

GIORNATA DI FORMAZIONE
12 Maggio 2022

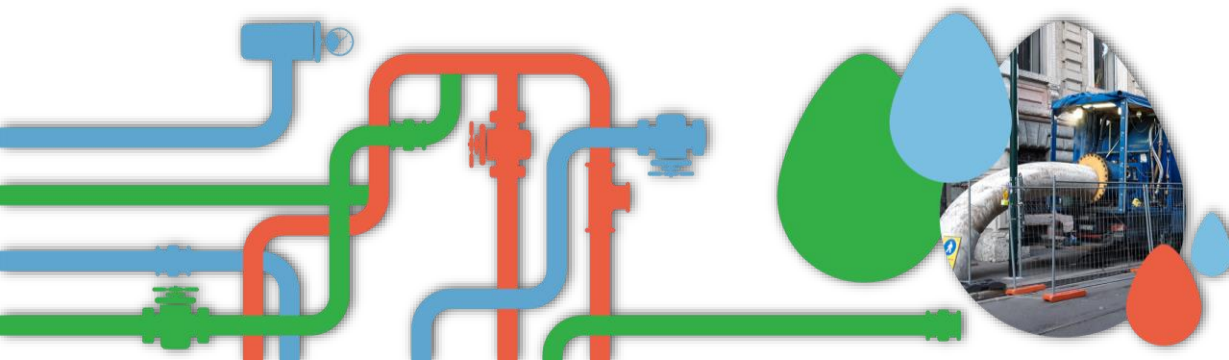


MANUTENZIONI DI CONDOTTE INTERRATE E POZZI D'ACQUA:

**Soluzioni di intervento a basso impatto ambientale
per il mantenimento della piena efficienza idraulica e strutturale**
Quadro normativo, progettazione, case history, vantaggi

**Classificazione delle condotte
e calcoli statici secondo le procedure
e le normative in vigore**

Prof. Ing. Stefano Mambretti, PhD



**POLITECNICO
MILANO 1863**

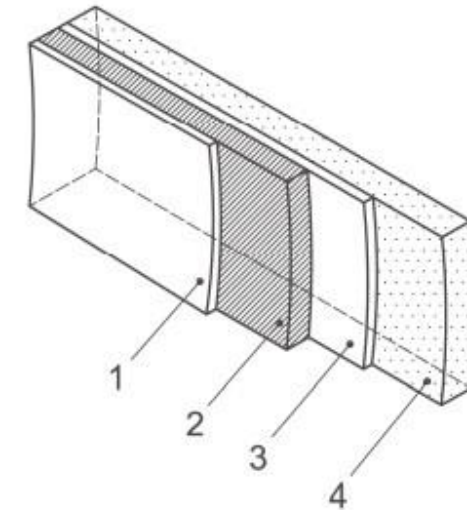
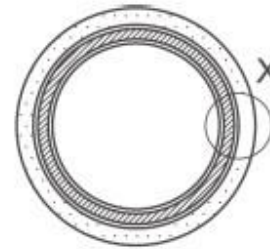
DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

I condotti devono comprendere almeno i seguenti materiali:

- ❑ Sistema di resine
- ❑ Materiale di supporto

Possono essere presenti anche i seguenti materiali opzionali:

- ❑ Rinforzo
- ❑ Membrana interna
- ❑ Membrana esterna



(1): membrana interna; (2): composto (resina + materiale di supporto + eventuale rinforzo); (3): membrana esterna; (4): condotta preesistente

Carichi da considerare secondo UNI 11295

Forze interne ai condotti.

- Pressioni di progetto
- Pressioni di collaudo e verifica
- Pressioni che si possono avere nei transitori
- Carichi termici

Si deve tenere conto del fatto che anche per condotti normalmente non in pressione, come possono essere quelli fognari, occorre comunque valutare la possibilità di sovraccarico.



Forze esterne ai condotti.

- ❑ Carichi trasferiti dal terreno, tra i quali quelli del traffico sovrastante
- ❑ Movimenti del terreno, azione del gelo, azioni sismiche
- ❑ Carichi puntuali dovuti ad irregolarità, anche del condotto stesso
- ❑ Carichi termici dovuti all'ambiente
- ❑ Pressione delle acque di falda

Fase transitoria, di preparazione del condotto:

- ❑ Forze per la preparazione del condotto
- ❑ Forze necessarie all'inserimento
- ❑ Forze necessarie all'inversione (se applicabile)
- ❑ Forze necessarie al riempimento
- ❑ Effetti residui delle forze precedenti che rimangono permanentemente

Classificazione strutturale

UNI EN ISO 11295:2010

Caratteristiche del liner	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Resiste a collassi del tubo ospite	√	–	–	–
Pressione di resistenza a lungo termine \geq massima pressione ammessa	√	–	–	–
Rigidezza anulare intrinseca ^a	√	√	– ^b	– ^b
Resistenza a lungo termine del ricoprimento delle aperture, alla massima pressione ammessa	√	√ ^c	√	–
Fornisce un livello di barriera interno ^d	√	√	√	√

^a La richiesta minima è che il liner risulti autoportante quando il condotto non è in pressione.

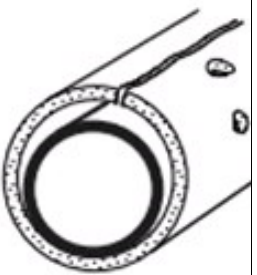

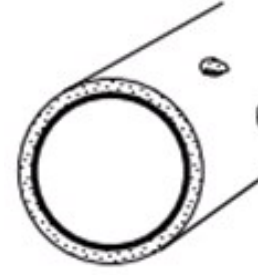
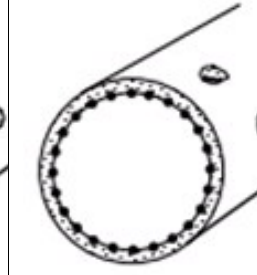
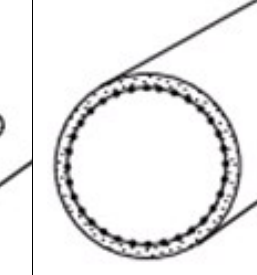
^b Il liner si affida all'adesione al tubo ospite per essere autoportante quando il condotto non è in pressione.

^c Il liner è sufficientemente vicino al tubo ospite per trasferirgli radialmente gli sforzi interni, sia durante l'installazione, sia nel primo periodo dell'applicazione della pressione di esercizio.

^d Il liner serve come barriera contro la corrosione, abrasione del tubo ospite e dalla eventuale contaminazione del fluido per possibili rilasci del tubo ospite; in genere, riduce anche la scabrezza del condotto esistente.

Un liner in classe A è in grado di resistere ai carichi imposti indipendentemente dal condotto nel quale è inserito.

Liner in classe B o C collaborano con il condotto esistente.

