

INDICE

1 -	Premessa.....	2
2 -	Verifica statica di tubazioni “rigide”	3
2.1 -	Calcolo del carico dovuto al rinterro	3
2.2 -	Peso dell'acqua contenuta nel tubo.....	5
2.3 -	Carico idrostatico della falda	5
2.4 -	Calcolo del carico dovuto ai sovraccarichi mobili	5
2.5 -	Coefficienti di posa	7
2.6 -	Risultati dei calcoli sulle tubazioni “rigide”	8
3 -	Verifica statica di tubazioni “flessibili”	12
3.1 -	Calcolo del carico dovuto al rinterro	12
3.2 -	Calcolo del carico dovuto ai sovraccarichi mobili	12
3.3 -	Calcolo e verifica dell’inflessione diametrale	12
3.4 -	Calcolo e verifica della sollecitazione massima di flessione.....	14
3.5 -	Verifica all’instabilità all’equilibrio elastico	15
3.6 -	Risultati dei calcoli sulle tubazioni “flessibili”	16

VERIFICA STATICA DELLE TUBAZIONI

1 - Premessa

Gli sforzi a cui è soggetta una tubazione interrata non sono facilmente quantificabili. Le principali componenti che determinano il carico sul condotto sono il riempimento di terreno ed eventuali sovraccarichi accidentali, siano essi statici o dinamici.

Questi due fattori preponderanti sono collegati e dipendenti da una serie di variabili che concorrono a definire il carico finale sulla tubazione.

Queste sono: profondità di posa, tipo di terreno, profilo della sezione di scavo, stato di costipamento del suolo, presenza di acqua di falda.

Altro fattore fondamentale per verificare il comportamento di una tubazione interrata è il suo comportamento statico, che dipende dalla tipologia di materiale con cui è fatto il tubo; la metodologia di calcolo, infatti, cambia a seconda che il comportamento del materiale nelle condizioni di posa in cui si trova il tubo è di tipo “rigido” o “flessibile”.

Le tubazioni in gres ceramico ed in cemento armato, dal punto di vista statico, hanno un comportamento di tipo “rigido”.

Per questo tipo di tubazioni, la verifica statica viene effettuata confrontando il carico reale che tali condotte devono sopportare, con il carico di rottura determinato dalle prove sui materiali.

I tubi in PVC e altri materiali plastici (PE, PP, PRFV), invece, devono essere considerati “flessibili”.

Questo tipo di condotti tendono ad ovalizzarsi sotto l'effetto dei carichi sovrastanti, pertanto, per essi, è necessario un'attenzione particolare alla tipologia di posa scelta; la caratteristica di flessibilità di detti tubi richiede, infatti, conseguentemente una rigidità particolarmente elevata per il terreno che circonda i tubi stessi.

Nel caso in esame, il progetto prevede:

- tubazioni in Grès posate con sottofondo e rinfiando in ghiaietto TIPO 2;
- tubazioni in C.A. con sottofondo in cls magro TIPO 1 e 2;
- tubazioni in PVC con sottofondo e rinfiando completo in ghiaietto TIPO 2;

- tubazioni in PE corrugato con sottofondo e rinfiacco completo in ghiaietto TIPO 1;

Sono quindi state applicate entrambe le metodologie di calcolo qui di seguito riassunte.

La presente relazione è, quindi, relativa ai soli tratti di tubazione posati con tecnica di scavo “a cielo aperto”, il tratto in c.a. prefabbricato, da realizzare con la tecnica dello spingitubo sottopassante la linea ferroviaria, dovrà essere realizzato con tubazioni in grado di rispondere ai requisiti statici richiesti dalla vigente normativa in materia di attraversamenti ferroviari.

2 - Verifica statica di tubazioni “rigide”

La procedura che è stata utilizzata e che verrà di seguito descritta è quella di K. Imhoff e K.R. Imhoff riportata sul "Manuale di trattamento delle acque di scarico".

