

15 Le condotte in PVC rigido

15.1 Processi di trasformazione per tubi in PVC

Tutti i processi di trasformazione iniziano con la preparazione della formulazione chimica a seconda della classe di tubazione che si deve produrre. Generalmente in una mescola per il creare la tubazione da produrre si contano da 7 a 10 additivi, tutti precisamente calcolati in quanto i loro dosaggi devono conferire le proprietà perseguite.

15.1.1 Tipologia delle tubazioni

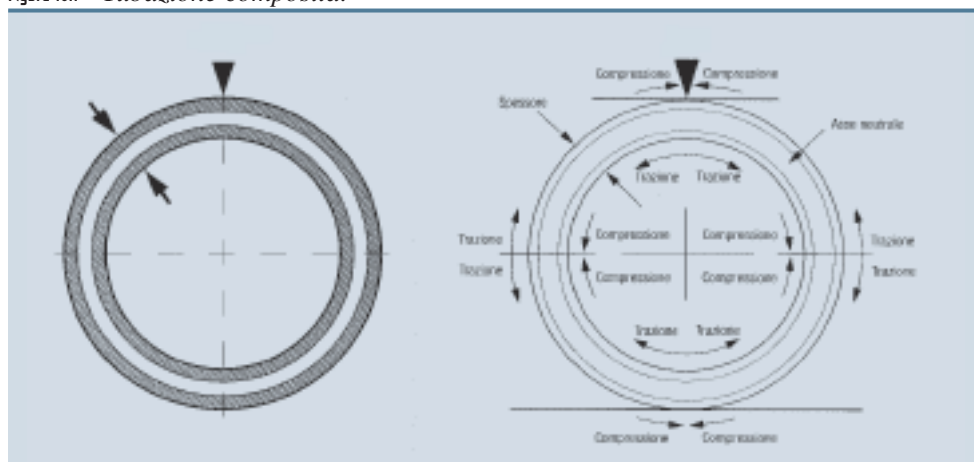
Tubazioni compatte

Sono ottenute mediante un processo di estrusione per mezzo del quale la mescola viene fatta passare in una sezione anulare. In questo modo il tubo presenta spessore omogeneo e una sezione compatta.

Tubazioni composite o multistrato (per scarichi interrati non in pressione)

Sono tubazioni ottenute grazie ad una avanzata tecnologia di estrusione mediante la quale le pareti esterna ed interna del tubo sono prodotte con una speciale mescola di PVC ad alte prestazioni che conferisce una buona resistenza meccanica all'abrasione e alle sostanze chimiche. Lo strato centrale è costituito da PVC microcellulare espanso a

Figura 15.1 - Tubazione composita.



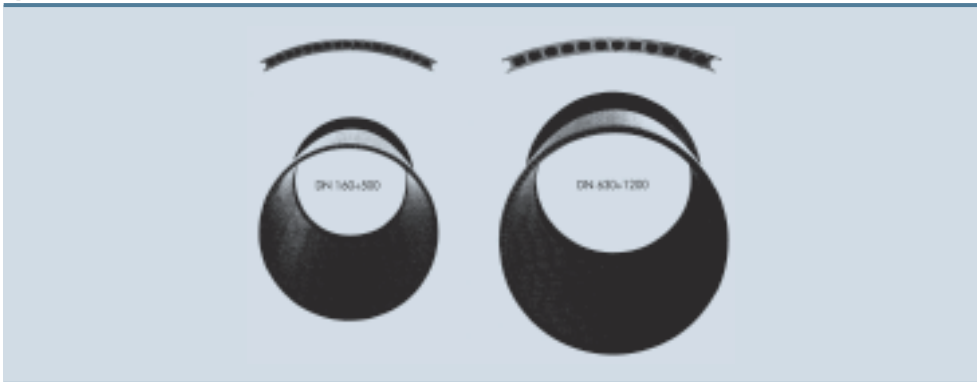
celle chiuse che riduce il peso della tubazione, migliora la posa in opera mantenendo la rigidità (SN 4- SN 8) prevista dal campo di applicazione. La struttura assicura un'ottima resistenza ai carichi nel breve e nel lungo periodo. Gli sforzi di trazione e compressione a cui le condotte sono sottoposte sono ripartiti sulle pareti esterna ed interna lasciando neutra la parte centrale. Vengono utilizzate nei più importanti paesi Europei per le elevate prestazioni e garanzie. La posa in opera è eseguita come per le tubazioni in PVC compatto.

Tubazioni Alveolari

Queste tubazioni sono caratterizzate da una struttura ad alveoli distribuiti per tutta la lunghezza longitudinale.

La struttura di queste tubazioni è ammissibile a quelle di una trave a doppia T e assicura un'ottima resistenza ai carichi nel breve e nel lungo periodo. La miscela di PVC ad alta prestazione meccanica conferisce un'ottima resistenza all'abrasione e alle sostanze chimiche. Queste particolari tubazioni per la struttura che assumono, raggiungono valori di rigidità più elevate di quelle garantite dalle tubazioni a parete compatta.

Figura 15.2 - Tubazioni alveolari.



Tubazioni a doppia parte corrugata

Si ottengono mediante un processo di estrusione. La parte esterna del tubo viene corrugata da una particolare macchina, che lascia la parte interna liscia. Le tubazioni si realizzano con giunti a bicchiere. La particolare forma della tubazione conferisce maggiore momento di inerzia, senza necessità di aumento di peso a causa dell'aumento dello spessore della parete.

Tubazioni con PVC orientato (PVC- O)

Queste tubazioni sono prodotte mediante un processo che permette il riorientamento delle larghe catene di PVC ottenute dal processo di estrusione. Il riorientamento in direzione longitudinale e/o circonferenziale permette il miglioramento delle proprietà fisiche.

Per fare avvenire la riorientazione si fa aumentare la temperatura fino ad un valore appropriato e poi si applica una pressione alla parte interiore dello stampo. Si ottiene in questo modo una grande tensione circonferenziale, maggiore resistenza all'impatto, maggiore resistenza alla fatica, peso ridotto, maggiori diametri interni, maggiori capacità di portata.

Tubazioni in lega polimerica (PVC-A)

Queste tubazioni sono costituite da una nuova lega polimerica, frutto di una ricerca iniziata nel 1990. Dal 1995 sono state lanciate sul mercato e hanno ottenuto un grande successo poiché possiedono un'alta resistenza meccanica combinata con la duttilità. La lega è costituita da cloruro di polietilene, polivinil cloruro e derivati acrilici particolari.

La proprietà del materiale sono tali che gli alti livelli di resistenza alla rottura, anche in presenza di crepe, combinati con l'alto carico di snervamento (duttilità), portano a prestazioni superiori ai materiali plastici tradizionali come il polietilene media ed alta densità e PVC.

Le tubazioni in PVC-A sono state progettate sia per acquedotti ed irrigazioni che per fognature e scarichi. L'utilizzo della nuova lega le rende migliori in modo significativo per le prestazioni in tre aree chiave: perdite d'acqua, qualità dell'acqua, costo e durata di esercizio.

15.1.2 Descrizione dei processi di trasformazione

Le tubazioni in PVC vengono prodotte mediante il processo di estrusione.

La macchina in cui avviene il processo è detta estrusore ed è costituita da una lunga vite contenuta all'interno di un cilindro. La miscela di PVC e additivi viene immessa da un estremo e grazie alla vite senza fine può essere trasportata all'estremo opposto.

Oltre a trasportare il materiale, la vite senza fine lo comprime, lo gelificano e lo mescolano generano una miscela omogenea. Alla fine del cilindro, il tubo viene calibrato, raffreddato e così indurito, stirato, timbrato ed stoccato.