Classe A		Classe B		Classe C		Classe D					
											
Non aderente		Aderente		Rigidezza anulare intrinseca		Si affida all'adesione		Si affida all'adesione			
Indipendente				Collaborante							
Completamente strutturale				Semi strutturale				Non strutturale			
Lining con condotti continui								Tecniche non comprese nello scopo della norma.			
		Lining con condotti close-fit									
		Lining con CIPP									
						Lining con condotti aderenti					

Calcoli statici

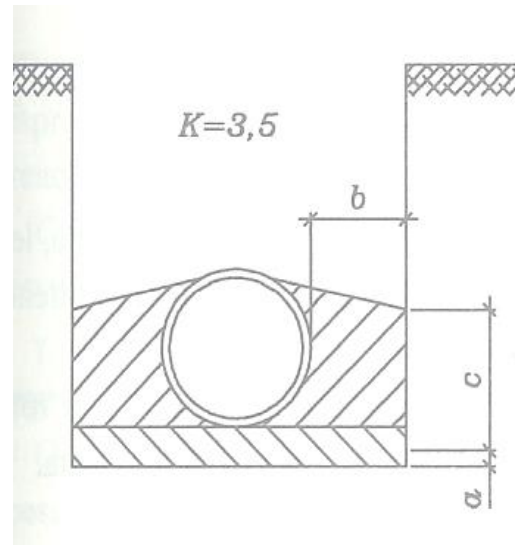


- ❑ Metodi tradizionali di calcolo per un condotto interrato
- ❑ Linea guida DWA M 144-3 (per condotti non in pressione)
- ❑ Linea guida ASTM 1216:2009
- ❑ Norma UNI 11681:2017
- ❑ Metodi agli elementi finiti

Il calcolo è effettuato considerando l'effetto di tutti i carichi agenti Q_T e confrontandolo con il carico ammissibile Q , tenendo conto del coefficiente di posa K ed il coefficiente di sicurezza N .

$$Q_T \leq \frac{Q \cdot K}{N}$$

In questo caso il coefficiente di posa può essere considerato molto alto, a causa della presenza del condotto originario.



Tipo 5

Appoggio in calcestruzzo con rinfiacco in calcestruzzo.

$$a = \frac{1}{4} D \text{ (min. } 0,10 \text{ m)}$$

$$b = \frac{1}{4} D \text{ (min. } 0,10 \text{ m)}$$

$$c \geq \frac{3}{4} D$$

Linea guida DWA M 144-3

Gruppo	Valori a lungo termine ¹⁾	
	Modulo di elasticità, rilevato secondo DIN EN 1228 in N/mm ²	Carico di flessione in N/mm ²
Liner in fibre sintetiche		
1	1000	23
2	1500	31
3	1400	14
4	1400	16
5	1400	18
6	1500	17
7	1500	18
Liner rinforzati con fibre di vetro		
8	3500	75
9	4000	80
10	4500	85
11	5000	90
12	5500	95
13	6000	100
14	6500	105
15	7000	110
16	7500	115
17	8000	120
18	8500	125
19	9000	130
20	9500	135

NOTE

1) Modulo di elasticità a lungo termine della prova a pressione massima, estrapolato per un periodo di 50 anni e prova di carico di flessione a lungo termine secondo scheda tecnica ATV-M 127-2.

2) Il rapporto di contrazione trasversale per tutti i materiali è $\mu = 0,35$

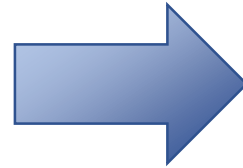


Tabella C.3: Gruppo di riconoscimento dei materiali 3 (scheda tecnica DWA-M 144-3, tabella 2)

Stato del vecchio tubo II:

Sistema nel suolo del vecchio tubo autoportante (con assetamento laterale accertato) Pressione esterna dell'acqua p_a (min. 1,50 m sopra al livello del tubo).

Deformazione localizzata: 2 % di r_L (valore min. secondo ATV-M 127-2); 0,8% per profili ovali

Ovalizzazione: 3 % di r_L (valore min. secondo ATV-M 127-2)

Fessura anulare: 0,5 % di r_L (valore min. secondo ATV-M 127-2)

Diametro equivalente per profili ovali: $0,6 \times H$

Spessori del composito e_m [mm]


Diametro nominale	Livello della falda acquifera sopra al livello del tubo							
	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m
DN 150	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1
DN 200	3,0	3,0	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1
DN 250	3,1	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7	4,9	5,1
DN 300	3,7	4,1	4,6	4,9	5,3	5,6	5,9	6,1
DN 350	4,3	4,8	5,3	5,7	6,1	6,5	6,8	7,2
DN 400	4,9	5,5	6,0	6,5	7,0	7,4	7,8	8,2
DN 450	5,4	6,2	6,8	7,4	7,9	8,3	8,8	9,2
DN 500	6,0	6,9	7,5	8,2	8,7	9,3	9,7	10,2
DN 600	7,2	8,2	9,0	9,8	10,5	11,1	11,7	12,2
DN 700	8,4	9,6	10,5	11,4	12,2	12,9	13,6	14,2
DN 800	9,6	10,9	12,0	13,0	13,9	14,8	15,5	16,3
DN 900	10,8	12,2	13,5	14,6	15,7	16,6	17,5	18,3
DN 1000	12,0	13,6	15,0	16,2	17,4	18,4	19,4	20,3
DN 1100	13,1	14,9	16,5	17,8	19,1	20,3	21,3	22,3
DN 1200	14,3	16,3	17,9	19,4	20,9	22,1	23,3	24,4
Ovale 200/300	4,5	5,1	5,5	5,9	6,3	6,7	7,0	7,3
Ovale 250/375	5,6	6,3	6,9	7,4	7,9	8,3	8,8	9,1
Ovale 300/450	6,6	7,5	8,2	8,8	9,4	10,0	10,5	10,9
Ovale 350/525	7,7	8,7	9,5	10,3	10,9	11,6	12,2	12,7
Ovale 400/600	8,7	9,8	10,8	11,7	12,4	13,2	13,9	14,5
Ovale 500/750	10,7	12,2	13,4	14,5	15,5	16,4	17,2	18,1
Ovale 600/900	12,6	14,4	15,9	17,2	18,4	19,5	20,6	21,6
Ovale 700/1050	14,4	16,6	18,4	19,9	21,3	22,6	23,9	25,0

Sono riportate **sette formule speditive** per il calcolo dello spessore del liner, delle quali quattro per le condotte a gravità e tre per le condotte in pressione. In generale si **consiglia** un valore minimo di SDR (*Standard Dimension Ratio*) pari a 100. Questo parametro è definito come rapporto tra diametro e spessore della condotta, in questo caso del liner. Pare del tutto evidente come un valore fissato in questo modo, che prescinde dalle caratteristiche del liner che si deve installare, conduca all'imposizione di spessori del tutto antieconomici quando si vogliono utilizzare resine che conducono ad un prodotto con elevato modulo di elasticità.

Condotte circolari a gravità parzialmente deteriorate, in presenza di falda. In questo caso si prevede di assegnare al liner il solo carico dovuto alle acque sotterranee, mentre il condotto originario contrasta i carichi del suolo: è del tutto evidente, quindi, come in assenza di falda questa espressione non possa essere utilizzata.

Condotte ovoidali a gravità parzialmente deteriorate, in presenza di falda.

Condotte a gravità completamente deteriorate, la linea guida riporta **due** espressioni, numerate: per il calcolo del liner devono essere utilizzate entrambe, assumendo come spessore di progetto il valore maggiore tra i due ottenuti.



Le condotte in pressione, se solo parzialmente deteriorate devono resistere alle pressioni interne nel caso di presenza di allacci che non vengono riaperti, ovvero di fori nella condotta ospite che devono essere chiusi.

Quando il foro sia di dimensioni maggiori^(*), ovvero quando il condotto sia completamente deteriorato, per la verifica della resistenza alla pressione interna si utilizza un'altra espressione.