La verifica statica avviene definendo il grado di sicurezza rispetto allo schiacciamento, misurato dal rapporto:

$$\mu = \frac{Q_r}{Q_t} = \frac{E_z Q}{Q_t}$$

dove:

Q_t = risultante dei carichi esterni (terreno, carichi mobili, falda, acqua nel tubo),

$Q_r = E_z Q$ carico a rottura della tubazione nelle condizioni reali di posa,

Q = carico a rottura della tubazione ottenuto in laboratorio,

E_z = coefficiente di posa (dipendente dalla tipologia e dal materiale di rinfiacco e sottofondo).

Affinché la verifica statica si possa definire soddisfatta dovrà verificarsi:

$$\mu \geq 1.5$$

2.1 - Calcolo del carico dovuto al rinterro

Nell'ambito della determinazione del carico permanente che sollecita una condotta interrata risulta fondamentale definire la tipologia di trincea nella quale la tubazione viene posata.

La norma UNI 7517 considera che una condotta sia posata in trincea stretta quando sia soddisfatta una delle

seguenti condizioni:

$$B \leq D \quad \text{con } H \geq 1.5 B$$

$$2D \leq B \leq 3D \quad \text{con } H \geq 3.5 B$$

dove:

B è la larghezza della trincea

D è il diametro esterno della condotta

H è l'altezza della trincea rispetto all'estradosso della condotta

In caso di trincea stretta, il peso Q_{st} del rinterro gravante sul cielo della condotta risulta inferiore a quello corrispondente al suo volume grazie all'azione che l'attrito svolge nel contatto tra il terreno esistente ed il rinterro.

L'espressione utilizzata per il calcolo è la seguente:

$$Q_{st} = C_t \gamma_t B^2$$

Dove:

γ_t è il peso specifico del terreno

C_t è il coefficiente di carico del terreno per trincea stretta e vale:

$$C_t = \frac{1 - e^{-2K \left(\frac{H}{B} \right) \tan \rho'}}{2K \tan \rho'}$$

dove:

ρ' è l'angolo d'attrito tra rinterro e terreno (normalmente posto pari all'angolo di del terreno indisturbato ρ)

$$K \text{ vale: } \left(\tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2} \right) \right)^2$$

Se il valore di Q_{st} così calcolato dovesse risultare inferiore al peso del prisma di terreno sovrastante ($\gamma_t DB$) si

assume $Q_{st} = \gamma_t DB$

In caso di trincea larga, invece, il carico del rinterro è valutato mediante la relazione:

$$Q_{ewt} = C_e \gamma_t D^2$$

dove $C_e = 0.1 + 1.68 \frac{H}{D}$ per $H/D > 2.66$

$$C_e = 0.1 + 0.85 \frac{H}{D} + 0.33 \left(\frac{H}{D} \right)^2 \text{ per } H/D < 2.66$$

2.2 - Peso dell'acqua contenuta nel tubo

Si considera il peso dell'acqua che occupa la sezione con un grado di riempimento pari al 75%.

Il carico Q_a vale:

$$Q_a = 6.20 d^2$$

dove d è il diametro interno della condotta.

2.3 - Carico idrostatico della falda

Qualora si fosse in presenza di falda la spinta idrostatica dell'acqua di falda viene determinata come segue:

$$Q_w = \gamma_{acqua} \left(Z - H + \frac{D}{2} \right) D$$

dove:

Z è la profondità della falda rispetto al terreno

H è l'altezza del rinterro

D il diametro esterno della tubazione

γ_{acqua} è il peso specifico dell'acqua.

2.4 - Calcolo del carico dovuto ai sovraccarichi mobili

Per la valutazione delle azioni che i sovraccarichi verticali dovuti al passaggio dei veicoli trasmettono alla condotta,

si è fatto riferimento alla Norma DIN 1072 dove i convogli sono rappresentati da due tipi di autocarro: pesante (HT) leggero (LT).

Nella tabella seguente si illustrano le caratteristiche dei veicoli considerati.