Il processo di estrusione è continuo, perciò la lunghezza dei tubi è limitata solo dalla possibilità di trasporto.

Sono importanti anche altri due processi accessori a quello dell'estrusione: la preparazione della miscela e della rifinitura finale del tubo.

La miscela viene preparata in due miscelatori: uno caldo e uno freddo. Nel primo il PVC viene mescolato con i suoi additivi e la temperatura è portata a circa 120°C alla quale parte degli additivi fondono e si uniscono intimamente alle molecole di PVC. Nella seconda fase, i miscelatori hanno la funzione di riportare la miscela a temperatura ambiente.

Al termine della produzione della tubazione si inseriscono delle macchine automatiche o semi automatiche che conferiscono alla tubazione i diversi tipi di giunto che permetteranno il loro accoppiamento in opera. Al termine della produzione le tubazioni sono stoccate in attesa del controllo di qualità e quindi inviate ai clienti.

La produzione del PVC è molto pulita in quanto non produce polveri, né gas nocivi, nessun rumore molesto, non esiste pericolo di incendio essendo il PVC un materiale autoestingente, il consumo energetico è molto basso: da 0,5 a 1 KW/kg di tubo.

Le quantità di petrolio equivalente necessarie alla produzione di 100 metri di tubazione di 100 mm di diametro sono:

- ghisa: 1970 kg equivalenti di petrolio;
- PVC: 154 kg equivalenti di petrolio.

Fabbricazione delle tubazioni in parete strutturata

L'evoluzione delle tecnologie di fabbricazione dei tubi ha permesso la realizzazione:

- Tubazioni con parete semplice o doppia corrugata;
- Tubazioni composite;
- Tubazioni alveolari.

L'estrusione è una tecnica particolare che permette di realizzare anche tubazioni composite. Si riescono così ad ottenere le strutture rigide con minor impiego di materiale. Si ha così una riduzione del 20-30% del peso del tubo a parità di caratteristiche meccaniche e migliorando anche le condizioni di isolamento acustico. Per la fabbricazione di queste tubazioni sono necessari due o tre estrusori.

Le tubazioni con parete semplice o doppia corrugata vengono fabbricati per coestruzione. Le macchine sono particolari perché permettono che il tubo venga corrugato dall'esterno, mentre l'interno rimane liscio. Si uniscono per termofusione, collegandosi la parte corrugata con quella liscia e generando così una tubazione strutturata costituita da anelli continui.

15.1.3 Caratteristiche generali dei tubi in PVC

15.1.3.1 Densità

La densità del PVC è 1,40 g/dm³. Sono gli additivi solidi o liquidi che possono far variare la densità. Le norme fissano un valore di densità massima per ogni applicazione. All'aumentare della densità generalmente si riducono le proprietà di resistenza a trazione e all'impatto (in particolare in seguito ad aggiunta di CaCO₃), per questo gli additivi devono essere controllati per non superare la densità massima fissata dalle norme.

15.1.3.2 Elasticità

L'elasticità è la forza che si oppone alla deformazione della tubazione e quando questa viene rilasciata tende a far tornare il materiale nella posizione iniziale. Se la deformazione supera un certo limite, allora questa tenderà a persistere. Se la deformazione continua dopo il superamento del limite di elasticità si può arrivare alla rottura. La legge di Hooke per i materiali viscoelastici non è valida e i diagrammi sforzi deformazioni sono variabili a seconda delle modalità di applicazione del carico e dalla temperatura.

Per ottenere il diagramma sforzi deformazioni medio, generalmente si applica una deformazione ad un provino e si registrano le variazioni di sforzo.

Si definisce sforzi di trazione nominare il rapporto tra la forza applicata agli estremi del provino e la superficie sulla quale si distribuisce A:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

La deformazione, a partire da una lunghezza iniziale del provino l_0 , fino al raggiungimento della lunghezza l_1 , si valuta con il rapporto:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

Di solito questa deformazione viene espressa in percentuale.

Se, come per l'acciaio, nel PVC si mostra una parte iniziale della curva di tipo lineare, allora si potrà esprimere il rapporto tra sforzi e deformazioni mediante il modulo elastico E:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = 36000 \text{ kg / cm}^2 \approx 3600 \text{ MPa}$$

(Il valore di E dipende dalla mescola).

15.1.3.3 Modulo elastico

Se si vogliono determinare tutte le caratteristiche del materiale PVC, si devono anche calcolare anche le grandezze come la trazione, la compressione e lo scorrimento.

Lo sforzo di flessione definito come la tensione massima nella sezione di applicazione dei carichi, si calcola con le relazioni valide per l'elasticità (dimensioni del provino $b \times l \times e$), che presuppongono che l'asse neutro coincida con l'asse geometrico:

$$\sigma = \frac{M}{A} = \frac{6 \cdot F \cdot l}{b \cdot e^2}$$

Il modulo elastico a flessione si considera come quello a trazione di circa 3600 MPa.

Le tubazioni in PVC rigido possono ammettere una certa flessione per adattarsi ai carichi sovrapposti, e la massima deformazione permessa è di circa il 5% del diametro esterno.

15.1.3.4 Durabilità

Le tubazioni in PVC sono progettate per una vita minima di 50 anni. Si stanno studiando le influenze della pressione interna applicata alle tubazioni per differenti temperature. Le tubazioni in PVC rigido rispondono alla presenza di una pressione interna come tutti i materiali plastici, cioè si ha lo spostamento e il fluage delle molecole. Questo è conseguenza del fatto che la relazione tra sforzi e deformazioni non è indipendente dal tempo, come sarebbe per i materiali elastici. Per questo nel progetto delle tubazioni in PVC si applica un coefficiente di sicurezza che fa in modo di assicurare una vita utile delle tubazioni di 50 anni.

15.1.3.5. Caratteristiche termiche ed elettriche

La capacità termica è una caratteristica molto importante. Viene calcolata come il rapporto tra la conducibilità e la capacità calorica per unità spaziale:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \text{ cm / s}$$

in cui λ è la conducibilità termica in $\text{cal}/(\text{cm s } ^\circ\text{C})$, c è il calore specifico in $\text{cal} / (\text{g } ^\circ\text{C})$, ρ è la densità in g/cm^3 .

La conducibilità termica del PVC è di circa $0,122 \text{ kcal}/(\text{m h } ^\circ\text{C}) = 0,14 \text{ W}/(\text{m K})$.

La conducibilità elettrica di una polvere di PVC in acqua indica il contenuto di conduttori idrosolubili. La resina di PVC mostra bassi valori di conducibilità termica, anche se questi indici possono essere modificati dalla presenza di particolari additivi.

Si riportano di seguito alcuni valori di conducibilità elettrica (che si misura in Siemens $S = 1/\Omega = A/V$):

- PVC in sospensione o in massa: $10\text{-}20\mu\text{S}/\text{cm}$;
- Isolanti elettrici: $10^{-22}\text{-}10^{-12} \text{ S}/\text{cm}$;
- Semiconduttori: $10^{-12}\text{-}10^3 \text{ S}/\text{cm}$;
- Conduttori: $>10^3 \text{ S}/\text{cm}$

La maggior parte dei polimeri utilizzati in commercio sono isolanti.

La rigidezza dielettrica del PVC è di $20\text{-}40 \text{ kV}/\text{mm}$.

15.1.3.6 Abrasione/scabrezza

Le tubazioni in PVC hanno una elevata resistenza all'abrasione e uno dei loro vantaggi è proprio l'estrema levigatezza delle pareti interne che assicurano perdite di carico modeste.

Durante la circolazione di acqua (o di altri fluidi) si producono degli attriti tra le particelle di questa e le pareti della tubazioni. L'attrito viene definito dal coefficiente λ e dipende dalla rugosità interna della tubazione.