Nel caso di condotta in pressione completamente deteriorata, la condotta deve essere progettata per resistere a tutti i carichi esterni ed alla pressione interna: è pertanto necessario utilizzare tutte le espressioni riportate per scegliere quella che conduce allo spessore maggiore.

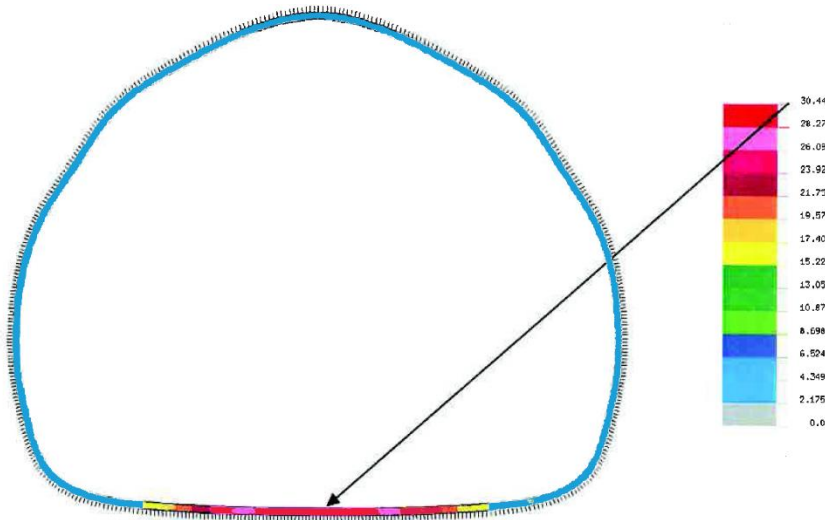
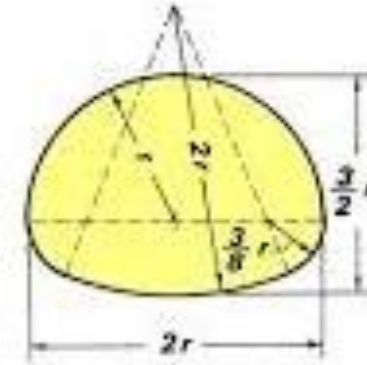
Nel caso di depressioni, la linea guida suggerisce la verifica di funzionamento a gravità, ponendo il valore di altezza della falda pari precisamente all'altezza piezometrica corrispondente alla pressione negativa calcolata.

^(*) Alternativamente, in presenza di allacci di grandi dimensioni da dismettere è possibile procedere localmente, piuttosto che aumentare lo spessore del liner di tutta la condotta.


Metodi agli elementi finiti

I recenti programmi di calcolo consentono inserimento dei dati e verifiche in modo completamente automatico, semplicemente disegnando la sezione in ambiente CAD ed impostando le caratteristiche dei materiali e dei carichi. In figura è riportato il risultato del calcolo con un programma ad elementi finiti fatto per un collettore fognario di Milano avente sezione ribassata.

Sezione ribassata teorica



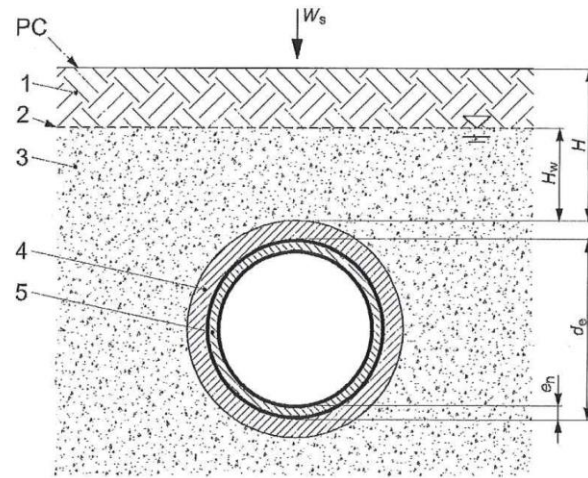
Il rilievo accurato eseguito avendo posto in asciutta il canale ha mostrato una forma di sezione diversa rispetto a quanto atteso e riportato nelle sezioni dei manuali: in particolare è risultato un fondo meno curvo, cioè più piatto, cosa che aumenta la criticità e richiede la posa di un liner di dimensioni maggiori.



Nei casi standard, ed in particolare quando si tratta di condotte circolari, l'applicazione dei metodi tradizionali e speditivi porta, praticamente, allo stesso risultato. Diverso è invece quando si hanno sezioni diverse dallo standard e comunque casi particolari.

È probabilmente migliore utilizzare come riferimento le linee guida e le norme esistenti, ma lasciando alle imprese la possibilità o di proporre migliorie o di dimostrare la qualità del prodotto proposto.

Simboli nella norma UNI



Elemento		Parametri caratteristici		Unità
(1)	Terreno asciutto	E_s	Modulo di elasticità del terreno	MPa
		w	Densità del terreno	kN/m ³
(2)	Falda	H_w	Altezza dell'acqua al di sopra della tubazione da rinnovare	m
(3)	Terreno bagnato			
(4)	Tubazione ospite	d_e	Diametro esterno del sistema C.I.P.P. (corrispondente al diametro interno nominale della tubazione da rinnovare) [mm]	mm
		H	Altezza del terreno al di sopra della tubazione da rinnovare [m]	m
(5)	Sistema C.I.P.P. di rinnovamento	E_0	Modulo di flessione a breve termine del C.I.P.P. [Mpa]	MPa
		$\sigma_{f,50}$	Sforzo di flessione-calcola a 50 anni per il C.I.P.P. [Mpa]	MPa
		$\sigma_{c,50}$	Sforzo di trazione circonferenziale calcolato a 50 anni per il C.I.P.P. [Mpa]	MPa
		e_n	Spessore nominale del C.I.P.P.	mm
		W_s	Carichi esterni gravanti sulla condotta da rinnovare [Mpa]	MPa
		PC	Piano campagna	


Condotte circolari a gravità

Parzialmente deteriorate, in presenza di falda.

$$P = \frac{2 \cdot K \cdot E_{50}}{1 - \nu^2} \cdot \frac{1}{(SDR - 1)^3} \cdot \frac{C}{N}$$

I parametri che è necessario definire per utilizzare questa espressione sono :

- Carico dovuto alle acque sotterranee P [MPa]
- Fattore di miglioramento della portanza del suolo K [-]
- Modulo di elasticità del CIPP a 50 anni E_{50} [MPa] (**NOTA:** la linea guida ASTM parla più genericamente di modulo di elasticità «a lungo termine»).
- Coefficiente di Poisson ν [-]
- Coefficiente di ovalizzazione C [%]
- Fattore di sicurezza N [-]
- Dimensione caratteristica del CIPP SDR [mm]



Il coefficiente di ovalizzazione tiene conto del differente e maggiore raggio di curvatura che si ha nel caso di ovalizzazione; si calcola con la:

$$c = \left(\frac{1 - \frac{\Delta}{100}}{\left(1 + \frac{\Delta}{100}\right)^2} \right)^3$$

essendo:

$$\Delta = \frac{\text{Diametro interno medio} - \text{Diametro interno minimo}}{\text{Diametro interno medio}} \cdot 100$$

Lo spessore e del liner si calcola infine con la:

$$e = \frac{d_e}{SDR}$$

In questo caso si prevede di assegnare al liner il solo carico dovuto alle acque sotterranee, mentre il condotto originario contrasta i carichi del suolo: è del tutto evidente, quindi, come in assenza di falda questa espressione non possa essere utilizzata. Il valore dell'altezza della falda, espresso in MPa, deve essere calcolato a partire dal cielo della condotta. (NOTA: la linea guida ASTM prevede che questo carico si calcoli a partire dal fondo della condotta)

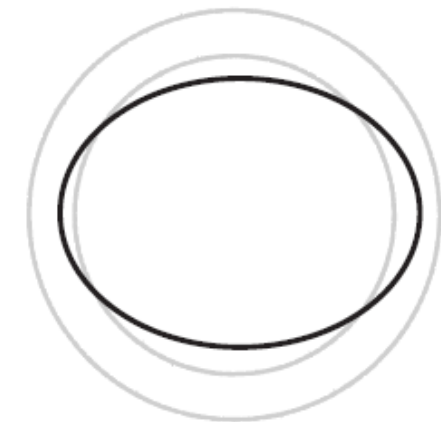
In assenza del dato (quindi cautelativamente) la norma indica di assumere come altezza di falda *almeno* l'altezza del terreno sopra la tubazione da rinnovare.

