

## “Materiali per condotte di fognatura”

### 1. Introduzione

L'entrata in vigore della L. 172/1995, con la quale viene convertito in legge il D.L. 79/1995, modifica profondamente la L. 319/1976 (*legge Merli*) basata sul rigido controllo degli scarichi e recepisce la direttiva europea 91/271/CEE - ancorché non nella sua interezza - che attribuisce molta importanza anche alle dimensioni dei centri abitati produttori degli scarichi ed alle caratteristiche di qualità esistenti o programmate del corpo idrico ricevente.

In particolare l'adozione della direttiva CEE ha riflessi sulla priorità di realizzazione delle reti fognarie, in funzione della potenzialità dell'impianto e delle caratteristiche del corpo idrico ricevente, secondo quanto riportato nella Tab. I. Non va inoltre dimenticato che, secondo una moderna visione sistemica del problema, la rete di fognatura costituisce il primo elemento del più vasto sistema di protezione dell'ambiente dalla contaminazione delle acque usate dall'uomo, secondo il seguente schema:

- rete di raccolta delle acque reflue e/o meteoriche, compresi gli allacciamenti ai singoli produttori di acqua inquinata;
- collettori principali di trasporto delle

acque reflue e/o meteoriche, compresi i dispositivi di accumulo e regolazione delle medesime (*vasche volano*) e di scarico diretto nell'ambiente (*sfioratori di piena*);

- impianto di depurazione.

Nella nuova prospettiva aperta dalla L. 172/95 è importante assicurare una catena qualitativa omogenea nella realizzazione sia delle opere di allacciamento e della rete di raccolta, sia dei collettori di trasporto, sia infine dell'impianto di trattamento. Da questa impostazione discendono direttamente alcuni vincoli per la progettazione degli impianti, ma anche delle reti di fognatura: di questi ultimi si terrà conto nel corso della presente esposizione, ponendoli in adeguata evidenza.

La direttiva 91/271/CEE definisce *rete fognaria* “un sistema di condotte per la raccolta ed il convogliamento delle *acque reflue urbane*”, intendendo per acque reflue urbane le “acque reflue domestiche o miscuglio di acque reflue domestiche, industriali e/o acque meteoriche di dilavamento”.

Queste definizioni consentono di poter continuare a parlare di fognature *nere*, *bianche* e *miste*, secondo la terminologia ormai entrata nell'uso, in quanto usualmente viene ancora identificato

Realizzazione reti fognarie					
Realizzazione reti fognarie aree sensibili <sup>1</sup>					
	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000
					popolazione equivalente
					
	nessuna scadenza	31/12/2005	31/12/2000	31/12/1998	

• **Tabella 1 - Scadenze temporali stabilite dalla direttiva 91/271/CEE per la realizzazione delle reti fognarie in funzione della potenzialità del centro abitato servito e delle caratteristiche del corpo idrico ricevente.**

- 1) La suddivisione del territorio nazionale in aree *sensibili* e *meno sensibili* - fatta sulla base del grado di rischio ambientale delle aree in cui avviene lo scarico - doveva essere completata entro il 31/12/93 e riconsiderata successivamente ogni 4 anni; sono comunque considerate *aree sensibili*:
- a) i laghi naturali e le altre acque dolci, di estuario o del litorale già eutrofizzate o di prossima eutrofizzazione;
  - b) le acque dolci superficiali destinate alla produzione di acque potabili;
  - c) tutte le acque dove è necessario un trattamento complementare rispetto a quello secondario, al fine di uniformarsi alle prescrizioni di altre direttive (e.g. acque idonee alla balneazione, alla vita dei pesci ed alla molluschicoltura).

*Paolo Bertola*

Prof. ing. Paolo Bertola

Ordinario di Costruzioni idrauliche  
Facoltà di Ingegneria  
Università di Trento

tutto il sistema di fognatura con la rete di raccolta. Volendosi tuttavia occupare dei materiali con cui vengono realizzate le tubazioni prefabbricate che formano le reti di raccolta ed i primi collettori di trasporto, poiché i fluidi convogliati sono radicalmente diversi nei tre casi, è logico attendersi una scelta ottimale parimenti diversa.

Il progetto, la costruzione ed il collaudo delle tubazioni per fognatura sono regolamentati dal D.M. 12/12/85 "Norme tecniche relative alle tubazioni", che definisce *tubazione* "il complesso dei tubi, dei giunti e dei pezzi speciali costituenti l'opera di fognatura". Una classificazione molto usata delle tubazioni - in funzione del materiale usato per la loro realizzazione - è la seguente:

- tubazioni lapidee (gres, fibrocemento, calcestruzzo);
- tubazioni metalliche (ghisa, acciaio);
- tubazioni plastiche (PE, PVC, PRFV).

Qualora si tenga conto della natura particolare delle opere idrauliche di cui ci si sta occupando, con le considerazioni che seguono si dimostrerà che la scelta ottimale dei materiali con cui realizzare le fognature nere cadrà sul GRES, il PE ed il PVC; per le fognature bianche e miste sul fibrocemento, il calcestruzzo ed il PRFV; in situazioni particolari o per superare ostacoli o punti singolari sulla ghisa e l'acciaio per tutti e tre i tipi di fognatura.

## 2. Fognature "nere" per acque reflue

Sono le fognature per eccellenza, dovendo trasportare un fluido molto contaminato ma di caratteristiche qualitative tutto sommato omogenee e con variazioni di portata abbastanza contenute: infatti la portata oraria massima del

giorno di maggior flusso annuo raramente supera il valore di 2 volte la portata oraria mediata sulle 24 ore, ricavata dalla portata media giornaliera annua. Più sensibili possono essere invece le variazioni della portata oraria minima giornaliera, con possibili ripercussioni non solo sul corretto funzionamento dell'impianto di depurazione, ma anche della rete fognaria, qualora siano state attribuite alle tubazioni pendenze del fondo troppo ridotte. Com'è noto - se  $D$  è il diametro interno della tubazione - il criterio principale per determinare il valore minimo ammissibile della pendenza longitudinale  $i$  è quello che vede soddisfatta per la tensione tangenziale ( $\tau_0$  - mediata su tutto il contorno - la condizione:

$$\tau_0 = \gamma R_H i > 2 \text{ N/m}^2$$

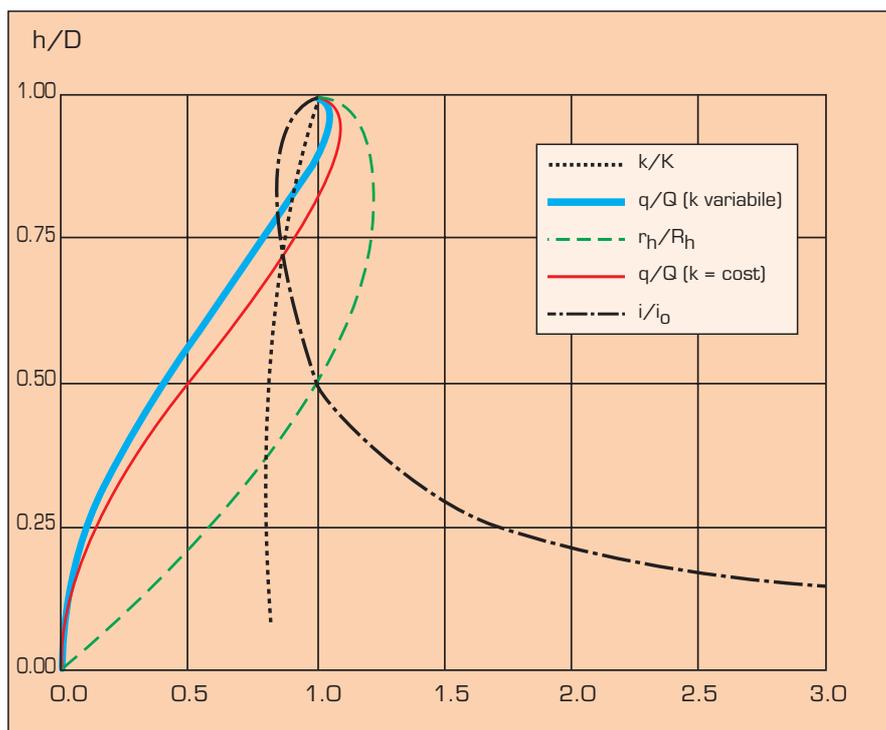
con  $R_H = D/4$  a prescindere dal grado di riempimento della sezione

Tale criterio garantisce l'*autopulizia della condotta*, a meno che non si instaurino condizioni di riempimento  $h/D < 0,5$  (cfr. fig. 1.), la qual cosa succede quando nella condotta fluisce una portata inferiore alla metà di quella massima che potrebbe fluire a sezione piena. In queste circostanze può essere molto importante disporre di una tubazione idraulicamente molto liscia, requisito posseduto per l'appunto dal gres, dal PE e dal PVC, perché in questo caso può essere sufficiente un valore di:

$$\tau_0 = 1 \text{ N/m}^2 .$$

Le fognature nere devono essere a perfetta tenuta idraulica perché trasportano un fluido che da un punto di vista qualitativo si differenzia moltissimo da quell'acqua potabile che ne costituisce l'origine e comunque per due motivi fondamentali:

1. per evitare le perdite di liquame nel



• Figura 1 - Variazione della portata  $q$  e della pendenza di fondo  $i$  in funzione del riempimento effettivo  $h$ , rispetto ai medesimi valori relativi al flusso a sezione piena.

terreno, che solitamente danno origine alla contaminazione della falda sottostante ed in ogni caso provocano l'insorgenza di cedimenti delle tubazioni dovute all'alterazione del letto di posa, con conseguenti possibili cedimenti localizzati della sede stradale;

2. per non consentire l'infiltrazione dell'acqua di falda nella quale può essere parzialmente o totalmente immersa la tubazione, con la conseguenza che quest'ultima sarebbe interessata da un rapido incremento della portata, con passaggio del flusso da condizioni di moto a pelo libero in moto a pressione.

Al di là degli inconvenienti idraulici che si verificano quando si ha un funzionamento localizzato in pressione - rispetto ad una rete generalmente a pelo libero - non va sottovalutato il fatto che le fognature nere necessitano di un'abbondante aerazione per poter consegnare all'impianto di depurazione un liquame il più possibile fresco, cioè non ancora interessato da fenomeni di anossia. È pertanto opportuno verificare le condizioni di flusso nelle tubazioni ipotizzando un rapporto tra riempimento massimo e diametro non superiore a 0,50 (criterio dell'anossia), valore che consente di offrire all'azione di riaerazione effettuata dall'ossigeno presente nell'aria della condotta un volume adeguato e contemporaneamente la massima superficie di scambio possibile.

Si può inoltre dimostrare che - almeno per tubazioni con  $D < 1$  m e dunque per tutte le reti di raccolta dei liquami - il rispetto della condizione di autopulizia della condotta fornisce valori della pendenza, con cui porre in opera le tubazioni, maggiori di quelli necessari per evitare l'anossia del liquame: la prima condizione è pertanto più restrittiva della seconda.

## 2.1. Tubi in gres

Materia prima fondamentale è l'argilla molto plastica, esente da carbonati ma ricca in silice e caolino. All'impasto viene aggiunta acqua in piccola quantità per ottenere una massa di buona consistenza, con cui produrre facilmente i tubi per estrusione; vengono inoltre aggiunte sostanze inerti - quali frammenti macinati di gres, porcellana e mattoni refrattari - allo scopo da un lato di ridurre la porosità ed il naturale ritiro conseguente alla cottura (a  $1.150^{\circ}\text{C}$ ), dall'altro di aumentare la resistenza meccanica.

I tubi ed i pezzi speciali (raccordi, innesti, curve, ecc.) in gres sono sottoposti alla norma UNI EN 295 (ed. 1992) *"Tubi ed elementi complementari di gres e relativi sistemi di giunzione, destinati alla realizzazione di impianti di raccolta e smaltimento di liquami"*, suddivisa in 3 parti: *Prescrizioni, Controllo della qualità e campionamento, Metodi di prova*. La norma prevede tubi con DN variabile da 100 a 1.200 mm, lunghezze variabili da 1,5 a 3 m, carichi di rottura minimi a schiacciamento variabili da 24 a 96 kN/m in funzione del diametro del tubo e della classe di resistenza [leggera - 95 - 120 - 160 - 200 kN/m<sup>2</sup>].