La rugosità assoluta K è la massima delle rugosità relative K/D che si possono trovare all'interno di una tubazione di diametro D .

Si riportano in tabella 15.1 i valori di rugosità assoluta per diverse tubazioni in commercio.

Si può notare che le tubazioni in PVC hanno una minore rugosità e questo favorisce la presenza di minori perdite di carico e di conseguenza maggior materiale trasportato, maggiore difficoltà alla generazione di incrostazioni e minori consumi energetici a parità di materiale trasportato.

Tabella 15.1

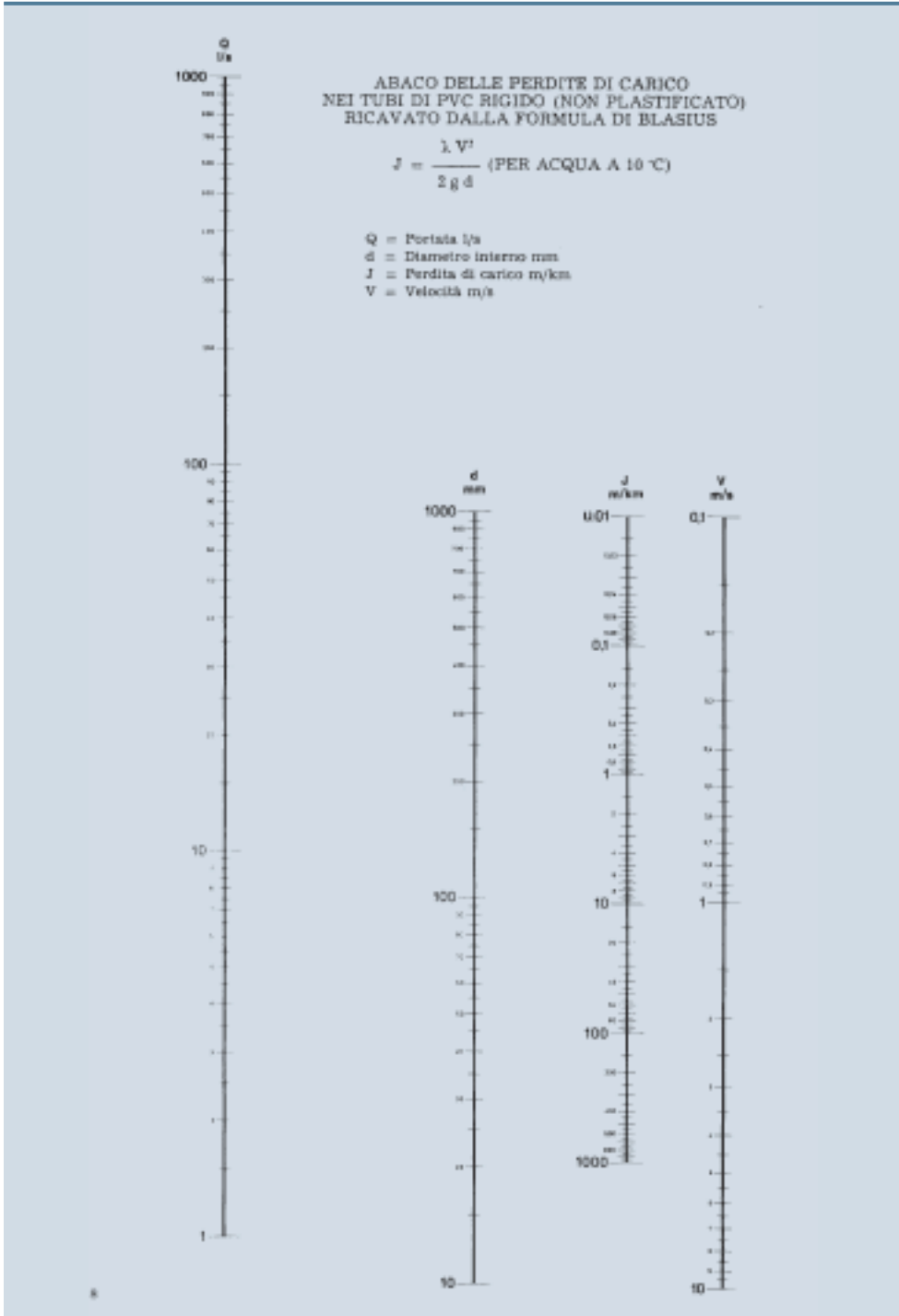
<i>Tipo di tubazione</i>	<i>Rugosità assoluta</i>
■ Ghisa senza rivestimento	0,25
■ Ghisa rivestita centrifugata	0,50
■ Ferro galvanizzato	0,025
■ Fibrocemento senza rivestimento	0,025
■ Calcestruzzo formato in stampi	0,40
■ Calcestruzzo centrifugato	0,25
■ Calcestruzzo in tubazioni	1,25
■ PVC	0,007

15.1.4 Applicazioni principali dei tubi in PVC rigido

Le principali applicazioni delle tubazioni in PVC rigido sono nel trasporto di acqua potabile per gli acquedotti, per lo smaltimento delle acque pluviali e delle acque nere dalle abitazioni. Si utilizzano anche per drenaggi agricoli e per opere civili, per la protezione dei cavi elettrici e reti interrato per lo spegnimento degli incendi. Anche le tubazioni per i canali di ventilazione e aerazione possono essere costituite da tubazioni in PVC rigido e una ulteriore applicazione è quella industriale per il trasporto di fluidi alcalini e acidi.

I tubi in pressione in PVC si sono rivelati di qualità di gran lunga superiore rispetto agli altri materiali usati per il convogliamento e la distribuzione di acqua potabile. Il PVC viene infatti scelto per le caratteristiche di resistenza alla corrosione rispetto ai tubi metallici e cementizi in terreni acquitrinosi e salmastri. Esso risulta inattaccabile dalle incrostazioni calcaree, che normalmente si formano sulle superfici metalliche, con esiti migliori per la purezza dell'acqua.

Figura 15.3 - Abaco valido per tubi pieni in pressione.



Ultimamente sono state realizzate alcune tubazioni eliminando ogni elemento metallico dal prodotto, con esclusivo stabilizzante completamente organico. Già da qualche anno infatti è possibile stabilizzare con sistemi calcio-zinco ottenendo anche migliori caratteristiche meccaniche rispetto ai sistemi di stabilizzazione tradizionali. Questo stabilizzante consente anche il riciclaggio e lo smaltimento dei rifiuti. Queste tubazioni sono inoltre dotate di un nuovo sistema di unione, con esclusivo anello pre-inserito realizzato in polipropilene e gomma EPDM dalla caratteristica flessibilità e indeformabilità, privo di qualsiasi elemento metallico al suo interno e pertanto particolarmente indicato per la conduzione di acqua potabile.

I tubi per la realizzazione di fognature hanno già dimostrato le loro qualità rispetto agli altri materiali tradizionalmente utilizzati nelle condotte di acque usate. La versatilità di impiego, grazie alla resistenza al fuoco e alla gran parte degli agenti chimici, all'intaccabilità da parte di muffe e alghe, roditori e insetti, rende i tubi per fognatura idonei a tutte le situazioni che prevedono la costruzione di condotte di scarico interrate ed esterne.

Il tubo e il raccordo in PVC rigido non plastificato trova la più ampia applicazione nel campo delle condotte di acqua, per scariche civili ed industriali, per fognatura, acquedotti, irrigazione. Un esempio del dimensionamento di una condotta è deducibile dall'abaco di figura 15.3.