Per quello che riguarda il fattore di miglioramento della portanza del suolo, dato dalla presenza della condotta esistente, è la stessa norma che suggerisce un valore pari a 7 quando vi sia completo sostegno della condotta da rinnovare.

Il fattore di sicurezza è posto dal Progettista o dal Committente; la norma specifica che deve essere maggiore o uguale a 2.

La formula è derivata da quella di Timoshenko, di cui adotta il modello di instabilità.

1. Timoshenko model



Condotte ovoidali a gravità

Parzialmente deteriorate.

$$1.5 \frac{\Delta}{100} \cdot \left(1 + \frac{\Delta}{100}\right) \cdot SDR^2 - 0.5 \cdot \left(1 + \frac{\Delta}{100}\right) \cdot SDR = \frac{\sigma_L}{P \cdot N}$$

I parametri che è necessario definire per usare questa espressione sono:

- Sforzo a flessione a lungo termine del CIPP σ_L [MPa]
- Fattore di sicurezza N [-]
- Dimensione caratteristica del CIPP SDR [mm]
- Carico dovuto alle acque sotterranee P [MPa]

Come riportato precedentemente:

$$\Delta = \frac{\text{Diametro interno medio} - \text{Diametro interno minimo}}{\text{Diametro interno medio}} \cdot 100$$

Si deve comunque osservare come la formulazione italiana possa apparire fuorviante, almeno ad una analisi superficiale. Infatti, la letteratura scientifica e tecnica internazionale è concorde nell'affermare che la linea guida ASTM (e conseguentemente la norma UNI di cui si tratta) ha come **campo di validità le sole condotte circolari**.

While the F1216 liner design method applies only to circular pipes, it contains a provision, called Ovality, to account for nominally circular pipes that have gone out-of-round. For non-circular pipe shapes other designs methods are used, such as WRc Type II for egg-shaped sewers.

(Ian J. Doherty Cipp Liner Thickness Changes Under F1216-07b North American Society for Trenchless Technology 2008 No-Dig Conference & Exhibition, Dallas, Texas April 27 – May 2, 2008)

Condotte a gravità

Completamente deteriorate.

Per il calcolo del liner devono essere utilizzate entrambe le seguenti due espressioni, assumendo come spessore di progetto il valore maggiore tra quelli ottenuti.

$$q_t = \frac{1}{N} \cdot \left[32 \cdot R_w \cdot B' \cdot E'_s \cdot C \cdot \left(\frac{E_L \cdot I}{D^3} \right) \right]^{1/2}$$

$$\frac{E}{12 \cdot (SDR)^3} \geq 0.00064$$

Si osserva come la seconda sia *dimensionale* e quindi valida solo se si utilizzano le unità di misura del Sistema Internazionale.

Il parametro q_t è la **pressione esterna complessivamente agente** sulla condotta, in [MPa], nelle unità di misura del sistema metrico si calcola con:

$$q_t = 0.00981 \cdot H_w + \frac{w \cdot H \cdot R_w}{1000} + W_s$$

Nella precedente, a sua volta si calcola:

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

Inoltre, il parametro B' è calcolato come:

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

Anche in questo caso il parametro è dimensionale e pertanto devono essere utilizzate le unità di misura del Sistema Internazionale.

Il momento d'inerzia I è quello del liner, e pertanto si calcola con:



$$I = \frac{t^3}{12}$$

essendo t [mm] lo spessore del CIPP.



I diversi parametri da utilizzare sono i seguenti:

- Altezza dell'acqua sopra il cielo della condotta H_w [m]
- Altezza del terreno sopra il cielo della condotta H [m]
- Densità del terreno w [kN/m³]
- Carico dinamico W_s [MPa]
- Fattore di sicurezza N [-]
- Modulo elastico del terreno E'_s [MPa]
- Modulo di elasticità del CIPP a lungo termine E_L [MPa]
- Dimensione caratteristica del CIPP SDR [mm]
- Coefficiente di ovalizzazione, C , come definito sopra [%]
- Modulo di elasticità iniziale E [MPa]



La seconda espressione riportata dipende dal solo modulo di elasticità iniziale, mentre la prima da tutti gli altri riportati sopra. In molti casi, il valore derivante dall'applicazione della seconda risulta il maggiore tra i due, in qualche modo agendo come valore minimo dello spessore da utilizzare, ma con una per quanto sommaria caratterizzazione del materiale utilizzato (è un controllo sulla rigidità anulare) e quindi con un maggiore senso fisico dell'espressione del tutto generica che prevede che tale spessore debba essere cento volte la dimensione standard della condotta.

Condotte in pressione


Parzialmente deteriorate.

La prima verifica da effettuarsi è quella relativa alla dimensione del foro, con la seguente espressione:

$$\frac{d}{D} \leq 1.83 \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{1/2}$$

dove:

- ❑ Diametro del foro da chiudere d [mm]
- ❑ Diametro medio del condotto ospite D [mm]
- ❑ Spessore del liner t [mm]



Se la precedente espressione è verificata, allora il liner in quel punto si comporta come piastra piana circolare fissata alle estremità e soggetta a sollecitazioni solo trasversali. Si progetta utilizzando la seguente espressione:

$$P = \frac{5.33}{(SDR - 1)^2} \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2 \cdot \frac{\sigma_L}{N}$$

I parametri da utilizzare per il calcolo sono i seguenti:

- Pressione interna P [MPa]
- Fattore di sicurezza N [-]
- Diametro dell'apertura nel condotto d [mm]
- Sforzo a flessione a lungo termine del CIPP σ_L [MPa]
- Dimensione caratteristica del CIPP SDR [mm]
- Diametro medio interno della condotta ospite D [mm]

Come era da attendersi, il parametro caratteristico del materiale, in questo caso, non è il modulo di elasticità, ma direttamente lo sforzo a flessione.

Condotte in pressione

Completamente deteriorate.

$$P = \frac{2 \cdot \sigma_{TL}}{(SDR - 2) \cdot N}$$

Nella quale:

- ❑ Pressione interna P [MPa]
- ❑ Dimensione caratteristica del CIPP SDR [mm]
- ❑ Fattore di sicurezza N [-]
- ❑ Sforzo a tensione a lungo termine del CIPP σ_{TL} [MPa]

Nel caso di condotta in pressione completamente deteriorata, la condotta deve essere progettata per resistere a tutti i carichi esterni ed alla pressione interna: è pertanto necessario utilizzare tutte le espressioni riportate per scegliere quella che conduce allo spessore maggiore.

