro orizzontale secondo Spangler è data dalla relazione:

$$\Delta d = \frac{QKF}{8SN + 0.061E_t}$$

in cui:

- Δd deformazione assoluta diametrale del tubo in senso orizzontale [mm];
- Q il carico totale gravante sul tubo dato dalla somma del carico dovuto al rinterro, al carico indotto dalla falda, dal carico dell'acqua contenuta nella tubazione e dai carichi veicolari e statici [kN/m];
- K coefficiente di sottofondo, parametro che dipende dalla tipologia di appoggio del tubo sul fondo della trincea; si rimanda a quanto contenuto nella successiva tabella;
- F coefficiente di deformazione differita. Esso tiene conto dell'incremento di deformazione che la condotta subisce nel tempo.
- SN rigidità anulare della tubazione [kN/m²];

E_t modulo di elasticità del terreno di rinfiacco secondo Winkler [kN/m²]

Nota la deformazione assoluta si calcola la deformazione relativa δ come rapporto tra Δd ed il diametro esterno DN . La verifica è superata se la deformazione δ è minore della deformazione diametrale limite δ_{LIM} :

$$\delta < \delta_{LIM}$$

La verifica deve essere condotta sia nelle condizioni di breve che di lungo termine ricordando che per la verifica a lungo termine il coefficiente di deformazione differita deve essere posto cautelativamente pari a 2. Si sottolinea che secondo Spangler il parametro δ deve essere sempre inferiore al 5 %.

Moduli di elasticità del terreno di rinfiacco

Nella tabella seguente si riportano alcuni moduli di elasticità E_t per alcuni tipi di terreno (rinfiacco) in funzione di vari gradi di compattazione (con LL si indica il limite di liquidità):

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

Coefficiente di sottofondo

Nella seguente tabella si riportano i valori del coefficiente di sottofondo K in funzione di diversi angoli di appoggio della tubazione sul fondo della trincea

Angolo appoggio 2α [°]	Coefficiente sottofondo K
0	0.121
60	0.103
90	0.096
120	0.09
180	0.083

Verifica dell'instabilità all'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. [Papiri, 2008].

Il carico critico q_a può essere quindi valutato secondo la nota formula di Eulero:

$$q_a = \frac{E}{(1-\nu^2)} \left(\frac{s}{DN-s} \right)^3$$

n cui:

- q_a il carico critico di imbozzamento (buckling) [kN/m²]
- E indica il modulo elastico del materiale [kN/m²];
- ν il coefficiente di Poisson del materiale costituente il tubo [-];
- s rappresenta lo spessore del tubo [m].

In una tubazione interrata, la pressione di buckling dipende però non solamente dall'indice di rigidezza della tubazione, ma anche dal modulo elastico del suolo che circonda la tubazione in quanto il sistema tubo-suolo si comporta come un'unica entità [Papiri, 2008].

La Norma ANSI-AWWA C950/88 fornisce la seguente espressione per la stima della pressione ammissibile di buckling, q_a :

$$q_a = \frac{1}{F_s} \left(32 R_w B' E_t \frac{E_m I}{DN^3} \right)^{\frac{1}{2}}$$

in cui:

- q_a pressione ammissibile di buckling in N/m²;
- F_s fattore di progettazione posto pari a 2,5;

$$R_w = 1 - 0.33 \frac{H_w}{H}$$

- R_w fattore di spinta idrostatica della falda dato dalla relazione con H altezza del rinterro in cm ed H_w è altezza della superficie libera della falda sulla sommità della tubazione in cm;
- B' coefficiente empirico di supporto elastico (adimensionale), dato dalla relazione

$$B' = \frac{1}{1 + 4e^{-0.213H}}$$

con H espresso in m;

- DN diametro esterno della tubazione;
- E_t modulo elastico del terreno di rinterro;
- E_m modulo elastico del materiale che costituisce il tubo;
- I momento d'inerzia del tubo.

L'espressione precedente mostra chiaramente come la pressione ammissibile di buckling sia condizionata in egual misura dall'indice di rigidezza della tubazione e dal modulo elastico del materiale di sottofondo e rinfiacco della tubazione.

$$\gamma_w h + \frac{R_w Q_{st}}{DN} + \frac{(P + Q_{dim})}{DN}$$

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 valutata mediante la relazione:

in cui:

- γ_w è il peso specifico dell'acqua;
- h indica l'altezza della falda valutata rispetto l'estradosso delle tubazione [m];
- Q_{st} il carico dovuto alla presenza del rinterro;
- P il carico verticale gravante sul tubo dovuto a carichi statici posti sulla superficie;
- Q_{dist} il carico verticale accidentale associato al traffico veicolare;

La verifica è positiva se risulta:

$$\gamma_w h + \frac{R_w Q_{st}}{DN} + \frac{(P + Q_{dist})}{DN} \leq q_a$$

Verifica delle sollecitazioni

Al fine di verificare che le tensioni nelle sezioni maggiormente sollecitate della tubazioni siano minori delle tensioni massime ammissibili del materiale occorre calcolare le tensioni specifiche che si manifestano nelle tre sezioni più significative: al vertice (chiave), sul fianco e al fondo.