15.2 Requisiti delle tubazioni in PVC

Le tubazioni in PVC devono essere prodotte con determinate caratteristiche a seconda della loro futura applicazione in accordo con le norme UNI e/o EN. Gli organismi di certificazione controllano la corretta applicazione delle norme, certificando i prodotti.

15.2.1 Resistenza alla pressione interna

Il comportamento del materiale e al sua resistenza variano a seconda del tempo a cui la tubazione è sottoposta a tensione costante. Le tubazioni vengono progettate considerando la tensione minore necessaria al suo lavoro e utilizzando opportuni coefficienti di sicurezza per garantire una vita dell'opera di almeno 50 anni. Per determinare i parametri di progetto si valuta la resistenza della tubazione alle temperature di 20° - 40° - 60° - 80°C.

Il valore delle tensione tangenziale di progetto viene ricavata dalle curve di regressione che si trovano in carta bilogarithmica e che mettono in relazione gli sforzi tangenziali e il tempo minimo per cui si ha la rottura del materiale. Estrapolando queste curva, si può ricavare il valore di tensione minima richiesta per il PVC rigido che è il valore di tensione tangenziale a 20°C per 50 anni. Questo valore è 25 MPa, che applicando un coefficiente di sicurezza di 2,5 permette di ricavare una tensione di progetto di 10 Mpa per le tubazioni fino ad un diametro di 90 mm. Per diametri di 110 mm o superiori si può considerare una tensione di progetto di 12,5 MPa, applicando cioè un coefficiente di sicurezza 2.

La norma UNI-EN 1452-2 valuta le caratteristiche delle tubazioni sottoposte anche a pressione secondo la procedura della norma EN 921. Per realizzare le prove si devono utilizzare spezzoni di tubazione di lunghezza minima L (mm):

$$L = 3D_e + x$$

in cui D_e è il diametro esterno del tubo in mm e x è la lunghezza delle tamponi di chiusura.

Prima dell'esecuzione della prova si riempiono d'acqua la vasca che deve essere alla temperatura della prova (da 20° a 60°C). La pressione nominale del tubo dipende non solo dalla serie del tubo, ma anche dal suo diametro in quanto, detto C il coefficiente di sicurezza, si ha:

$$C = 2,5 \text{ per } DN \leq 90$$

$$C = 2 \text{ per } DN > 90$$

La pressione nominale PN è data dalla formula:

$$PN = 20 \cdot \frac{MRS \cdot e}{C \cdot (DN - e)}$$

in cui MRS è la tensione minima richiesta dalla tubazione e invece è lo spessore e DN è il diametro nominale esterno.

Detto SDR il rapporto tra il diametro nominale esterno DN e lo spessore e del tubo e S la serie del tubo si ha:

$$S = \frac{DN - e}{2e}$$

$$SDR = \frac{DN}{e} = 2S + 1$$

La pressione deve essere mantenuta per tutta la prova con una variazione massima di $\pm 2,5$. Le caratteristiche per condurre la prova sono riportate nella tabella 15.2.

Tabella 15.2

Temperatura °C	Durata delle prova H	Sforzo tangenziale MPa
■ 20	1	42
■ 20	100	35
■ 60	1000	12,5

15.2.2 Resistenza allo schiacciamento

Spesso le tubazioni in PVC rigido sono installate nel sottosuolo e per questo devono essere in grado di sopportare il carico geostatico e quello dei carichi esterni come quelli veicolari. Grazie alla loro flessibilità si comportano in modo diverso dalle tubazioni rigide che possono anche arrivare alla rottura. Infatti a causa dei carichi i tubi possono inoltre flettersi e deformati ovalizzandosi.

La flessibilità delle tubazioni è vantaggiosa perchè permette di mantenere l'integrità delle tubazioni.

Secondo la teoria di Marston esistono delle forze di costipamento dei terreni che permettono una riduzione dei carichi applicati sopra alla tubazione e queste forze agiscono in maniera contraria a quelle del peso del terreno di riempimento. Queste forze

nascono nel momento in cui c'è una leggera deformazione della tubazione, per cui si verifica un alleggerimento dei carichi verticali.

I valori suggeriti dalla norma UNI-EN 1401 sono:

- rigidità anulare specifica (stiffness): SN 2 – 4 - 8 - 16(kN/m²);
- deformazione verticale del tubo: $\Delta\gamma \leq 4,77 P/L$ in cui P è il carico applicato sulla generatrice superiore espresso in Newton, L è la lunghezza del provino in mm, $\Delta\gamma$ è il valore della deformazione aspettata espressa in mm.

Il risultato della prova si ottiene applicando la formula:

$$stiffness = 0,01863 \frac{1}{L} \frac{P}{\Delta\gamma}$$

in cui *Stiffness* è la rigidità anulare specifica in N/m², L la lunghezza del provino in metri, P è il carico applicato in Newton, $\Delta\gamma$ è la deformazione in mm.

La rigidità anulare specifica ha anche un'altra formulazione:

$$stiffness = \frac{EcI}{D_m^3}$$

in cui E_c è il modulo di Young in N/m², I è il momento di inerzia per metro lineare espresso in m³, e è lo spessore, mentre D_m è il diametro dell'asse neutro, in metri.

15.2.3 Resistenza alla flessione

Le tubazioni interrate si comportano come un materiale elastico in un mezzo elastico.

Le tubazioni in plastica possono subire anche grandi deformazioni prima di arrivare alla rottura e l'interazione suolo-tubazione si può schematizzare come un materiale che si deforma man mano che vengono applicati i carichi superiori. La tubazione si ovalizza e il diametro misurato in orizzontale aumenta esercitando una pressione sul terreno laterale. Quest'ultimo, a sua volta, esercita una pressione di reazione. È importante osservare che, anche se il tubo si ovalizza del 10%, la perdita di resistenza è del 2%, per cui si assicura comunque la possibilità di lavoro della tubazione.

I fattori che influiscono principalmente sulla deformazione delle tubazione sono la profondità di interramento, i carichi veicolari, la rigidità del tubo, la tipologia del materiale di riempimento e il grado di compattazione.

15.2.4 Resistenza all'impatto

I materiali plastici sono sempre stati considerati meno fragili del vetro e dei materiali ceramici e la loro resistenza agli urti può essere migliorata inserendo degli additivi nella formulazione e con l'orientazione molecolare durante il processo di fabbricazione.

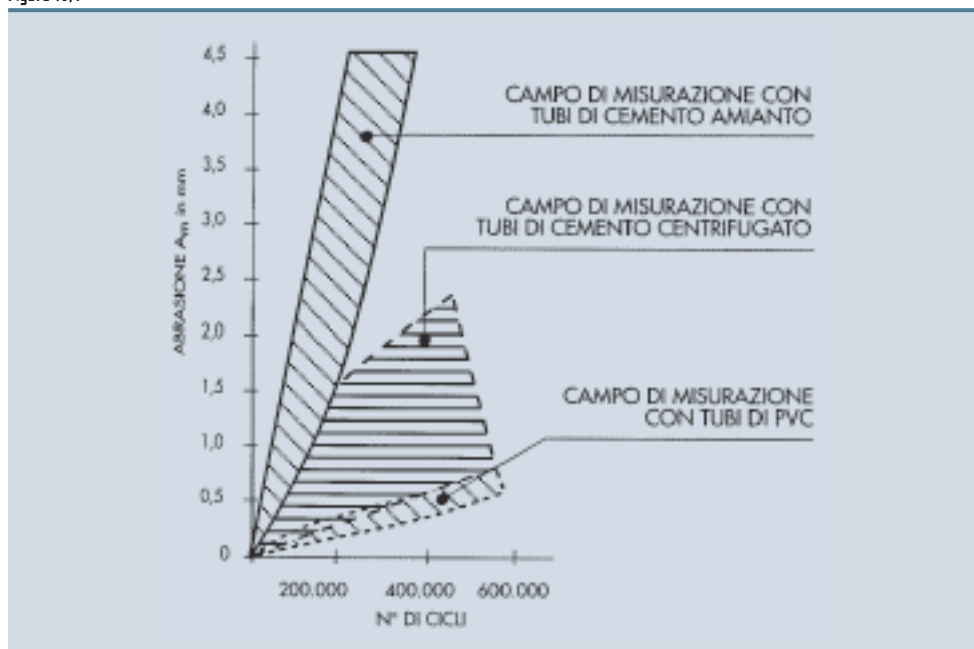
Nelle prove di valutazione di questa proprietà si valuta quale sia l'energia necessaria per rompere un campione. Uno dei metodi prende in considerazione un pendolo dotato di energia conosciuta e si determina l'energia necessaria per la rottura di un provino di determinata forma considerando anche le perdite di energia cinetica del pendolo. Nel secondo modo si fa cadere un peso sul provino, calcolando l'energia in funzione dell'altezza e della massa del peso.