Depressione e moto vario




Nel caso di depressioni, la linea guida suggerisce la verifica di funzionamento a gravità, ponendo il valore di altezza della falda pari precisamente all'altezza piezometrica corrispondente alla pressione negativa calcolata.

Al momento non vi sono valutazioni appropriate per tenere conto del moto vario (colpo d'ariete).

L'impostazione della normativa segue la linea guida dell'ASTM, con formulazioni del tutto analoghe. Tuttavia, vi sono **differenze** che possono essere importanti, e che hanno reso la stessa norma particolarmente controversa già nel momento della sua emissione.

Viene specificato che i parametri di resistenza “a lungo termine” precisando che la loro valutazione deve essere su una durata pari a 50 anni. Per quello che riguarda le **condotte a gravità** si specifica come si debba considerare come altezza della falda “almeno l'altezza del terreno al di sopra della tubazione da rinnovare”. Lo spessore minimo del liner deve presentare un valore minimo pari a 3 mm.

Per quanto concerne le **condotte in pressione**, la norma distingue in merito alla tipologia di posa delle condotte che possono essere o non essere interrate, nel qual caso si suggerisce che le caratteristiche di dilatazione termica lineare del liner siano valutate in relazione a quelle della tubazione da rinnovare, soprattutto se il liner è essere incollato alla condotta.



La norma, inoltre, precisa che in **assenza di acqua di falda**, e *indipendentemente* dalle condizioni e dai parametri progettuali, si deve comunque assumere un valore minimo di spessore del liner indicato come $SDR=100$. Tale criterio potrebbe oggi penalizzare, anche significativamente, i produttori di liner con modulo elastico elevato.

Nel caso in cui non ci fossero acque sotterranee di falda al di sopra della tubazione da rinnovare, il C.I.P.P. deve avere un SDR minore o uguale a 100 indipendentemente dalle condizioni del progetto.

La linea guida ASTM riporta questa condizione in modo alquanto differente. Innanzi tutto, riporta la condizione solo come alternativa all'espressione per il calcolo delle condotte a gravità parzialmente deteriorate (la quale espressione non può essere applicabile nel caso di assenza di acqua di falda). Ma, soprattutto, considera il valore come suggerimento indicativo e *dipendente dalle condizioni di progetto*.

NOTE X1.2—If there is no groundwater above the pipe invert, the CIPP should typically have a maximum SDR of 100, dependent upon design conditions.

Come accennato precedentemente, ma non chiarito nella norma, la UNI 11681:2017 vale **unicamente nel caso di condotti circolari**.

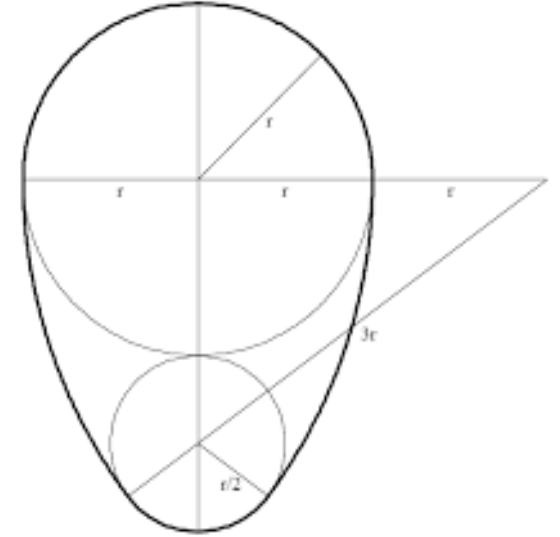
Tuttavia, nel caso di condotti ovoidali, diversi Autori hanno cercato di individuare delle **sezioni circolari equivalenti**, in modo da potere ancora utilizzare le semplici formulazioni della linea guida ASTM.

Considerando il dimensionamento con FEM quale risultato corretto, nel seguito si verifica l'applicazione della norma secondo due ipotesi di calcolo.

Il confronto è fatto sia per **condotto completamente deteriorato** (secondo ASTM e UNI) e **condotto in Stato III** (per DWA), sia per **condotto parzialmente deteriorato** (secondo ASTM e UNI) e **condotto in Stato II** (per DWA).

NOTA: è possibile che parte delle differenze riscontrate sia dovuta allo scostamento tra sezione ideale (sulla quale viene effettuato il calcolo speditivo) e sezione effettivamente rilevata (sulla quale viene effettuato il calcolo FEM).

Condotti ovoidali



Le formule utilizzate per calcolare un diametro equivalente sono le seguenti:

- ❑ Diametro che consente la coincidenza del perimetro dell'ovoidale:

$$P = 7.93 \cdot r = 2 \cdot r_e \cdot \pi \xrightarrow{\text{yields}} d_e = 2 \cdot \frac{7.93}{2 \cdot \pi} \cdot r \approx 2.524 \cdot r$$

- ❑ Diametro calcolato con l'espressione del prof. Falter:

$$d_e = 2 \cdot \left(0.6 \cdot h - \frac{t}{2} \right)$$

Esempio

Collettore 80x120:

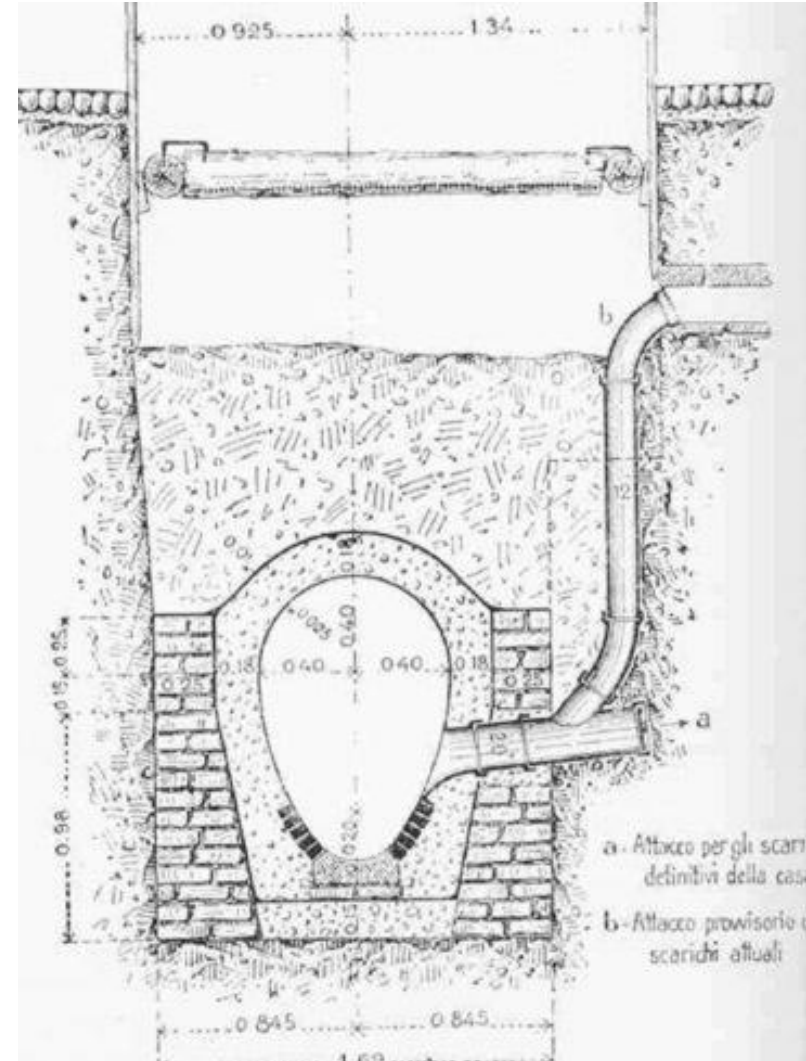
❑ Equivalenza perimetri: $D_e = 101.0 \text{ cm}$