Classe HT	Carico per ruota P [KN]	Classe LT	Carico per ruota [KN]	
			Anteriore Pa	Posteriore Pp
60	100	12	20	40
45	75	6	10	20
38	62.5	3	5	10
30	50			
26	65			

Il carico unitario σ_z trasmesso alla profondità H può essere determinato tramite le relazioni:

$$\text{Convoglio HT } \sigma_z = 0.5281 \frac{P}{H^{1.0461}}$$

$$\text{Convoglio LT } \sigma_z = 0.8743 \frac{Pa}{H^{1.5194}}$$

I valori di σ_z calcolati si incrementano, per carichi dinamici, con un coefficiente φ che assume i seguenti valori:

$\varphi = 1$ carico statico

$\varphi = 1+0.3/H$ per strade e autostrade

$\varphi = 1+0.6/H$ per ferrovie

Il carico P_v che sollecita una condotta di diametro D alla profondità H si determina con la relazione:

$$Wl = \sigma_z D \varphi$$

Per la circolazione su strade carrarecce la normativa UNI 7517 propone di valutare separatamente i carichi dovuti al transito del convoglio denominato LT6 (massa 6t; due assi; sovraccarico ruota anteriore 1000 Kgf; sovraccarico ruota posteriore 2000 Kgf) ed al transito di un mezzo cingolato caratterizzato da un sovraccarico mobile distribuito p_d pari a 49050 N/m² e orma 0.45 x 2.15 m² e si assume il maggiore dei due.

Per il convoglio cingolato la normativa citata propone di calcolare l'effetto del sovraccarico mobile distribuito tramite la seguente espressione:

$$W/1 = C_d p_d D \phi$$

dove:

$W/1$ è il carico verticale sulla generatrice del tubo [N/m];

C_d è il coefficiente di sovraccarico mobile funzione delle dimensioni AL dell'orma e dell'altezza H del rinterro, che può essere stimato tramite l'espressione $C_d = 0.215H^{-1.489}$

p_d è il sovraccarico mobile distribuito [N/m²]

ϕ è il fattore dinamico calcolato tramite le seguenti formule:

$$\phi = 1 + 0.3 / H \quad \text{per strade ed autostrade}$$

$$\phi = 1 + 0.6 / H \quad \text{per ferrovie}$$

Per il convoglio LT6 la normativa citata propone di calcolare l'effetto del sovraccarico mobile concentrato tramite la seguente espressione:

$$W/2 = p_v D \phi$$

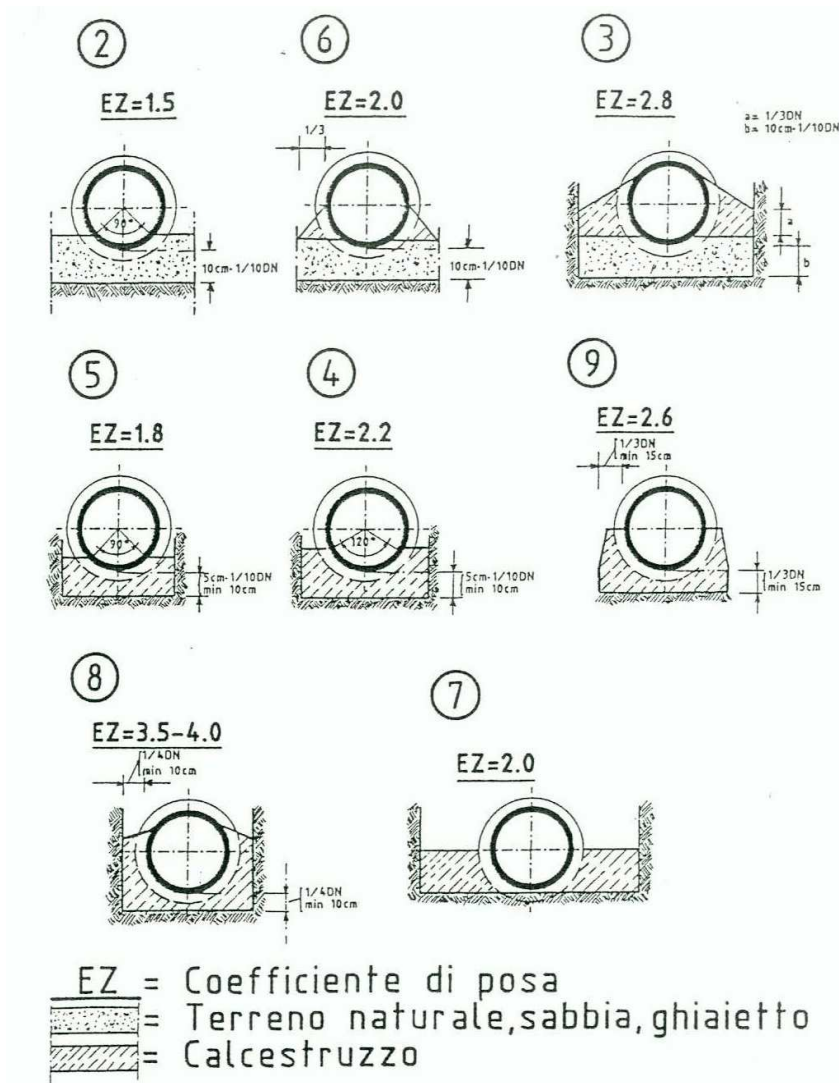
dove:

p_v è il sovraccarico mobile concentrato [N/m²] valutato tramite la formula $p_v = 10700H^{-1.518}$

2.5 - Coefficienti di posa

L'influenza del tipo di posa della condotta sulle modalità di distribuzione dei carichi é valutato mediante un coefficiente chiamato "coefficiente di posa" E_z che rappresenta il rapporto tra il sovraccarico reale che agisce sul tubo ed il sovraccarico sulla generatrice superiore del tubo determinato in fase di collaudo.

Il coefficiente di posa si determina dalla figura riportata di seguito.



2.6 - Risultati dei calcoli sulle tubazioni "rigide"

Le tabelle che seguono riportano i risultati di verifica del calcolo statico relativo ogni tratto di tubazione "rigida".

Analisi dei carichi statici

Tratto	CALCOLO DEL CARICO DOVUTO AL RINTERRO																		PESO DELL'ACQUA NEL TUBO		CARICO IDROSTATICO DELLA FALDA		
											TRINCEA STRETTA				TRINCEA LARGA								
	γ_t [KN/m³]	B [m]	D [m]	H [m]	s [m]	ρ [gradi]	ρ [rad]	ρ' [gradi]	ρ' [rad]	TIPOLOGIA TRINCEA	K	C _t	Qst1 [KN/m]	Qst2 [KN/m]	Qst [KN/m]	H/D	Ce	Qewt [KN/m]	d [m]	Qa [KN/m]	Z [m]	γ_{acqua} [KN/m³]	Qw [KN/m]
SF01_1-R01	19	2.20	1.24	0.28	0.120	15	0.262	15	0.262	trincea larga	0.589	0.123	0.00	0.00	0.00	0.22	0.31	8.93	1	6.20	20	9.81	0.00
P03-P04	19	2.20	1.24	1.87	0.120	15	0.262	15	0.262	trincea larga	0.589	0.746	0.00	0.00	0.00	1.51	2.13	62.30	1	6.20	20	9.81	0.00
P04-SF01	19	2.20	1.24	0.58	0.120	15	0.262	15	0.262	trincea larga	0.589	0.253	0.00	0.00	0.00	0.47	0.57	16.65	1	6.20	20	9.81	0.00
P01-P30	19	1.70	0.74	2.48	0.070	15	0.262	15	0.262	trincea larga	0.589	1.168	0.00	0.00	0.00	3.35	5.72	59.55	0.6	2.23	20	9.81	0.00
P30-P02	19	1.70	0.74	2.71	0.070	15	0.262	15	0.262	trincea larga	0.589	1.251	0.00	0.00	0.00	3.66	6.24	64.96	0.6	2.23	20	9.81	0.00
P34-P03	19	1.30	0.376	2.84	0.038	15	0.262	15	0.262	trincea larga	0.589	1.579	0.00	0.00	0.00	7.56	12.79	34.37	0.3	0.56	20	9.81	0.00