15.2.5 Resistenza all'abrasione

Se avviene lo sfregamento con un mezzo granulare, il PVC presenta una buona resistenza all'abrasione.

Nel progetto delle tubazioni che devono trasportare liquidi con solidi in sospensione si deve fare in modo che le velocità siano comprese tra 0,5 e 3 m/s in modo da evitare la sedimentazione. Localmente si possono anche considerare velocità di 6 m/s.

Figura 15.4



Dal grafico di figura 15.4 si può vedere come la resistenza all'abrasione sia molto maggiore per il PVC che per gli altri materiali utilizzati comunemente.

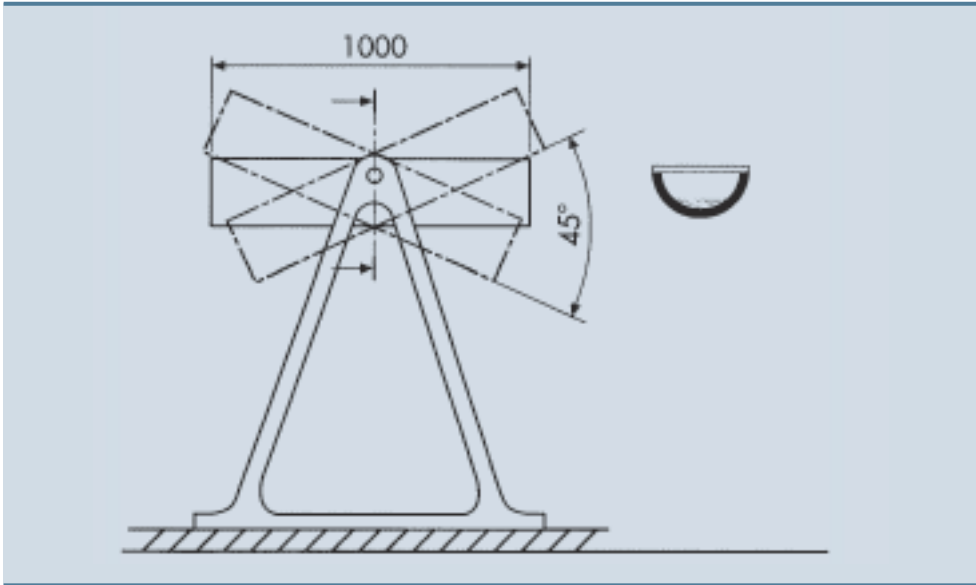
Il metodo di prova è per via umida e quello messo a punto dall'Università di Darmstadt è considerato il più attendibile.

In questo ultimo processo, il provino è composto da un semicuscinetto DN300 di tubo lungo 1 m, che viene ribaltato alternativamente in lenti movimenti oscillanti, ad una frequenza di 0,18 Hz (21,6 cicli/minuto). Come materiale per simulare l'abrasione si usa un miscuglio di sabbia quarzosa/ghiaia/acqua con percentuale volumetrica di circa 46% di sabbia quarzosa e ghiaia di granulometria da 0 fino a 30 mm. Il cambio del materiale di abrasione avviene dopo 100.000 cicli.

La valutazione dell'azione abrasiva è data dalla diminuzione locale dello spessore di parete, misurata in mm, dopo un determinato tempo di sollecitazione. L'abrasione si può poi rappresentare per i diversi materiali in funzione del numero di cicli.

L'elevata resistenza all'abrasione del PVC rigido anche in presenza di spessori ridotti è nota, e dipende dalle caratteristiche intrinseche del materiale. Spesso per favorire il funzionamento idraulico si interviene con getti ad alta pressione per disincrostare eventuali depositi della fase solida dei liquami scaricati. Sono state eseguite prove di simu-

Figura 15.5 - Metodo dell'Università di Darmstadt.



lazione per la verifica di tenuta delle giunzioni e la resistenza all'effetto abrasivo di getti ad alta pressione. Le prove hanno confermato la perfetta tenuta delle giunzioni e l'ispezione visiva (a mezzo di telecamera) ha evidenziato l'assoluta assenza di danneggiamenti od erosioni delle superfici interne.

15.2.6 Resistenza ai prodotti chimici

Il PVC resiste bene agli acidi come alle basi, agli alcoli e a gli idrocarburi alifatici. È invece poco resistente agli idrocarburi aromatici e clorurati, agli esteri e ai chetoni.

Le informazioni fornite dalle tabelle riportate negli allegati sono il risultato di prove o di esperienze pratiche. Devono perciò essere usate con prudenza perché la reazione del PVC rigido può variare con le condizioni di utilizzazione dei tubi e dei raccordi. Per casi particolari è perciò opportuno chiedere al fabbricante ulteriori informazioni.

Nel caso di dubbi si consiglia di inserire spessori di tubi e dei raccordi negli impianti esistenti e di verificare il loro comportamento nelle reali condizioni di impiego.

Sono stati adottati i seguenti simboli:

- S = nessuna corrosione, le proprietà rimangono inalterate;
- L = corrosione limitata, le proprietà sono in parte alterate;
- NS = corrosione, le proprietà sono nettamente alterate e peggiorano costantemente nel tempo
- soluzione satura = soluzione acquosa satura a 20°C;
- soluzione diluita = soluzione acquosa diluita con concentrazione <10%;
- soluzione acquosa = soluzione diluita con concentrazione >10% ma non satura;
- conc. Lav. = concentrazione di lavoro, cioè la concentrazione abituale di soluzione acquosa per utilizzazione industriale.

15.3 Comportamento funzionale delle tubazioni in PVC

15.3.1 Durata nel tempo di utilizzo

Nel calcolo di una rete di tubazioni si deve tenere sempre conto di adeguati fattori di sicurezza secondo le raccomandazioni del costruttore e si deve stabilire la pressione nominale di utilizzo.

Per loro natura, le tubazioni in PVC rigido possono sopportare elevati sforzi di pressione di corta durata per lo meno di cinque volte maggiori di quelle che può sopportare a lungo termine.

Le tubazioni in ghisa o in calcestruzzo mostrano piccole differenze se gli sforzi sono applicati a corto o a lungo termine. Per le tubazioni, il fattore di sicurezza si determina con una prova applicando una pressione rapidamente fino al punto in cui si ha la rottura della tubazione. La pressione nominale viene determinata dividendo questa pressione per 2,4.

La resistenza delle tubazioni in ghisa si calcola dividendo la combinazione dei carichi massimi e la pressione che fa scoppiare il tubo per il fattore di sicurezza 2,5.

Il PVC, essendo un materiale termoplastico, risponde alla pressione interna come i plastici, cioè si può avere lo scorrimento o il flouage delle molecole.