❑ Falter: $D_e = 143.0 \text{ cm}$

Collettore 100x150:

❑ Equivalenza perimetri: $D_e = 126.2 \text{ cm}$

❑ Falter: $D_e = 179 \text{ cm}$



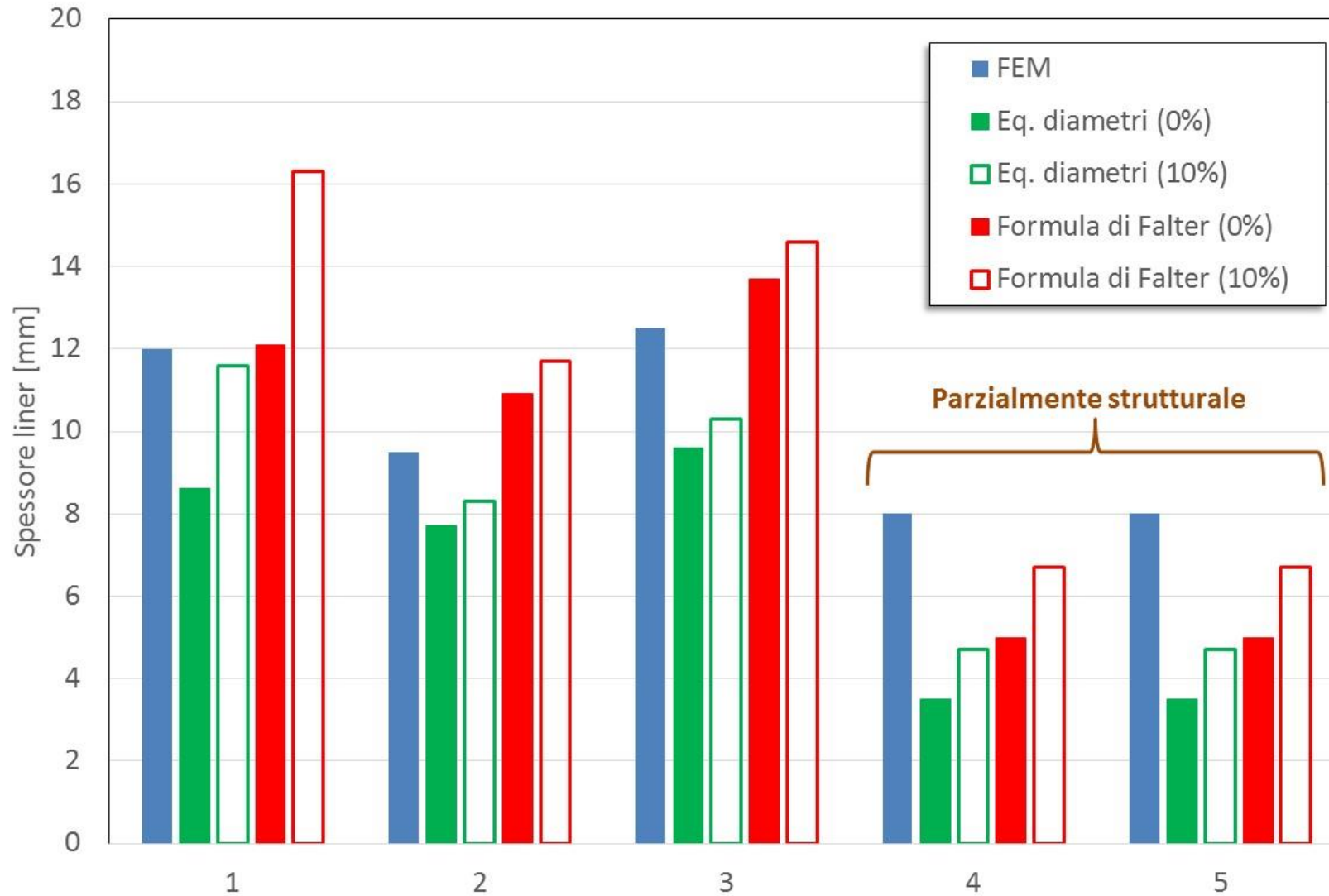
La formula di Glock (1977) fornisce la pressione critica di instabilità di un liner circolare soggetto a pressione esterna uniforme:

$$p_{cr} = E \cdot \left(\frac{t}{D}\right)^{2.2}$$

Nel 2001 Thépot ha fornito una formula per il calcolo dei liner ovoidali, che è del tutto analoga, sotto opportune ipotesi, alla formula di Glock, e che ad essa può essere ricondotta ponendo $d_e = 1.7 \cdot H$:

$$p_{cr} = 0.308 \cdot E \cdot \left(\frac{t}{H}\right)^{2.2}$$

Confronti preliminari su pochi casi



I confronti effettuati sono basati su pochissimi casi e non si pretende di trarre conclusioni di carattere generale.

Le formulazioni sono state utilizzate con coefficiente di ovalità pari a 0% e 10% (oltre questo valore la norma non è applicabile (par. 6.1 della norma UNI): quindi, agli estremi della deformazione ammissibile.

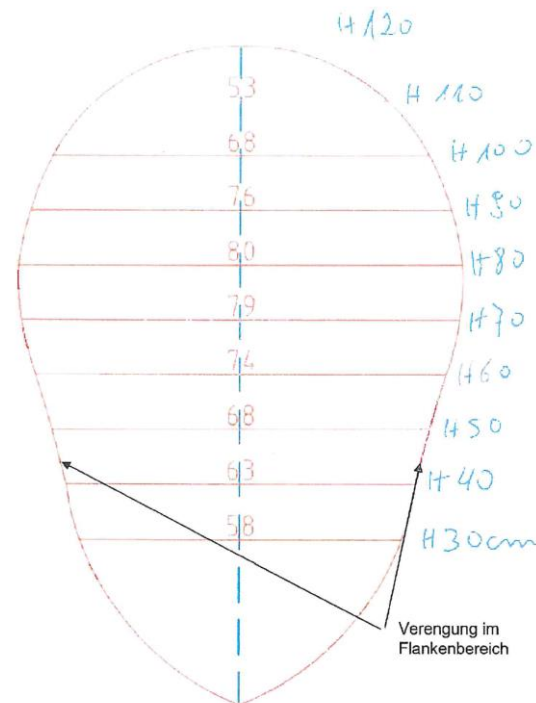
L'adozione di un diametro equivalente nel senso geometrico di equivalenza del perimetro appare condurre, in tutti i casi, ad un deciso sottodimensionamento dello spessore del liner. L'adozione del diametro equivalente proposto da Falter (ben maggiore della massima dimensione della sezione) nel caso di intervento completamente strutturale conduce a risultati leggermente conservativi, avendo operato con ovalità 0%.

Non appaiono accettabili i risultati per interventi di ripristino parzialmente strutturale.