Analisi dei carichi dinamici

	SOVRACCARICHI VERTICALI MOBILI											
		Calcolo del sovraccarico mobile su strada asfaltata				Calcolo del sovraccarico mobile su strade carrarecce						
		CONVOGLIO HT				(max tra il carico di un convoglio LT6 ed un mezzo cingolato)						
Tratto	Strada asfaltata	P [KN]	ϕ	σ_z [kN/m ²]	WI [N/cm]	Cd	pd [N/m ²]	ϕ	WI1 [kN/m]	pv [N/m ²]	WI2 [kN/m]	WI [N/cm]
SF01_1-R01	no	100.00	2.09	203.04	0.00	1.46	49050	2.09	185.6	75523.8	195.4	195.4
P03-P04	no	100.00	1.16	27.44	0.00	0.08	49050	1.16	6.0	4137.4	6.0	6.0
P04-SF01	no	100.00	1.52	93.37	0.00	0.48	49050	1.52	44.6	24462.5	46.0	46.0
P01-P30	si	100.00	1.12	20.45	16.96	0.06	49050	1.12	0.0	2700.3	0.0	0.0
P30-P02	si	100.00	1.11	18.64	15.32	0.05	49050	1.11	0.0	2361.1	0.0	0.0
P34-P03	no	100.00	1.11	17.71	0.00	0.05	49050	1.11	0.9	2192.9	0.9	0.9

VERIFICA STATICA DELLA TUBAZIONE							
Tratto	Carico di rottura di laboratorio Q [kN/m]	Coefficiente di posa Ez	Carico di rottura in trincea Qr [kN/m]	Carico Totale Qt [kN/m]	Coefficiente di sicurezza μ	Coefficiente di sicurezza minimo μ_{min}	VERIFICA
SF01_1-R01	137	1.8	246.6	15.13	16.30	1.5	POSITIVA
P03-P04	137	1.8	246.6	68.50	3.60	1.5	POSITIVA
P04-SF01	137	1.8	246.6	22.85	10.79	1.5	POSITIVA
P01-P30	80	1.8	144	78.74	1.83	1.5	POSITIVA
P30-P02	80	1.8	144	82.51	1.75	1.5	POSITIVA
P34-P03	72	1.8	129.6	34.92	3.71	1.5	POSITIVA

3 - Verifica statica di tubazioni “flessibili”

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.

Le verifiche vengono effettuate considerando le caratteristiche di resistenza a lungo termine dei materiali utilizzati; è noto infatti che i materiali plastici vanno incontro ad un decadimento nel tempo delle loro caratteristiche meccaniche.

Le operazioni da effettuarsi nell'ambito della verifica statica delle tubazioni flessibili sono le seguenti:

- valutazione e verifica dell'inflessione diametrale a lungo termine
- valutazione e verifica della massima sollecitazione a flessione della sezione trasversale
- valutazione e verifica del carico critico di collasso

3.1 - Calcolo del carico dovuto al rinterro

Per tubazioni flessibili la letteratura tecnica suggerisce di calcolare il peso del terreno secondo la seguente formula:

$$Q_{st} = \gamma_t D H$$

dove:

γ_t è il peso specifico del terreno,

D è il diametro esterno della condotta,

H è l'altezza della trincea rispetto all'estradosso della condotta

3.2 - Calcolo del carico dovuto ai sovraccarichi mobili

I sovraccarichi verticali dovuti al passaggio dei veicoli vengono calcolati come descritto per le tubazioni rigide.

3.3 - Calcolo e verifica dell'inflessione diametrale

L'inflessione massima anticipata nella tubazione, con il 95% di probabilità, è fornita dalla seguente espressione:

$$\Delta y = \frac{(D_e W_c + W_l) K_x r^3}{E_t I + 0.061 K_a E_s r^3} + \Delta a$$

dove:

Δy è l'inflessione diametrale del tubo [cm]

D_e è il fattore di ritardo d'inflessione

W_c è il carico verticale del suolo per unità di lunghezza [N/cm]

W_l è il carico mobile sul tubo per unità di lunghezza [N/cm]

K_x è il coefficiente di inflessione che dipende dalla capacità di sostegno fornita dal suolo all'arco d'appoggio del tubo

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

E_t modulo elastico della tubazione [N/cm²]

I momento d'inerzia della tubazione [cm³]

E/I è il fattore di rigidità trasversale della tubazione [N*cm]

E_s è il modulo elastico del terreno [N/cm²]

K_a , Δa sono parametri che permettono di passare dall'inflessione media (50% di probabilità) all'inflessione massima caratteristica (frattile di ordine 0,95 della distribuzione statica dell'inflessione).