I giunti sono di tipo automatico usualmente a bicchiere, con anello di tenuta idraulica in poliuretano; devono resistere - senza che si manifestino perdite - ad una pressione interna od esterna di 0,5 bar anche in presenza di deviazioni angolari di:

80 mm/m per tubi DN 100÷200 mm;

30 mm/m per DN 225÷500 mm;

20 mm/m per DN 600÷800 mm;

10 mm/m per DN >800 mm.

La resistenza all'aggressione chimica risulta elevatissima, sia nei confronti delle sostanze liquide sia rispetto a quelle gassose. Parimenti molto elevata

è la resistenza all'abrasione meccanica delle superfici interne dei tubi da parte dei solidi trasportati dall'acqua; esperienze effettuate a Zurigo qualche anno fa [Steiner (1992)] hanno dimostrato che il gres resiste bene anche all'azione abrasiva di pulizia delle condotte effettuata con lavaggio ad alta pressione (da 100 a 1.000 bar).

La resistenza meccanica dei tubi in gres consente - almeno fino al DN 800 - di far fronte alle più gravose condizioni di impiego senza la necessità di rinfianchi e protezioni in calcestruzzo, purché venga scelta la classe di resistenza idonea; il modulo elastico può essere assunto pari a  $5 \cdot 10^6$  N/cm<sup>2</sup>.

## 2.2. Tubi in PE

Il polietilene impiegato per ottenere per estrusione ad elevata temperatura le condotte di fognatura è quello ad alta densità (PEAD), così chiamato perché il valore elevato di tale parametro (variabile tra 0,945 e 0,965 g/cm<sup>3</sup>), conferisce al materiale proprietà singolari (Bertola e Zannetti, 1985), come ad esempio la struttura molecolare quasi cristallina e la buona resistenza meccanica, a differenza di quello a bassa densità (PEBD), il quale però - essendo molto più flessibile - viene efficacemente impiegato per i tubi di piccolo diametro con cui si realizzano gli allacciamenti. È materiale molto sensibile alla luce, tant'è che il tipico colore nero gli viene impartito dall'aggiunta di uno stabilizzante come il nerofumo, dosato in quantità non inferiori al 2% in peso.

Tubi ed elementi complementari per il trasporto di fluidi a pelo libero sono sottoposti al rispetto delle norme UNI 7613 *"Tubi di polietilene ad alta densità per condotte di scarico interrate -*

*Tipi, dimensioni e requisiti*"; delle UNI 7615 "Tubi di polietilene ad alta densità. Metodi di prova" e delle UNI ISO/TR 7474 "Tubi e raccordi di polietilene ad alta densità - Resistenza chimica nei confronti dei fluidi", mentre al trasporto di fluidi in pressione fanno riferimento le UNI 7611 e 7612.

La UNI 7613 prevede DN compresi tra 110 e 1.200 mm, valori che coincidono con il diametro esterno medio, come è usuale nel caso dei manufatti plastici estrusi; la serie prevista corrisponde ad una pressione nominale di 3,2 bar e i tubi sono individuati come tipo 303.

Il sistema di gran lunga più usato per le giunzioni è la termosaldatura di testa con materiale di apporto, anche se è possibile impiegare un collegamento flangiato (a flangia scorrevole con cartella di appoggio) per il collegamento a pezzi speciali, pozzetti prefabbricati, ecc.

La resistenza all'aggressione chimica risulta ottima per i reflui civili, generalmente molto buona per quelli industriali (cfr. UNI ISO/TR 7474); il materiale è invece molto sensibile alle temperature elevate, per cui il fluido convogliato non deve avere valori massimi permanenti superiori a 40°C. Ottima anche la resistenza all'abrasione meccanica, simile a quella del gres (Salvi, 1997).

La resistenza meccanica dei tubi in PEAD prevede uno sforzo ammissibile a trazione pari a 500 N/cm<sup>2</sup> alla temperatura di 20°C, con un valore massimo della deformazione diametrica pari al 5%. Il modulo elastico a flessione diminuisce in funzione dell'aumento della temperatura di esercizio e della entità e della durata della sollecitazione: se il valore iniziale può essere stimato pari a 0,1·10<sup>6</sup> N/cm<sup>2</sup>, quello finale - con una tensione di 100 N/cm<sup>2</sup> applicata per 50 anni - scende al valore di 0,02·10<sup>6</sup> N/cm<sup>2</sup>. Considerata la notevole deformabilità del PEAD, assume molta importanza la resistenza all'ovalizzazione delle condotte: con una rigidità anulare iniziale di 2.500 N/m<sup>2</sup> ed

una finale di soli 500 N/m<sup>2</sup>, la resistenza è quindi affidata soprattutto alla reazione del suolo e pertanto al materiale usato e al grado di compattazione della fondazione e del rinfiacco.

## 2.3. Tubi in PVC

Il composto di base, policloruro di vinile, viene addizionato con stabilizzanti e lubrificanti per avere un prodotto che consenta di ottenere i tubi per estrusione ed i pezzi speciali per stampaggio.

Mentre è già esistente e pubblicata la norma europea EN 1401-2 del 1998 per tubi in PVC non plastificato, sono attualmente in vigore - per il materiale impiegato nelle reti di fognatura - le norme UNI 7447 "Tubi e raccordi di PVC rigido per condotte di scarico interrate. Tipi, dimensioni e requisiti", le norme UNI 4920 "Prodotti finiti ed elastomeri - Guarnizioni di tenuta ad anello per tubazioni di acquedotti e di scarico - Requisiti e prove" e le UNI ISO/TR 7473 "Tubi e raccordi di PVC rigido. Resistenza chimica nei confronti dei fluidi", mentre al trasporto di fluidi in pressione fanno riferimento le UNI 7441/75 e le UNI 7442/75.