Sezioni ovoidali

Mentre è ben definito, anche nella medesima norma, cosa si debba intendere per ovalità di una sezione circolare, non è chiaro cosa sia l'ovalità di una sezione ovoidale, non potendosi ovviamente adottare la medesima formulazione. Qui si propone di considerarla come

allontanamento dalla sezione ideale $\Delta = \frac{L_{misurata} - L_{tabella}}{2 \cdot R}$




H	L rilev	L ideale	Diff.
[cm]	[cm]	[cm]	[%]
120	0	0	0.00
110	53	52.5	0.63
100	68	69.0	-1.25
90	76	77.4	-1.75
80	80	80.0	0.00
70	79	79.2	-0.25
60	74	76.7	-3.38
50	68	72.5	-5.63
40	63	66.4	-4.25
30	58	58.4	-0.50
0	0	0.0	0.00

Occorre fare riferimento a due diverse tipologie di prove di collaudo. Innanzi tutto il collaudo sui condotti deve avvenire seguendo le procedure usuali per i tubi di nuova posa; oltre a ciò, occorre effettuare anche le prove specifiche del C.I.P.P.

Per quello che riguarda **la prima tipologia di prove**, nel caso di **condotte di drenaggio** occorre fare riferimento alla norma UNI EN 1610 che indica la procedura per le prove di tenuta ponendo i limiti di massima perdita di volume d'acqua in 30 minuti ad un valore di pressione definito, in termini di colonna d'acqua, dal valore del carico che si ottiene riempiendo la condotta fino al livello del terreno del pozzetto più a monte o più a valle, con un valore massimo di 5 m ed uno minimo di 1 m calcolato dal fondo del condotto; si mantiene tale pressione, con tolleranza di 0.1 m, aggiungendo acqua se necessario ed ammettendo le seguenti perdite:

- ❑ 0.15 l/m² per i tratti di condotte;
- ❑ 0.20 l/m² per i tratti di condotte comprendenti anche pozzetti;
- ❑ 0.40 l/m² per i tratti di condotte comprendenti anche pozzetti e camere di ispezione.

La sopra citata norma ammette che la prova di tenuta sia effettuata anche ad aria, descrivendone le caratteristiche.



Per le **condotte in pressione**, occorre considerare la UNI EN 805 che prevede che la pressione di prova *STP* sia determinata:

- ❑ Nel caso non sia calcolato il colpo d'ariete, come minima tra le due:

$$\begin{cases} STP = 1.5 \cdot PN \\ STP = PN + 5 \text{ bar} \end{cases}$$

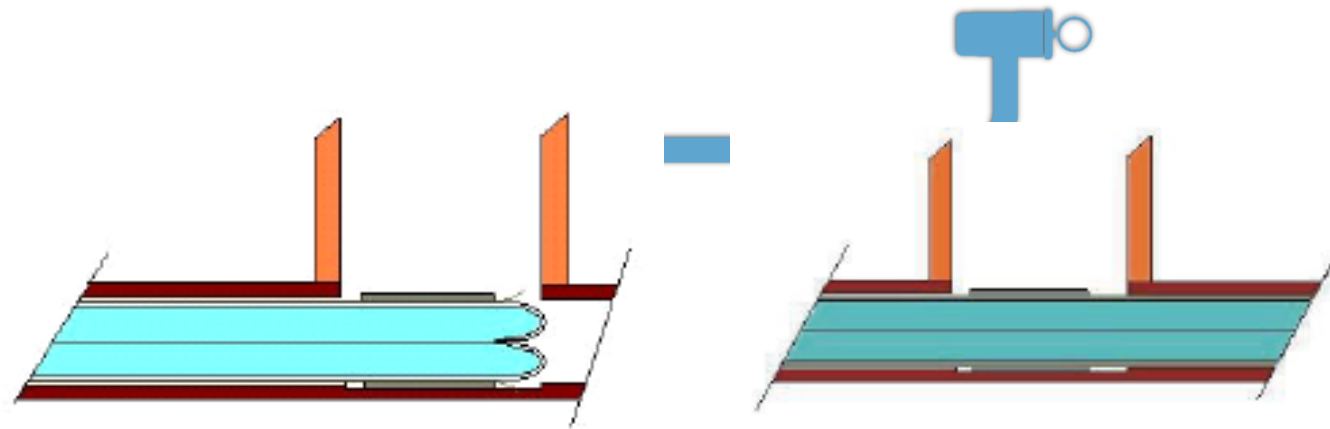
- ❑ Nel caso sia calcolato il colpo d'ariete, la sovrappressione deve avere valore minimo di 2 bar e la pressione di prova è determinata a partire dalla massima pressione di progetto + 1 bar.

Durante l'esecuzione dell'opera devono essere raccolti i dati di pressione e temperatura nel tempo, per tutta la fase di polimerizzazione.

Un collaudo visivo (videoispezione) è sempre previsto al termine della posa di ciascun tratto.


Per i liner sono necessarie altre prove, relative al materiale in stato “I”. I campioni devono essere raccolti, se possibile, da un pozzetto intermedio; se non sono presenti pozzetti intermedi il campione dovrà essere preso dal pozzetto finale. Si sottolinea l'importanza di **prendere campioni per ciascun *lancio* effettuato**: infatti, anche se la Ditta è la medesima e le condizioni di impregnazione o trasporto non cambiano, cambiano sempre le condizioni di posa. Può capitare che in un certo giorno le temperature siano differenti, o che ci sia stato un inconveniente nell'installazione, od altro. Tutte le volte che si effettua una installazione, quindi, si costruisce, di fatto, un nuovo condotto, che deve essere adeguatamente controllato.

In assenza del tubo esistente che contiene l'espansione del liner, nei pozzetti questo tende ad estendersi e a deformarsi; un campione preso da una parte di liner deformato non può essere considerato adeguatamente rappresentativo del lavoro effettuato. La preparazione dei pozzetti consiste nel fissare una lamina metallica o un condotto avvolto a spirale in modo da impedire l'espansione del liner. In caso di posa di pre-liner, anche questo elemento deve essere inserito nel contenimento. Al termine della polimerizzazione, il contenimento viene rimosso ed il liner tagliato come prescritto dalla normativa ed inviato al laboratorio autorizzato per le analisi.



I campioni devono avere un raggio di curvatura sufficientemente uniforme per garantire la consistenza della prova di compressione a tre punti. La massima freccia non dovrebbe superare il 10% della lunghezza, in proiezione orizzontale, del campione. La lunghezza del campione, in proiezione orizzontale, deve essere pari ad almeno 16 ± 1 volte lo spessore del liner, anche se ci sono eccezioni indicate dalla normativa. La larghezza del campione deve essere pari a 50 ± 1 mm, trattandosi di condotti cilindrici.


Lo spessore del liner deve essere determinato in accordo con la ISO 3126 ed in particolare, ogni eccesso di resina, se presente, deve essere eliminato, senza intaccare la struttura del materiale di supporto; la misura deve essere fatta con strumentazione che garantisce la precisione di ± 0.01 mm e se ci sono difformità rispetto al valore medio dello spessore superiori al 10%, il campione deve essere scartato.



Dal campione prelevato devono potere essere ricavati almeno cinque provini, e deve essere inviato al laboratorio di prova adeguatamente protetto dagli agenti atmosferici, ed in particolare dai raggi solari e dall'acqua; il campione deve essere etichettato con le seguenti informazioni:

- Nome della società installatrice
- Nome della società produttrice dei materiali
- Nome del sito di costruzione
- Data di raccolta del campione
- Diametro del condotto

Per l'elenco delle prove si fa riferimento alle norme UNI EN ISO 1129X-4.