Tabella 1 - 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	1.5

Tabella 2- Coefficiente d'inflessione K_x

TIPO D'INSTALLAZIONE	ANGOLO EQUIVAL. DI LETTO [GRADI]	COEFF. 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	180	0.083

Proctor \geq 70%)		
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

Tabella 3- Valori dei parametri K_a e Δa

ALTEZZA H DEL RINTERRO [m]	Δa	K_a
H<4.9m	0	0.75
H>4.9m e materiale scaricato alla rinfusa e con leggero grado di costipamento	0.02D	1.0
H>4.9m e materiale con moderato grado di costipamento	0.01D	1.0
H>4.9m e materiale con elevato grado di costipamento	0.005D	1.0

Per tubazioni in PEad ed in PVC l'inflessione diametrale a lungo termine non deve superare il 5% del diametro iniziale della condotta.

3.4 - Calcolo e 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 tramite un fattore di sicurezza.

In particolare dovrà risultare:

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

dove:

σ è la tensione dovuta alla deflessione diametrale [N/cm²];

σ_{lim} è la tensione limite ultima

D_f è un fattore di forma i cui valori sono stati parametrizzati in funzione dell'indice di rigidezza SN ($SN = \frac{E_t I}{D_m^3}$

dove D_m rappresenta il diametro medio della condotta) della tubazione e delle caratteristiche geotecniche del rinterro;

è un coefficiente di sicurezza, pari a 1.5;

Tabella 4- Fattore di forma D_f

INDICE DI RIGIDEZZA DELLA TUBAZIONE SN [N/m²]	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

3.5 - Verifica all'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 ovalizzazione (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:

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

Per quanto riguarda le tubazioni interrate, la sollecitazione che determina l'instabilità elastica è legata, oltre alle caratteristiche meccaniche della tubazione, anche al modulo elastico E_s del suolo che circonda la tubazione.

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

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

dove:

q_a è la pressione ammissibile di buckling [N/cm²]

FS è il fattore di progettazione, pari a 2.5

R_w è il fattore di spinta idrodinamica della falda eventualmente presente

$$R_w = 1 - 0.33(H_w / H) \quad \text{con } 0 \leq H_w \leq H$$

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]

Nel caso in cui la verifica inerente all'inflessione diametrale fornisca valori prossimi al limite massimo accettabile si dovrà utilizzare un fattore di progettazione $FS=3$ in luogo di 2.5.

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

In particolare dovrà risultare:

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

L'inflessione diametrale, le sollecitazioni e la pressione massima ammissibile di buckling in una tubazione flessibile interrata dipendono in maniera determinante dal modulo di elasticità del suolo e quindi dal tipo di terreno utilizzato per letto di posa ed il rinfianco della tubazione e dal grado di costipamento.

3.6 - Risultati dei calcoli sulle tubazioni "flessibili"

Le tabelle che seguono riportano i risultati di verifica del calcolo statico relativo ogni tratto di tubazione "flessibile".

Analisi dei carichi

	CARICO DOVUTO AL RINTERRO				SOVRACCARICHI VERTICALI MOBILI											
						Calcolo del sovraccarico mobile su strada asfaltata				Calcolo del sovraccarico mobile su strade carrarecce (il massimo tra il carico dovuto al transito di un convoglio Lt6 ed un mezzo cingolato)						
Tratto	γ_t [KN/m ³]	H [m]	D [m]	Qst [N/cm]	Strada asfaltata	P [KN]	ϕ	σ_z [kN/m ²]	WI [N/cm]	Cd	pd [N/m ²]	ϕ	WI1 [N/cm]	pv [N/m ²]	WI2 [N/cm]	WI [N/cm]
ALL01-P31	19	0.65	0.2	24.7	si	100.00	1.46	82.76	241.8	0.41	49050	1.46	0.0	20533.8	0.0	0.0
P31-P32	19	0.65	0.2	24.7	si	100.00	1.46	82.76	241.8	0.41	49050	1.46	0.0	20533.8	0.0	0.0
P32-P01	19	2.40	0.2	91.3	si	100.00	1.12	21.12	47.5	0.06	49050	1.12	0.0	2829.4	0.0	0.0
P29-P30	19	1.30	0.2	49.5	si	100.00	1.23	40.07	98.6	0.15	49050	1.23	0.0	7168.9	0.0	0.0
SF01_3-P33	19	1.37	0.2	51.9	si	100.00	1.22	38.11	93.0	0.14	49050	1.22	0.0	6665.3	0.0	0.0
P33-C13	19	2.36	0.2	89.6	si	100.00	1.13	21.54	48.6	0.06	49050	1.13	0.0	2911.9	0.0	0.0
C11-P02	19	1.03	1.2	234.0	si	100.00	1.29	51.38	796.8	0.21	49050	1.29	0.0	10283.5	0.0	0.0