Lo scorrimento plastico del PVC rigido come risposta all'applicazione dello sforzo, come è la pressione interna alla tubazione, ha una velocità variabile con la durata dell'applicazione dello sforzo. Questo flouage diminuisce al passare del tempo. Per una tubazione in PVC rigido, si osserva che il flouage dopo 100.000 ore, che equivalgono a circa 11,4 anni, ha raggiunto un valore minimo. Per queste tubazioni si sono ricavate per estrapolazione il valore delle resistenze a lungo termine (50 anni) che si utilizzano nel progetto delle tubazioni.

Questo scorrimento delle molecole di PVC rigido è una conseguenza delle proprietà visco-elastiche del PVC, il che significa che la relazione tensione-allungamento non è rettilinea e non è indipendente dal tempo come per i materiali elastici. A causa di questo scorrimento, indipendentemente dalla tensione a cui sono sottoposte le pareti delle tubazioni, la rottura avviene dopo un certo tempo.

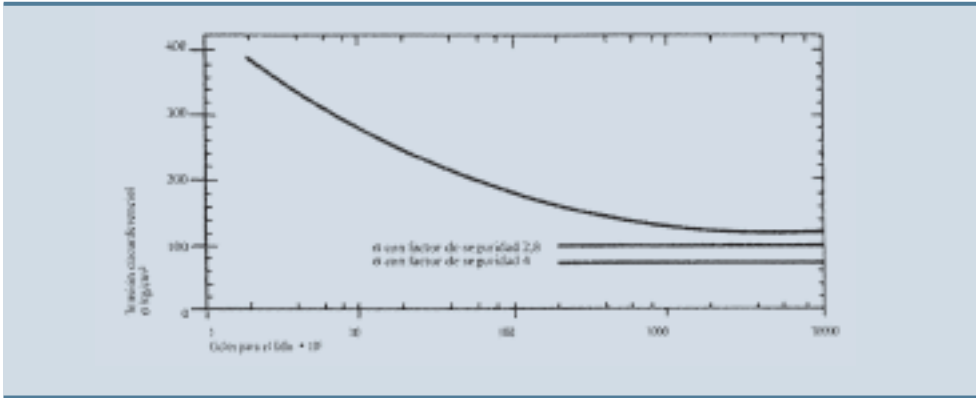
Le curve di regressione che si possono calcolare in base alle prove effettuate indicano la necessità di un elevato fattore di sicurezza. Un fattore di sicurezza basato sullo scorrimento rapido, sarebbe molto problematico per i progettisti delle reti in PVC, poiché lo devono progettare per 50 anni. Generalmente, quindi, il fattore di sicurezza si calcola in E.E:U.U per 100.000 ore di applicazione dello sforzo. Con un fattore di sicurezza 2 e una tensione di lavoro definita in 140 kg/cm^2 , si pensa di essere coperti per un tempo medio superiore a 1000 anni.

I fattori di sicurezza stabiliti secondo la norma UNI EN 1452 sono 2,5 per le tubazioni di diametro inferiore o uguale a 90 mm, mentre si considera 2 per $\phi > 90$ mm, che dovrebbero tenere in conto di tutte le possibili fluttuazioni dei parametri nei 50 anni di vita della tubazione. Questa norma stabilisce che il valore minimo richiesto di tensione MRS a 20°C sia di 250 kg/cm^2 (25 MPa).

15.3.2 I cicli di funzionamento

Come per tutti i materiali che possono essere utilizzati per le tubazioni, anche i materiali plastici possono venire incontro a rottura nel caso che siano sottoposti a continui cicli di pressione interna. Il PVC, essendo un materiale termoplastico, ha un buon comportamento a fatica, in seguito alla sua capacità di elasticità e di rilassamento.

Figura 15.6

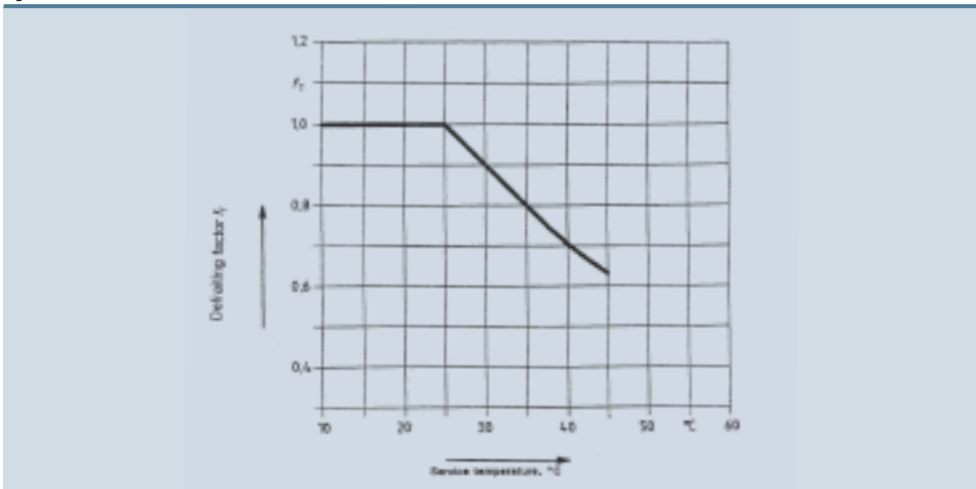


In figura 15.6 viene rappresentata la tensione circonferenziale e il numero di cicli che portano il tubo a rottura. Dalla figura si possono trarre alcune considerazioni. In primo luogo, dato che le pressioni più alte non superano i 130 kg/cm^2 , con una frequenza approssimata di circa 10 cicli al giorno, allora non si avrà nessuna rottura fino al raggiungimento di 1 milione di cicli, cioè 274 anni. Inoltre, la frequenza di applicazione delle pressioni sarà inversamente proporzionale al valore di queste ultime.

Esempio:

si consideri una tubazione con la tensione di lavoro di 10 kg/cm^2 , costruita in base alla tensione di progetto stabilita dalla norma UNI EN 1452 $\sigma_s = 100 \text{ kg/cm}^2$, sottoposta a 24 cicli di pressione al giorno, quando lavora alla massima tensione di progetto, essendo la pressione massima applicata pari a 14 kg/cm^2 , che rappresenta una tensione tangenziale di 140 kg/cm^2 . Saranno allora richiesti 600.000 cicli per il suo invecchiamento, equivalenti a 68 anni.

Figura 15.7



Concludendo, quindi si può affermare che le tubazioni in PVC lavorando a regime senza mai superare la pressione nominale, dopo 50 anni presentano un coefficiente di sicurezza di circa 2,5. Inoltre, dal grafico si può dedurre che i cicli di fatica diminuiscono la vita delle tubazioni in funzione delle osservazioni dei punti di massimo e del numero di cicli.

15.3.3 Resistenza alla temperature

Le temperatura di servizio influisce molto sulla resistenza delle tubazioni in PVC e quindi anche sulla loro massima pressione di lavoro. Esistono dei fattori di riduzione in funzione della temperatura come vengono rappresentati in figura 15.7.