Le **caratteristiche geometriche** riguardano lo spessore medio e minimo del liner. Lo spessore medio non può essere inferiore a quello di progetto, mentre quello minimo riscontrato non può essere inferiore a 80% del valore medio di progetto. Tale valore non può essere inferiore a 3 mm.

Le **caratteristiche meccaniche** richieste dalla norma sono diverse, con i valori minimi che sono riportati nella normativa; in fase di progettazione (e di gara in caso di opere pubbliche) possono ovviamente essere dichiarati valori superiori, i quali divengono prescrittivi. Resta inteso che vi sono prove che possono essere eseguite sul prodotto finito, quali quelle relative allo spessore od alla resistenza a breve termine, e quelle per le quali invece occorre richiedere la appropriata certificazione.

La norma richiede anche che il liner abbia **resistenza all'attacco chimico**, ponendo come riferimento per le prove la norma ISO 10952; evidentemente, trattando in questo testo di reti del Servizio Idrico Integrato, scarichi chimici particolarmente aggressivi dovrebbero essere evitati.



A parte le richieste della norma, che devono essere sempre obbligatoriamente soddisfatte, è possibile che il Committente abbia **ulteriori necessità**, per le quali può ovviamente richiedere ulteriori certificazioni.



Abrasione, o resistenza allo sfregamento. Questa prova, di cui è possibile richiedere il certificato del prodotto finale, è evitabile in caso di relining di acquedotti o di collettori fognari in cui è piuttosto da temersi il deposito dei materiali solidi: ma assume particolare importanza quando si ha a che fare con acque cariche di sedimenti e pendenze che impongono velocità elevate alla corrente. In questo caso è possibile richiedere il certificato relativo al test di Darmstat, che è normato dalla EN 295-3.

Misurazione della fessura anulare che si può formare tra liner ed il vecchio tubo, in particolare quando la forma della condotta che ospita il liner non è circolare e da questa sezione si discosta molto. È infatti possibile che si creino degli spazi tra le due condotte e, se è prevista la collaborazione tra le due, che questa non sia garantita, con conseguente possibilità di deformazione successiva di una delle due; la misurazione relativa alla presenza di tali vuoti deve essere fatta manualmente, con sonde.

Resistenza allo spurgo quando si usino strumenti ad alta pressione. Non è sufficiente produrre questa documentazione, ma è necessario definire con precisione quali siano le modalità con le quali effettuare lo spurgo senza danneggiare il liner.





Analisi microscopica: soprattutto nel caso di impregnazione in loco, è possibile che la resina non sia distribuita in modo perfettamente omogeneo e che quindi rimangano dei microspazi che risultano nei fatti essere delle microfessure. In questo caso l'impermeabilità sarebbe garantita dal solo coating, se presente, ed in sua assenza il liner risulterebbe “sudare”: fenomeno che non è gradito, dato che si tratta di un nuovo condotto il cui costo è comunque piuttosto elevato.

Verifica della impermeabilizzazione: consiste nel rimuovere il coating, posizionare del liquido su un lato del campione ed applicare una differenza di pressione per un tempo prestabilito, in modo da verificare se il liner risulta effettivamente impermeabile.

Analisi spettrografica: in questo modo è possibile individuare la resina od il sistema di resine effettivamente utilizzato, in modo da evidenziare eventuali anomalie o difformità quando si dovesse presentare un prodotto finale aventi caratteristiche non conformi con quanto atteso.

Certificato di uso alimentare: ovviamente necessario nel caso di risanamento delle condotte del servizio di acquedotto.

1	Pressione massima a breve termine	UNI EN 1228
2	Scorrimento viscoso a 24 ore	EN 761, EN ISO 899-2
3	Pressione massima a lungo termine (10000 ore)	EN 761, EN ISO 11296-4
4	Prova di flessione a tre punti	ISO 178
	- in direzione circonferenziale	EN ISO 11296-4
	- in direzione longitudinale	EN ISO 11296-4
5	Prova di trazione a rottura	EN ISO 527-4
6	Prova di compressione a rottura in direzione longitudinale	EN ISO 604
7	Tenore di stirene residuo	DIN 53394-2 ^a
8	Misurazione della perdita all'ignizione	EN ISO 1172
9	Densità	EN ISO 1183-1
10	Idoneità chimica	EN ISO 175, EN ISO 11296-4
11	Misurazione della fessura anulare	da eseguirsi manualmente
12	Impermeabilità all'acqua del laminato portante	EN ISO 11296-4
13	Resistenza all'abrasione – test di Darmstat	EN 295-3
14	Resistenza allo spurgo	DIN 19523 ^b

a La norma DIN 53394-2 ha come titolo "Testing of plastics; determination of the percentage of styrene in reaction moulding materials based on unsaturated polyester resins; gaschromatography method" e non ha, al momento, trovato alternative analoghe; tuttavia è da tenere presente che l'uso di resine "styrene free", cioè senza stirene, si sta sempre più diffondendo e quindi questa prova sta diventando non necessaria.

b La norma DIN 19523 ha come titolo "Requirements And Test Methods For Determination Of The Jetting Resistance Of Components Of Drains And Sewers"; anche in questo caso non si sono trovate alternative alla norma tedesca, che si ritiene tuttavia di grande importanza per attestare la resistenza allo spurgo.

Nota: le richieste del Committente

Per procedere alla determinazione dello spessore del liner, è necessario conoscere le caratteristiche del prodotto (modulo elastico a breve e lungo termine, resistenza a flessione, coefficiente di Poisson, ...) la scelta delle quali in molti casi condurrebbe a identificare univocamente i materiali e, quindi, la posa.

Una alternativa che non si ritiene proponibile è quella di imporre uno spessore minimo: ma in questo caso si vanno a penalizzare i produttori e la ricerca nel settore dei prodotti per le tecnologie C.I.P.P.

Qui si propone piuttosto, alternativamente, di **indicare una classe di carico** per i liner, in modo tale che ciascun produttore o applicatore possa proporre il proprio materiale nel pieno rispetto delle regole della libera concorrenza.

Potrebbe anche essere inserita **come regola premiale la progettazione di qualità**, pur rimanendo obbligatorio il *riferimento minimo* alle norme e linee guida esistenti.

Infine, non pare opportuno il riferimento a norme o linee guida che trattano di condotte circolari, quando le condotte non sono circolari.

Contatti

Prof. Ing. Stefano Mambretti, PhD



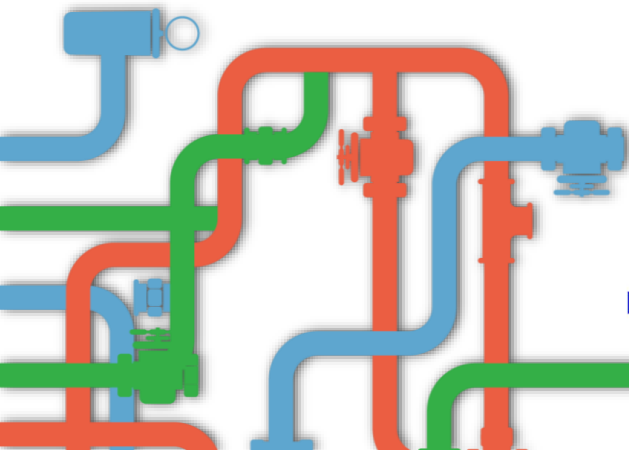
POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE

Email: stefano.mambretti@polimi.it

Mobile: 347.7352491

Organizzato da:



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI BERGAMO