La UNI 7447 prevede DN compresi tra 110 e 1.400 mm, valori che risultano uguali al diametro esterno; essa considera due classi (o serie) di tubi:

- 303/1: corrisponde alla serie S20 della norma ISO 4435 (tranne che per i diametri DN 160 e 200 mm) e prescrive per i tubi spessori minimi di parete uguali o inferiori a quelli previsti dalla classe di resistenza intermedia, tra le 3 previste dal pr EN 1401-2;
- 303/2: corrisponde alla serie S25 della norma ISO 4435 ed ha spessori minimi dei tubi inferiori a quelli della serie precedente. Se ne deduce

che attualmente non è contemplata una terza classe - per così dire "pesante" - come invece dovrebbero prevedere le norme europee.

È inoltre regolamentata la produzione di una vasta gamma di pezzi speciali e di raccordi, soprattutto per i diametri medio-piccoli: curve a 15°- 30°- 45°- 90°, manicotti, giunti semplici a 45°, giunti di collegamento PVC-ghisa e PVC-gres, raccordi per pozzetti, ispezioni lineari, innesti a sella a 45°, tappi, fondi per pozzetti, ecc., che rendono il PVC materiale principe per le reti di scarico interne agli edifici e per i collegamenti con la rete di scarico pubblica, considerato anche la facilità con cui tali pezzi possono venire collegati - tra loro ed ai tubi - per mezzo dei giunti a bicchiere con anello elastomerico di tenuta.

Per la resistenza all'aggressione chimica e all'abrasione meccanica si può ripetere tutto quello che è già stato detto per i tubi in PEAD.

Anche per la resistenza meccanica si può parzialmente ripetere quanto già detto per i tubi in PEAD: le rigidità anulari sono variabili con il tempo e assumono valori compresi tra 3.000 N/m<sup>2</sup> (per tubi DN 110 mm) e 24.500 N/m<sup>2</sup> (per DN 1.000 mm). La deformazione diametrica massima ammessa è pari al 5%, con un modulo elastico iniziale pari a circa 0,3·10<sup>6</sup> N/cm<sup>2</sup>, mentre quello finale può essere considerato uguale alla metà. In definitiva anche per i tubi in PVC - sia pure in misura minore del PEAD - risultano molto importanti le condizioni di posa, al fine di assicurare una buona resistenza meccanica delle tubazioni.

## 3. Fognature "bianche" per acque meteoriche e fognature "miste"

Sono le fognature che da sempre hanno costretto gli ingegneri idraulici a svol-

gere una mole più o meno elevata di calcoli per ottenere un dimensionamento soddisfacente delle tubazioni. È necessario preliminarmente valutare una portata di piena, che viene indicata come *portata critica*, perché non deve essere così elevata da dar luogo ad opere dalla realizzazione troppo onerosa, né così piccola da provocare continue esondazioni nei centri abitati serviti.

Il metodo di verifica idraulica adottato in Italia nella stragrande maggioranza dei casi è il ben noto *metodo dell'invaso*, cioè quell'algoritmo non molto sofisticato ma tuttavia accettabile, che privilegia la funzione di laminazione dell'onda di piena svolta dai volumi disponibili nella rete di fognatura ed ancor prima in quella parte del bacino superficiale rappresentato dai tetti, dalle grondaie, dalla canalizzazione minore, dai pozzetti, dalle strade e soprattutto dalle superfici permeabili. Poiché sono note le approssimazioni che stanno alla base di questo *modello di calcolo concettuale*:

- *funzionamento autonomo* di ciascuna tubazione costituente la rete, la qual cosa esclude ogni fenomeno di rigurgito in tutte le tubazioni;
- *comportamento sincrono* della rete, con la conseguenza che tutte le tubazioni devono andare in piena contemporaneamente;
- deflusso del colmo di piena nelle tubazioni come se le *condizioni* fossero di *moto uniforme*;

da qualche anno anche in Italia hanno iniziato a diffondersi modelli di calcolo afflussi-deflussi "*fisicamente basati*", molto più onerosi per la massa di dati da elaborare, ma molto più aderenti a quanto avviene nella realtà fisica, che viene usualmente sottostimata dal metodo dell'invaso.

Per quanto riguarda la scelta ottimale dei materiali e la pendenza minima longitudinale delle tubazioni, rimane valido - come criterio di scelta di entrambi - il principio di assicurare l'*au-*

*topulizia della condotta*, in questo caso dalle sabbie che certamente vengono convogliate per trascinamento dalle sedi stradali soprattutto dopo lunghi periodi di tempo asciutto. Dunque andranno privilegiati i materiali che assicurano - anche per tubi di diametro medio e grande - superfici molto lisce a costi non eccessivi, mentre la resistenza all'aggressione chimica del fluido trasportato può non essere presa in considerazione, con l'eccezione dei tubi contenenti cemento, notoriamente sensibile all'attacco dei solfati.

Questa impostazione va un po' modificata qualora si vogliano realizzare le fognature "*miste*": la comodità di avere una sola canalizzazione per acque meteoriche e reflue viene in un certo senso scontata al momento della scelta ottimale del materiale. In questo caso, infatti, andrebbero scelti il gres o i materiali plastici quando le condotte trasportano solo liquami (in condizioni di tempo asciutto), mentre potrebbero essere sufficienti i minori requisiti di resistenza all'aggressione chimica richiesti per il trasporto delle acque meteoriche quando queste ultime si mescolano alle acque reflue.

In realtà questa distinzione così semplice tra fognature *bianche* e *miste* viene oggi sottoposta a critica, perché è ormai assodato che le cosiddette *acque di prima pioggia* sono altamente contaminate e dunque - come tali - appare non più proponibile il loro scarico diretto in un ambiente che si pretende sempre più tutelato e protetto. Le soluzioni per ovviare a questo stato di cose sono molteplici:

- **vasche di prima pioggia**, realizzate in linea o fuori linea rispetto al collettore principale, per accogliere e trattenere solamente le acque di prima pioggia, che usualmente vengono inviate alla successiva depurazione, in genere di tipo chimico-fisica;
- **vasche volano o di laminazione**, costruite di solito fuori linea a causa dei grandi volumi richiesti, per mezzo delle quali si attua uno sfalsamento temporale dei deflussi al fine di far fronte ad eventi meteorici più gravosi.