15.4 Grandezze dimensionali e meccaniche

15.4.1 Le basi delle classificazione

Le tubazioni possono essere classificate considerando le seguenti caratteristiche:

- *Limite inferiore di confidenza*: è il valore di tensione tangenziale in MPa che si può considerare come proprietà del materiale e che rappresenta il 97,5% del limite inferiore di confidenza per la tensione idrostatica a lungo termine a 20°C e per 50 anni.
- *Tensione minima richiesta (MRS)*: è il limite inferiore del valore di confidenza arrotondato al valore più vicino alla serie dei numeri di Renard R.10 (ISO 3:1973), nel caso LCL sia inferiore a 10 MPa, oppure al valore più vicino della serie dei numeri di Renard R20 (ISO 497:1973), se LCL è superiore a 10 MPa.
- *Coefficiente di servizio (C)*: è un coefficiente superiore all'unità, proveniente dalla serie R.10 e che considera le condizioni di servizio così come le proprietà dei componenti del sistema delle tubazioni.
- *Serie dei numeri di Renard R.10*: è una serie di numeri da preferire in accordo con le norme ISO 3 e 497 e i suoi valori sono:

1.0 - 1.25 - 1.60 - 2.00 - 2.50 - 3.20 - 4.00 - 5.00 - 6.30 - 8.00

- *Tensione di progetto (σ_s)*: è la tensione ammissibile in seguito all'applicazione del MRS diviso per il coefficiente C e arrotondata al valore massimo più vicino alla serie di Renard R.10, espressa in MPa:

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C}$$

15.4.2 Caratteristiche geometriche e funzionali

Le caratteristiche geometriche e funzionali sono le seguenti:

- *Dimensione nominale (DN)*: designazione numerica del diametro di una tubazione mediante un numero intero che approssima la dimensione reale in millimetri. Questo concetto si applica sia al diametro interno (DN/ID) che a quello esterno (DN/OD).
- *Diametro interno (d_i)*: è il diametro interno medio del tubo considerando una generica sezione della tubazione.
- *Diametro esterno (d_e)*: è il diametro esterno medio del tubo considerando una gene-

rica sezione, arrotondato al valore superiore di 0,1 mm. Per la tubazioni profilate, si considera come diametro esterno il diametro massimo visto in sezione.

- **Spessore nominale (e_n):** dimensione numerica dello spessore, approssimativamente pari a quella in millimetri e in accordo con quanto stabilito dalle norme.
- **Pressione nominale (P_n):** è un numero convenzionale relativo alle caratteristiche meccaniche del materiale. Per le tubazioni in plastica coincide con la pressione massima di esercizio trasportando acqua a 20°C per 50 anni.
- **Pressione di esercizio (P_l):** è il valore delle pressione interna massima per la quale è stato progettato il tubo, tenendo conto di un coefficiente di servizio (C) o di sicurezza, che considera la fluttuazione dei parametri che si possono verificare nei 50 anni.
- **Pressione di prova (P):** è la pressione a cui vengono sottoposti i provini per determinare le caratteristiche del materiale.
- **Pressione massima ammissibile (PMA):** pressione massima che la tubazione è in grado di sopportare durante il servizio compresa anche la tensione di colpo di ariete.
- **Pressione di funzionamento ammissibile (PFA):** pressione idrostatica massima che un componente è in grado di sopportare in forma permanente in servizio. Per temperature dell'acqua fino a 25°C PFA coincide con PN, per temperature superiori invece $PFA = f_T \cdot PN$ in cui f_T è un coefficiente dipendente dalla temperatura.
- **Pressione di prova in opera ammissibile (POA):** pressione idrostatica massima che un componente appena installato è in grado di sopportare, durante un periodo relativamente corto. Si considera valida la relazione:

$$POA = 1,5 \cdot PFA$$

- **Pressione di progetto (PP):** pressione massima di funzionamento in regime permanente della rete o della zona in pressione, fissata per il progettista, considerando futuri ampliamenti, però escludendo il colpo d'ariete.
- **Pressione massima di progetto (PMP):** pressione massima di funzionamento della rete o della parte in pressione, fissata per il progettista, considerando futuri ampliamenti e anche il colpo d'ariete.
- **Pressione di esercizio (PE):** pressione interna che si manifesta in un istante dato in un punto determinato della rete de approvvigionamento di acqua.
- **Pressione di servizio (PS):** pressione interna nel punto del tubo in cui si ha la connessione con l'utente.
- **Colpo d'ariete:** fluttuazioni rapide della pressione nella rete a causa delle variazioni di portata in brevi intervalli di tempo.
- **Pressione di prova per collaudo della rete (PC):** pressione idrostatica applicata ad una tubazione recentemente installata in modo da assicurarne la sua integrità.
- **Serie dei tubi (S):** è un numero per la designazione dei tubi in accordo con le norme vigenti, in base alle quali si stabiliscono gli spessore delle tubazioni. La sua formulazione è:

$$S = \frac{\sigma}{P} = \frac{d_e - e_n}{2e_n}$$

Nella quale σ è la tensione tangenziale del materiale considerato (tensione di disegno) e P è la pressione del fluido che deve essere trasportato (pressione nominale).

- **Relazione delle dimensioni standard (denominato anche rapporto dimensionale standard) (SDR):** è un concetto molto generalizzato applicato alla normalizzazione

per definire le classi di tubazioni. LA sua formulazione matematica è data dal rapporto tra il diametro esterno e lo spessore:

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

La relazione tra S e SDR è la seguente:

$$S = \frac{SDR - 1}{2}$$

15.4.3 Diametri delle tubazioni

Per il calcolo delle condotte si deve conoscere il diametro interno delle tubazioni. Nelle norme vengono fornite le tabelle dei diametri e le loro rispettive tolleranze di costruzione.

Per valutare la sezione di una tubazione si può usare la seguente formula:

$$S = \pi \frac{D_e^2 - (D_e - 2e)^2}{4} = \pi \frac{D_e^2 - D_i^2}{4}$$

Per il calcolo idraulico si deve conoscere la sezione interna che si calcola come:

$$S_n = \pi \frac{D_i^2}{4}$$

15.4.4 Momento di inerzia

Per il calcolo meccanico-statico delle tubazioni è necessario conoscere il momento d'inerzia e il modulo di resistenza.

Le formule di calcolo sono:

$$\text{Momento di inerzia} = I = \frac{\pi}{64} (D_e^4 - D_i^4)$$

$$\text{Modulo di resistenza} = W = \frac{\pi}{32} \frac{(D_e^4 - D_i^4)}{D_e} = I \frac{2}{D_e}$$

In cui I è il momento di inerzia in cm^4 , D_e è il diametro esterno in cm , D_i è quello interno in cm , W è il modulo di resistenza in cm^3 .

Per le tubazioni a parete strutturata si devono considerare i valori forniti dal costruttore, perché queste formule valgono per le tubazioni a parete compatta.

15.4.5 Rigidità specifica

Questa grandezza si usa nel calcolo delle tubazioni interrato ed è utile per determinare la rigidezza del sistema costituito dalla rigidezza anulare del tubo e dalla rigidezza del letto.

La rigidità circonferenziale specifica del tubo è messa in relazione con il momento di inerzia della sezione longitudinale della parete del tubo per unità di lunghezza. Il valore della rigidità anulare in kg/cm^2 si calcola con l'espressione:

$$R_t = \frac{EI}{r_m^3}$$

Il momento di inerzia si determina con la formula:

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

Mentre il raggio medio è: $r_m = 1/2 (D_e - e)$

Il modulo elastico del PVC assume i seguenti valori (per mescole per tubi in pressione):

- Per i carichi di breve durata: $E=36.000 \text{ kg/cm}^2 \cong 3600 \text{ MPa}$;
- Per i carichi di lunga durata: $E=17.500 \text{ kg/cm}^2 \cong 1750 \text{ MPa}$.

Nel calcolo statico questi possono essere considerati valori prudenziali.

La rigidità anulare dei tubi conformi alla norma UNI EN 1401, se determinata secondo la EN ISO 9969 è:

- $\geq 2 \text{ kN/m}^2$ per SDR 51;
- $\geq 4 \text{ kN/m}^2$ per SDR 41;
- $\geq 8 \text{ kN/m}^2$ per SDR 34.