La metodologia ipotizza che il comportamento statico della condotta sia riconducibile a quello di un anello elastico sottile e che la sezione sia completamente reagente.

Il calcolo dei momenti M e degli sforzi normali N è condotto nell'ipotesi che l'azione sui fianchi della condotta fosse distribuita secondo il classico trapezio di spinta.

I valori dei paramenti M (momento) ed N (sforzo normale) sono calcolati per le sezioni in chiave, sul fianco e sul fondo in funzione di varie aperture angolari dell'appoggio o sella d'appoggio ($2\alpha = 180^\circ, 120^\circ$ e 90°) mediante le relazioni riportate in tabella [Da Deppo – Fognature 2009]

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°	-0.186 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 $Q d$	-0.066 $Q d$	+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 $H_t d$

in cui:

- G_c indica il peso proprio del tubo calcolato secondo la relazione $G_c = \gamma_c \pi s D_m$ in cui si indica lo spessore della tubazione, D_m il diametro della fibra media e γ_c il peso specifico del materiale che costituisce il tubo;
- Q_a [kN/m] indica il peso dell'acqua contenuto all'interno del tubo nell'ipotesi di completo riempimento;
- Q indica il carico totale verticale dato dalla somma del carico associato al rinterro e dei carichi accidentali (veicoli + carichi statici distribuiti + carico idrostatico). Si rimanda a quanto contenuto in precedenza [kN/m];
- H_0 [kN/m] indica la reazione uniformemente distribuita data da $H_0 = \gamma_t \times H \times DN \times k_a$, in cui k_a è il coefficiente di spinta attiva; DN il diametro esterno del tubo; H l'altezza del terreno di rinterro valutata dall'estradosso della tubazione [m]; γ_t il peso specifico del terreno di rinterro.

- H_t indica la spinta orizzontale distribuita linearmente pari a $H_t = \gamma D^2 K_a / 2$

Noti i valori degli sforzi normali N e del momento flettente M per le tre sezioni indicate in precedenza, si procede al calcolo delle tensioni all'estradosso e all'intradosso della tubazione rispettivamente indicati con σ_e e σ_i mediante le relazioni:

$$\sigma_i = \frac{N}{s} - 6 \frac{M}{s^2}$$

$$\sigma_e = \frac{N}{s} + 6 \frac{M}{s^2}$$

con s che indica lo spessore della tubazione

Ai fini della verifica i valori così ottenuti sono da confrontare con quelli ammissibili per il materiale che costituisce la tubazione oggetto di verifica.

Calcolo reazione laterale del terreno

L'ovalizzazione del tubo indotta dai carichi che gravano su di esso è contrastata dal contenimento laterale fornito dal terreno. La pressione laterale uniformemente distribuita su una corda avente angolo al centro pari a 90° è calcolabile mediante la seguente relazione:

$$r_t = \frac{(q_{z_i} + \sigma_z + q_s + q_{idr}) c_r DN^4}{c_r DN^4 + 18.3 E_m s^3}$$

in cui:

- r_t indica la pressione laterale del terreno [kN/m²];
- q_{st} indica la pressione esercitata dal rinterro [kN/m²];
- σ_z indica la pressione associata al carico veicolare [kN/m²];

- q_s indica la pressione associata ai carichi statici distribuiti [kN/m²];
- q_{idr} indica la pressione idrostatica [kN/m²];
- c_r rappresenta il coefficiente di rigidità del terreno [N/cm³] pari a con H l'altezza del terreno valutata rispetto all'estradosso del tubo [m] mentre f_c esprime il fattore di compattazione del terreno i cui valori sono riportati nella tabella successiva in funzione di diversi gradi di compattazione;
- DN indica il diametro esterno del tubo [mm];
- E_m indica il modulo di elasticità del materiale a lungo termine [kN/m²];
- s indica lo spessore del tubo [m].

La forza di reazione laterale R_t è data dalla relazione:

$$R_t = \frac{\sqrt{2}}{2} r_t DN$$

In cui:

- R_t indica la forza laterale del terreno [kN/m];
- r_t indica la pressione laterale del terreno [kN/m²];
- DN è il diametro esterno della tubazione [m].

Fattore di compattazione del terreno

Nella tabella seguente si mostrano i valori del parametro f_c in funzione di diversi gradi di compattazione del terreno di rinfiacco.

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

Verifica statica tubazioni rigide

La verifica statica delle tubazioni rigide (calcestruzzo armato) è stata eseguita utilizzando il metodo diretto.

$$K_r / Q_s > \eta$$

in cui:

- K_r è il carico di rottura in trincea ($K_r = F_n \times E_z$);
- E_z = coefficiente di posa che dipende dalla rigidezza del piano di posa;
- F_n = carico di rottura per schiacciamento della tubazione, ottenuto come prodotto fra la classe di resistenza della tubazione e il diametro esterno della stessa.
- Q_s = sommatoria sei carichi esterni:

$$Q_s = (q_{st} + q_{dn} + p_s + q_{idr} + q_a)$$

con:

q_{st} = carico statico del rinterro

q_{dn} = carico dinamico

p_s = sovraccarico statico

q_{idr} = sovraccarico idrostatico

q_a = carico del fluido trasportato

- η = coefficiente di sicurezza $> 1,5$

Schema trincea adottato