Per quanto riguarda la scelta dei materiali, rispetto alle fognature bianche la scelta cadrà preferibilmente sul PRFV o sul calcestruzzo e il fibrocemento, nei quali il cemento sia tassativamente di tipo ferrico, d'altoforno o pozzolanico. Bisogna inoltre tener conto del fatto che l'autopulizia della condotta deve essere assicurata anche e soprattutto in quei 270 giorni all'anno circa, durante i quali - nelle nostre regioni - il flusso della portata è molto ridotto per l'assenza di precipitazioni<sup>2</sup>.

### 3.1. Tubi in fibrocemento

Per la produzione dei tubi e degli elementi complementari sono impiegate miscele omogenee di cemento, fibre e acqua, trasportate in strati elementari di circa 0,2 mm da un feltro trasportatore

2) Questo era il motivo per cui, nei decenni passati, si erano affermate forme particolari e caratteristiche dei collettori per fognature miste, conosciute col termine di *ovoidali inglesi*: tuttavia le complicazioni costruttive e di posa in opera, le scarse garanzie sulla tenuta del giunto, la relativa facilità di produzione di forme circolari di diametro anche molto grande (sino a 3 m), nonché l'affermarsi delle fognature separate per le zone di nuova urbanizzazione, hanno quasi decretato la scomparsa di tali collettori.

3) In realtà, quando si parla di *amianto*, bisognerebbe distinguere questo gruppo di silicati fibrosi in:

- **amianti serpentine**: *crisotilo*;
  - **amianti anfiboli**: ad esempio la *crocidolite* e l'*amosite*;
- molto pericolosi questi ultimi, molto meno il primo.

e avvolte con una forte compressione intorno ad un cilindro d'acciaio che costituisce la cassaforma; una volta raggiunto lo spessore desiderato, il tubo viene calandrato, sottoposto a maturazione e tornito. Questa tecnologia, già nota sin dagli Anni '20 con l'impiego dell'amianto<sup>3</sup> come fibra, ha visto recentemente in Italia l'abbandono di questa sostanza per i problemi di salute che l'amianto pone quando viene inalato nella lavorazione a secco. Al suo posto vengono oggi impiegate varie sostanze polimeriche, come ad esempio il polivinilalcol ed il polietilene misti a cellulosa, conservando spesso per il resto persino il medesimo ciclo produttivo dei vecchi tubi in cemento-amianto. Le norme di riferimento per la produzione di tubi e pezzi speciali sono le EN 588/96 "Fibre-cement pipes for sewers and drains", che contemplano due tipi di prodotti: tipo TA (tecnologia dell'Amianto) per prodotti che contengono amianto crisotilo; tipo TN (tecnologia Non-amianto) per prodotti rinforzati con altre fibre e non contenenti amianto. In Italia la L. 257/92 consente l'impiego dei soli prodotti TN.

La norma EN 588 classifica i tubi in funzione della loro resistenza minima a rottura per schiacciamento: 60 - 90 - 120 kN/m<sup>2</sup>. I diametri nominali (corrispondenti a quelli interni) variano tra 100 e 2.500 mm e i tubi sono disponibili in varie lunghezze, comprese tra 2 e 6 m. Il giunto di gran lunga più usato è quello a manicotto, che deve poter resistere ad una pressione di prova di 1 bar anche in presenza di deviazioni angolari via via decrescenti all'aumentare del DN dei tubi: 30 mm/m per DN < 300 mm e 10.000/DN per DN > 1.000 mm.

La resistenza all'aggressione chimica è discreta e migliorabile con l'adozione di cementi ferrici o pozzolanici, mentre la resistenza all'abrasione non è elevata.

## 3.2. Tubi in calcestruzzo

Si dividono in 2 categorie: **c. armato** e **c. non armato**, quando l'area dell'armatura trasversale è inferiore a 0,25% dell'area della sezione di calcestruzzo; possono essere con o senza piede d'appoggio e vengono realizzati con vari procedimenti: vibrazione, vibrocompressione radiale, centrifugazione. Richiedono almeno 300 kg/m<sup>3</sup> di cemento ad alta resistenza, rapporti acqua/cemento non superiori a 0,35, stagionatura in ambienti ad elevata umidità relativa e a temperature non troppo basse. L'armatura è normalmente costituita da tondini disposti lungo le generatrici e da una o due spirali per l'armatura trasversale, destinata ad assorbire gli sforzi di trazione dovuti ai carichi esterni e all'eventuale pressione interna dell'acqua. Lo spessore del copriferro non deve essere inferiore a 25 mm e va aumentato in quei casi in cui il terreno di posa o il fluido convogliato siano particolarmente aggressivi.

Quali evoluzioni di questi tubi tradizionali, particolarmente interessanti appaiono i *tubi ad armatura diffusa* - che utilizzano fili di acciaio di piccolo diametro, variabile da 0,8 a 2 mm - ed in *calcestruzzo fibroarmato*, ottenuto annegando nel calcestruzzo fibre metalliche di varia forma in quantità comprese tra 15 e 25 kg/m<sup>3</sup>.

I giunti sono normalmente del tipo a bicchiere con anello elastomerico di tenuta, ma non mancano i giunti a manicotto, anche ricavato nello spessore della parete del tubo.

Le norme per i tubi prefabbricati in calcestruzzo sono: UNI 9354 del 1989 "Tubi di calcestruzzo non armato per fognature, a sezione interna circolare, senza piede d'appoggio" ed i progetti di norme UNI E07.04.088.0 del 1990 per i tubi con piede d'appoggio, ed

UNI E07.04.064.0 del 1993 ed UNI E07.04.0XX.0 per i tubi in calcestruzzo armato rispettivamente senza e con piede d'appoggio.

Attualmente le Norme UNI classificano i tubi in c. non armato per fognature in 3 classi (60 - 100 - 150 kN/m<sup>2</sup>) in funzione del carico minimo a rottura per schiacciamento e prevedono DN (pari al diametro interno) variabili tra 300 e 1.500 mm, con lunghezze nominali minime di 2 m.

La resistenza all'abrasione non è molto elevata e comunque dipende molto dalla lavorazione del calcestruzzo; la resistenza all'aggressione chimica dipende ancora dal grado di compattezza del calcestruzzo e dal cemento usato. È bene impiegare i tubi in calcestruzzo solo per le fognature bianche, adottando tutte le precauzioni espresse; l'usanza di proteggere l'interno della condotta con vernici a spessore (250 ÷ 400 μm) non appare un provvedimento efficace, perché la naturale abrasione cui è sottoposta la parte interna del tubo asporta facilmente tali protezioni.