Verifica all'inflessione diametrale

	VERIFICA STATICA DELLA TUBAZIONE																	
	CALCOLO INFLESSIONE DIAMETRALE																	
Tratto	De	Qst [N/cm]	Wl [N/cm]	Kx	D [cm]	s [cm]	r [cm]	SN [KN/m ²]	Et [N/cm ²]	I [cm ³]	Et*I [N*cm]	Es [N/cm ²]	Ka	Δa [cm]	Δy [cm]	Δy/D	Δy/D lim	VERIFICA
ALL01-P31	2	24.73	241.80	0.083	20	0.6	9.71	8	34182	0.017	585.0	1380	0.75	0.0	0.38	1.90%	5.00%	POSITIVA
P31-P32	2	24.73	241.80	0.083	20	0.6	9.71	8	34182	0.017	585.0	1380	0.75	0.0	0.38	1.90%	5.00%	POSITIVA
P32-P01	2	91.27	47.51	0.083	20	0.6	9.71	8	34182	0.017	585.0	1380	0.75	0.0	0.30	1.50%	5.00%	POSITIVA
P29-P30	2	49.47	98.62	0.083	20	0.6	9.71	8	34182	0.017	585.0	1380	0.75	0.0	0.26	1.29%	5.00%	POSITIVA
SF01_3-P33	2	51.90	92.96	0.083	20	0.6	9.71	8	34182	0.017	585.0	1380	0.75	0.0	0.26	1.28%	5.00%	POSITIVA
P33-C13	2	89.56	48.56	0.083	20	0.6	9.71	8	34182	0.017	585.0	1380	0.75	0.0	0.30	1.48%	5.00%	POSITIVA
C11-P02	2	234.04	796.83	0.083	120	8.7	55.68	4	1024	53.935	55224.4	1380	0.75	0.0	1.65	1.38%	5.00%	POSITIVA

Verifica all'instabilità e della sollecitazione di massima flessione

	VERIFICA STATICA DELLA TUBAZIONE													
	VERIFICA ALL'INSTABILITA' ELASTICA								CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE MASSIMA DI FLESSIONE					
Tratto	FS	Rw	H [cm]	B'	Hw [cm]	qa [N/cm ²]	Ris [N/cm ²]	VERIFICA	Df	σ [N/cm ²]	σ lim [N/cm ²]	μ calcolato	μ min	VERIFICA
ALL01-P31	2.5	1.00	65.1	1.00	0.00	22.73	13.33	POSITIVA	3.8	72.6	2000	27.54	1.5	POSITIVA
P31-P32	2.5	1.00	65.1	1.00	0.00	22.73	13.33	POSITIVA	3.8	72.6	2000	27.54	1.5	POSITIVA
P32-P01	2.5	1.00	240.2	1.00	0.00	22.73	6.94	POSITIVA	3.8	57.4	2000	34.87	1.5	POSITIVA
P29-P30	2.5	1.00	130.2	1.00	0.00	22.73	7.40	POSITIVA	3.8	49.3	2000	40.60	1.5	POSITIVA
SF01_3-P33	2.5	1.00	136.6	1.00	0.00	22.73	7.24	POSITIVA	3.8	49.1	2000	40.76	1.5	POSITIVA
P33-C13	2.5	1.00	235.7	1.00	0.00	22.73	6.91	POSITIVA	3.8	56.8	2000	35.23	1.5	POSITIVA
C11-P02	2.5	1.00	102.7	1.00	0.00	15.03	8.59	POSITIVA	3.8	3.9	2000	517.20	1.5	POSITIVA