## 3.3. Tubi in PRFV

Prodotti inizialmente per l'industria chimica per essere usati all'aperto, sono formati con tecniche anche molto diverse tra loro: avvolgimento su mandrino della fibra di vetro, aggiunta di cariche come la sabbia per aumentare la rigidità, centrifugazione, ecc. L'uso primitivo denuncia dunque le migliori caratteristiche di questo materiale: ottima resistenza chimica ai fluidi trasportati ed alla pressione interna; l'impiego per le condotte di fognatura ha invece richiesto un aumento della resistenza meccanica allo schiacciamento, definita dall'indice di rigidità trasversale  $RG = EI/D^3$ .

Le norme di riferimento sono le UNI 9032 del 1988 “*Tubi di resine termoidrurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Tipo, dimensioni e requisiti.*” e le UNI 9033 - dello stesso periodo - relative ai metodi di prova. Del 1992 è la versione preliminare del progetto di norma europea “*Plastics piping systems for non-pressure drainage and sewerage. Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) based on polyester resin (UP)*”. In funzione del metodo di fabbricazione e della composizione della parete, le UNI 9032 distinguono i tubi in PRFV in 6 classi (da A a F): per le fognature sono particolarmente usate la **classe C** [tubi in “aggregato” ottenuti per avvolgimento, nei quali oltre alle fibre di vetro di rinforzo è incorporata nella parete una carica minerale (usualmente sabbia)] e la **classe D** [tubi monoparete prodotti per centrifugazione]. I DN previsti e coincidenti con quelli interni sono compresi tra 100 e 4.000 mm, con 4 classi di rigidità: 1.250 - 2.500 - 5.000 - 10.000 Pa e con pressioni nominali comprese tra 1 e 40 bar.

Il progetto di norma europea prevede invece 5 classi di rigidità - in funzione del relativo indice RG, espresso in  $N/m^2$  - con un valore minimo della rigidità di lungo termine  $R_{lt}$  e con valori massimi ammissibili delle ovalizzazioni iniziali, ottenibili in laboratorio con le modalità stabilite dalla EN[155WI099], che non procurino rispettivamente *nessun danno visibile* ovvero *nessuna rottura strutturale*.

Ciò è esplicitato nella tabella 2. La lunghezza delle tubazioni in calcestruzzo è prevista con 3-5-6-10-12 m.

I giunti più usuali sono quello a banchiere con anello elastomerico di tenuta, oltre al giunto a manicotto; essi devono assicurare senza perdite un movimento di sfilamento non inferiore allo 0,3% della lunghezza effettiva del tubo ed una deviazione angolare minima compresa tra 3° per DN ≤ 500 mm e 0,5° per DN ≥ 1.800 mm.

RG 630	RG 1250	RG 2500	RG 5000	RG 10000
$R_{lt} = 250 \text{ Pa}$	$R_{lt} = 500 \text{ Pa}$	$R_{lt} = 1000 \text{ Pa}$	$R_{lt} = 2000 \text{ Pa}$	$R_{lt} = 4000 \text{ Pa}$
24%	18%	15%	12%	9%
40%	30%	25%	20%	15%

La lunghezza dei tubi è prevista di 3-5-6-10-12 m.

• Tabella 2 - Classi di rigidità in funzione del relativo indice RG

Il modulo elastico a flessione dipende dal tipo e dalla quantità del rinforzo in fibra di vetro e dalla quantità di ricarica: i valori iniziali sono dell'ordine di  $2,5 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$  per i tubi di classe A, di  $1,0 \cdot 10^6 \text{ N/cm}^2$  per quelli di classe C e D, mentre quelli finali possono ridursi di un fattore pari a 2,5.

La resistenza all'abrasione è abbastanza buona, quella all'aggressione chimica e alla temperatura può essere calibrata in funzione della scelta delle resine impiegate per la formazione dello strato più interno.

## 4. Situazioni particolari

Con questa locuzione si intende far riferimento alla realizzazione di tutti quei tratti di fognature che presentano problemi particolari: il superamento di un grosso corso d'acqua, di una linea ferroviaria, di un'autostrada, di una zona archeologica o a traffico molto sostenuto così da risultare improponibile una sua forte riduzione, di una zona paludosa o con frequenti e notevoli movimenti della superficie libera dell'acquifero; gli esempi potrebbero continuare, ma avrebbero tutti in comune l'esigenza che la tubazione abbia capacità eccezionali di resistenza alle sollecitazioni esterne. A queste situazioni si aggiungano anche tutti quei casi in cui vi è la necessità di far avvenire il trasporto in pressione, anziché a pelo libero.

La scelta ottimale del materiale con cui

realizzare tali fognature - di qualunque tipo esse siano - non può pertanto che cadere su materiali molto resistenti come la ghisa e l'acciaio, oppure adottando tecnologie costruttive del tutto diverse e molto recenti come il *microtunneling*, che prevede l'impiego di tubi in calcestruzzo (addizionato con polimeri) spinti nel terreno alla profondità voluta così da non interferire con altri servizi od ostacoli.

Nell'ipotesi di far ricorso all'acciaio o alla ghisa, il vantaggio dell'eccezionale resistenza meccanica del primo - ma anche della seconda qualora si ricorra alla *ghisa sferoidale* - viene controbilanciato dalla necessità di porre in essere per i tubi in acciaio una pesante protezione attiva ed un'ottima protezione passiva - sia esterna che interna - così come per i tubi in ghisa necessita almeno un'analogha protezione passiva sia nei confronti del terreno, sia rispetto al fluido trasportato, quand'anche si trattasse di acqua potabile. Se poi si ipotizza di impiegare tali tubi per le fognature, i problemi di protezione della loro parte interna sono evidentemente ancora più gravi, per la natura aggressiva di ciò che viene trasportato.

### 4.1. Tubi in acciaio

L'acciaio si ricava dalla ghisa mantenuta allo stato liquido e sottoposta ad affinazione; il contenuto di C varia da meno di 0,15% (*acciai extradolci* o

ferri omogenei) ad un massimo che è comunque inferiore a 1% (acciai extraduri).

I tubi in acciaio possono essere senza saldatura o saldati; la saldatura può essere longitudinale o elicoidale in funzione del diametro. Le norme di riferimento sono le UNI 6363/84 “Tubi di acciaio senza saldatura e saldati per condotte di acqua”, dalle quali sono tratte le caratteristiche meccaniche dell'acciaio riportate nella tabella 3. Le norme prevedono tubi dal DN 40 al DN 2.700 e 4 serie di spessori (A-B-C sino al DN 1.000 e U per i DN superiori). I rivestimenti esterni sono prodotti in conformità alle norme UNI 9099/89 per i rivestimenti esterni in polietilene applicato per estrusione e alle UNI 5256/87 per i rivestimenti esterni ed interni a base di bitume o di catrame.

I modi più usati per unire i tubi in acciaio sono:

- per saldatura, che può a sua volta essere:
  - di testa;
  - a bicchiere cilindrico;
  - a bicchiere sferico con o senza camera d'aria;
- a bicchiere con anello di tenuta in elastomero;
- a flange: che possono essere fisse saldate di testa o mobili ed orientabili;
- a manicotto con flangia di serraggio.

Nello scegliere il tipo di giunto più adatto va posta particolare attenzione alla natura del rivestimento interno protettivo, dando per scontato che quello esterno deve essere ripristinato, una volta eseguita la giunzione. A tal fine il giunto che dà maggiori garanzie è senza dubbio quello a bicchiere sferico con camera d'aria, molto adatto soprattutto per i grossi diametri. I giunti con anello di tenuta in elastomero, poiché interrompono la continuità elettrica della tubazione, sono invece da evitare

Tipo di acciaio	carico di snervamento [N/mm <sup>2</sup> ]	carico di rottura [N/mm <sup>2</sup> ]	allungamento
FE 360	235	360	25%
FE 410	255	410	22%
FE 510	355	510	20%

• Tabella 3 - Caratteristiche meccaniche dell'acciaio

qualora sia necessario realizzare la protezione attiva. In definitiva, si può concludere che le delicate e complicate operazioni da effettuare per garantire la continuità delle protezioni dei tubi in acciaio trovano giustificazione solamente per tratti limitati di condotte o in situazioni ambientali veramente difficili, senza tuttavia garantire - per la parte interna del tubo, sia che si adottino rivestimenti cementizi ovvero bituminosi o epossidici o poliammidici - quella resistenza all'aggressione chimica e all'abrasione fornita dai materiali plastici e soprattutto dal gres.

## 4.2. Tubi in ghisa

La ghisa è una lega di ferro e carbonio (con l'aggiunta normalmente di silicio), nella quale il C si trova in quantità compatibili con il raffreddamento condotto in modo da passare per il punto eutettico. La ghisa oggi impiegata per i tubi è esclusivamente quella **sferoidale**, ottenuta con un “trattamento al magnesio” del metallo fuso, in modo che le particelle di grafite presenti assumano la tipica forma sferoidale, da cui il nome.

La ghisa sferoidale è duttile, cioè ha un elevato allungamento a rottura; ha grande resistenza alla trazione ed un alto modulo di elasticità; assorbe bene le vibrazioni ed ha una buona lavorabilità. I tubi vengono prodotti per centrifugazione e rivestiti all'esterno con zinco metallico più uno strato di bitume, all'interno con malta di cemento

alluminoso.

Le norme di riferimento sono le recentissime norme europee EN 598 (ed. 1995) “Tubi, raccordi ed accessori di ghisa sferoidale e loro assemblaggi per fognatura. Prescrizioni e metodi di prova”, che sostituiscono le UNI ISO 7186/83 relative alle tubazioni per fognature a gravità; per i rivestimenti le UNI ISO 8179/86 (esterno in zinco) e le UNI ISO 4179/87 (interno in malta cementizia centrifugata); per i giunti le UNI 9163/87 (elastico automatico) e le UNI 9164/87 (elastico a serraggio meccanico). I tubi prodotti vanno dal DN 100 al DN 2600 mm, con lunghezze utili variabili da 4 a 8 m. Esiste inoltre una vasta quantità di pezzi speciali ed accessori quali curve, raccordi, T, riduzioni, imbocchi, pozzetti, ecc..

Il sistema più usato di giunzione fra tubi è il giunto a bicchiere con elemento di tenuta in elastomero, noto col termine di *giunto rapido*; esso consente deviazioni angolari comprese tra 5° per DN ≤150 mm e 1° 30' per DN ≥700 mm; esiste di questo giunto anche una versione che resiste a trazione (*giunto antisfilamento*).

La resistenza all'aggressione chimica dei reflui civili è buona in quasi tutte le circostanze, sino a che il pH rimane compreso tra 4 e 12; in casi particolari è prevista l'adozione di un rivestimento interno in poliuretano. La resistenza all'abrasione è discreta, per l'elevata compattezza del rivestimento interno in malta di cemento centrifugata.

La resistenza all'aggressività dei terreni è affidata alla zincatura per i tubi e al rivestimento in resina epossidica per i pezzi speciali e i raccordi; qualora i suoli abbiano bassa resistività (<1.500

Ω al di sopra della falda o < 2.500 Ω al di sotto) e alta acidità (pH < 6) è opportuno rinunciare ai tubi in ghisa sferoidale, dal momento che il manicotto in polietilene - previsto tutt'intorno al tubo sulla sua superficie esterna - non dà garanzie di essere messo in opera integro. A questo si aggiunga l'impossibilità di poter effettuare una valida protezione attiva con anodi sacrificali o con corrente impressa, se non a costo di ripristinare tubo per tubo la continuità elettrica interrotta dall'elemento di tenuta del giunto rapido.

## 5. Aspetti economici nella scelta dei materiali

La controversa questione della determinazione della corretta incidenza del costo del materiale scelto per le tubazioni, nello spiegare il costo complessivo di realizzazione della rete di fognatura, trova la sua ragion d'essere nell'obiettivo difficoltà di riuscire a quantificare con opportuni parametri voci anche assai diverse da caso a caso: diametri che variano da qualche decina a parecchie decine di centimetri, situazioni di posa assai disagiate con presenza di molti sottoservizi oppure scavo in campagna senza vincoli particolari, distanza della discarica alla quale conferire il materiale scavato, presenza di falda che interessa lo scavo, problemi particolari nel ripristino della sede stradale e vincoli archeologici. Tuttavia l'ordine di grandezza di quanto pesa economicamente la scelta del materiale viene in genere oggi individuato in un minimo del 10% per i materiali meno costosi (come il calcestruzzo) ed i diametri più piccoli, sino ad un massimo del 25% nel campo dei diametri medi (500 ÷ 600 mm) e per materiali piuttosto costosi, come ad esempio il PRFV.

Il gres, notoriamente molto usato soprattutto per le fognature nere, viene mediamente ad incidere per circa il 18% del costo totale di costruzione della rete.

Se, a titolo di esempio, si volesse approfondire il confronto, in funzione dei diametri più usati, per due materiali come il **gres** e la **ghisa sferoidale** - notoriamente ottima per il trasporto in pressione di acqua potabile e che le recenti norme europee EN 598 hanno riconfermato anche per le fognature - si ricava un'ulteriore divaricazione dei costi, con un'incidenza, per quest'ultimo materiale, che normalmente arriva al 40% e spesso risulta ancora superiore. Infatti dalla Tab. 4 si può constatare che il costo di un tubo in ghisa sferoidale, opportunamente protetto sia all'interno che all'esterno, è maggiore del doppio del corrispondente tubo in gres: in entrambi i casi ai prezzi di listino si possono applicare i consueti sconti, che per grosse forniture arrivano attualmente anche al 35 ÷ 40% del totale.

Si deduce che l'impiego dei tubi in ghisa sferoidale per fognature deve essere riservato ai soli casi di sollecitazioni meccaniche molto elevate, così da sfruttare al meglio le notevoli carat-

teristiche meccaniche di questo materiale, che tuttavia presenta i limiti tipici dei materiali cementizi per la resistenza all'aggressione del fluido trasportato - per quanto riguarda la superficie interna - e dei materiali metallici per la resistenza alla corrosione da parte del terreno, per quanto riguarda la parte esterna.

## 6. Conclusioni

Lo spinoso problema della scelta ottimale dei materiali con cui realizzare le condotte di fognatura non ammette evidentemente un'unica soluzione, ma richiede almeno la decisione preventiva del tipo di fognatura: *nera, bianca o mista*.

Per le **fognature nere** saranno infatti da anteporre ad altre caratteristiche l'ottima resistenza del manufatto all'aggressione chimica e all'abrasione meccanica, non disgiunte da una buona resistenza meccanica: materiale migliore in questo settore continua ad essere il gres, seguito dai materiali plastici relativamente nuovi come il PE ed il PVC.

PREZZI DI LISTINO (gennaio 1998) di tubi in gres ed in ghisa sferoidale per fognature.		
DN (mm)	tubi in GRES <sup>4</sup> (Lire/m)	tubi per fognatura in GHISA SFEROIDALE <sup>5</sup> (Lire/m)
200	46.100	108.000
250	59.000	141.000
300	77.900	180.000
350	94.700	232.000
400	117.200	276.500
500	174.900	365.500

• Tabella 4 - Prezzi di listino (gennaio '98) di tubi in gres ed in ghisa sferoidale per fognature

4) Con riferimento alla UNI EN 295, è stata considerata la classe 160 kN/m<sup>2</sup> per i tubi sino al DN 300, la classe 120 kN/m<sup>2</sup> per quelli a DN maggiore.

5) Tubi protetti all'interno con malta di cemento alluminoso e rivestiti all'esterno con bitume e manicotto in poliuretano.

Per le *fognature bianche* - tenuto conto che un grosso investimento va fatto comunque per la realizzazione della fognatura nera - può essere privilegiato l'aspetto economico e dunque il materiale più adatto nel campo dei diametri medi ed elevati risulta essere il calcestruzzo armato oppure no, purché il cemento sia di tipo ferrico, pozzolanico o d'altoforno. Volendo impiegare prodotti tecnologicamente più raffinati e soprattutto per le *fognature miste* - ove per le forti escursioni di portata sono apprezzati i tubi idraulicamente molto poco scabri - si può optare per i tubi in PRFV o in fibrocemento, purché il cemento sia del tipo poco sopra ricordato. Infine in quelle *situazioni particolari* in cui le fognature devono attraversare ostacoli di grandi dimensioni o infrastrutture che comportano la trasmissione di carichi molto elevati, oppure è previsto vadano in pressione, possono essere presi in considerazione i tubi in acciaio e in ghisa sferoidale, materiali di eccezionale resistenza meccanica, anche se facilmente attaccabili all'esterno per effetto della corrosione elettrolitica che si sviluppa nel terreno e all'interno per la presenza del fluido trasportato; le soluzioni tecniche per ridurre l'incidenza di questi problemi comportano un sensibile aggravio dei costi, quantificabile in almeno il 40% del costo di realizzazione della rete di fognatura per la ghisa sferoidale, rispetto ad un'incidenza inferiore al 20%, sia pure valutata per un altro materiale pregiato come il gres.

## Bibliografia

Artina S., Calenda G., Calomino F., Cao C., La Loggia G., Modica C., Paoletti A., Papiri S., Rasulo G., Veltri P. (a cura di). Sistemi di fognatura - Manuale di progettazione. Centro Studi

Deflussi Urbani, Hoepli Ed., Milano, 1997.

Bertola P., Zannetti R. (1985). Alcune considerazioni sulla resistenza delle tubazioni in polietilene ad alta densità (PEAD) impiegate negli acquedotti. *Ingegneria Sanitaria*, 5, 283-290.

Gazzetta ufficiale delle comunità europee (1991). Direttiva del Consiglio 21 maggio 1991 (91/271/CEE) concernente il trattamento delle acque reflue urbane. G.U.C.E. n. L135 del 30/05/91.

Salvi M. (1997). Evoluzione del concetto di abrasione nelle condotte fognarie: metodi di prova e grado di risposta offerto da differenti materiali. GRES ECONews n. 1, 1997.

Steiner H. R. (1992). Comportamento delle condotte fognarie durante la pulizia con lavaggio ad alta pressione. Convegno internazionale FEUGRES, Bruxelles. Pubblicato in Italia su GRES ECONews n. 1, 1993.