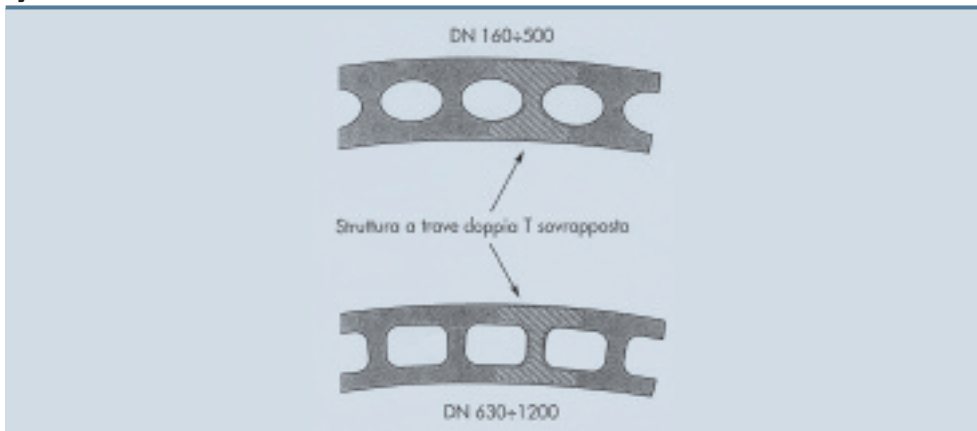
15.5 Innovazione nelle tubazioni in PVC

15.5.1 Tubi alveolari

Questi tubi hanno pareti esterne ed interne lisce e lo spessore tra le pareti è costituita da un profilo con cavità longitudinali tali da garantire la rigidità desiderata. Sono prodotti con una particolare tecnologia che attraverso l'estrusione di un tubo con cavità longitudinali al suo interno, permette di modificare il momento di inerzia della sezione e quindi ad aumentarne la rigidità; si ottiene così un manufatto dalle prestazioni migliorate e con peso diminuito.

La rigidità dei tubi a parete strutturata può essere variabile e si possono quindi realizzare condotte destinate a molteplici applicazioni.

Figura 15.8



Le caratteristiche principali dei tubi alveolari sono l'elevata rigidità, la leggerezza, una buona resilienza, l'impermeabilità, la facilità e la rapidità nella posa. Inoltre le mescole che vengono utilizzate per la produzione di questi tubi devono avere prestazioni meccaniche eccellenti e quindi sono a bassissimo contenuto di carica inerte (CaCO_3). È noto d'altra parte che cariche inerti nella formulazione fanno diminuire le caratteristiche meccaniche dei manufatti come ad esempio il modulo elastico E e tendono ad infragilire i prodotti.

Per le tubazioni in PVC alveolare per fognature il valore del modulo elastico è di circa 3000 MPa (ASTM D790) e la rigidità anulare si dimostra sempre superiore al valore nominale (da 2 a 16 kN/m²). Si osserva inoltre che, anche se la geometria della parete contribuisce in maniera determinante alla rigidità anulare del tubo, il sistema è ancora relativamente "flessibile". Le caratteristiche di flessibilità sono responsabili della deformazione diametrale che è richiesta al tubo posato. Dagli studi e dalle sperimentazioni effettuate in accordo alle metodologie definite dal Comitato Europeo di Normazione, le tubazioni a parete strutturata hanno una durabilità in opera (tempo di vita) di oltre 100 anni.

I tubi a parete strutturata possono trasportare liquidi con temperatura massima permanente di 40°C, il minimo ricoprimento sulla generatrice superiore del tubo è 0,8 m, mentre il massimo ricoprimento va da 3 a 6 m a seconda della classe di rigidità. Il traffico stradale che sono in grado di sopportare va dalle 12 t/asse alle 16 t/asse, considerando la posa corretta in trincea stretta.

Questi tubi possono essere prodotti con un sistema di giunzione con anello elastomerico in gomma con anima in polipropilene rigida, preinserito nel bicchiere e difficilmente rimovibile. Le fasi di accoppiamento sono rapide, efficaci e sicure, in quanto l'anello elastomerico viene installato direttamente in fabbrica durante il ciclo di produzione. Per evitare il fenomeno del by-pass quando si rende necessario un taglio doppio nella barra in cantiere, si può operare come già spiegato nel paragrafo 12.2.1.

15.5.2 Tubi a parete espansa

Si tratta di tubi con parete coestrusa multistrato strutturale liscia all'interno e all'esterno e che vengono utilizzati per fognature civili ed industriali e per condotte di drenaggio di tipo agricolo. Queste tubazioni sono prodotte mediante un processo di coestrusione, utilizzando contemporaneamente due o tre estrusori ed una speciale testa di raccordo che permette di ottenere in un unico ciclo di lavorazione un tubo a tre strati perfettamente coerenti e solidali.

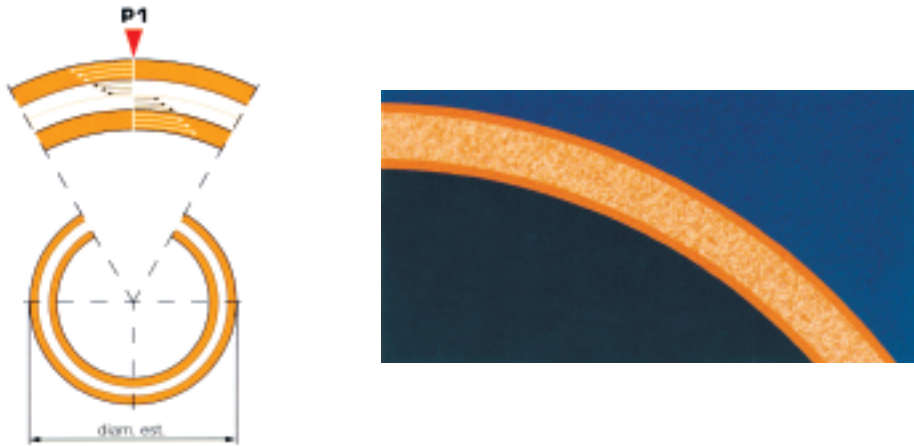
Le pareti interne ed esterne sono costituite da mescole in PVC rigido ad elevata resistenza all'abrasione (test ai 100.000 cicli), alle sostanze chimiche (da pH 2 a pH 12) ed alla temperatura (fino a 40°C). Lo strato centrale è costituito da PVC rigido espanso microcellulare a cellule chiuse e costituisce la parte "neutra" della tubazione. Le superfici lisce consentono una ottimale velocità di scorrimento, una sezione utile maggiore, facilità di innesto e posa.

La struttura di queste tubazioni assicura un'ottima resistenza ai carichi nel breve e nel lungo periodo, come risulta dalle misure di deformazione plastica di lungo periodo (creep) eseguite. Gli sforzi di trazione e di compressione a cui le condotte sono sottoposte in esercizio, sono ripartiti sulle pareti esterna ed interna lasciando "neutra" la parte centrale. Questi tubi, più leggeri e maneggevoli dei convenzionali, hanno rigidità

maggiore di 4 kN/m^2 e 8 kN/m^2 . Sono inoltre in grado di assorbire i carichi dal momento che conservano una relativamente buona flessibilità. La durata che viene assicurata in esercizio continuo è maggiore di 50 anni.

Anche in questo caso, la tubazione può essere prodotta con un sistema di giunzione in cui l'anello elastomerico viene inserito direttamente in produzione.

Figura 15.9



15.5.3 Tubi in lega polimerica PVC-A

Il PVC-A è una nuova lega polimerica che è nata dalla collaborazione di NWW, Hepworth e Pipeline Development.

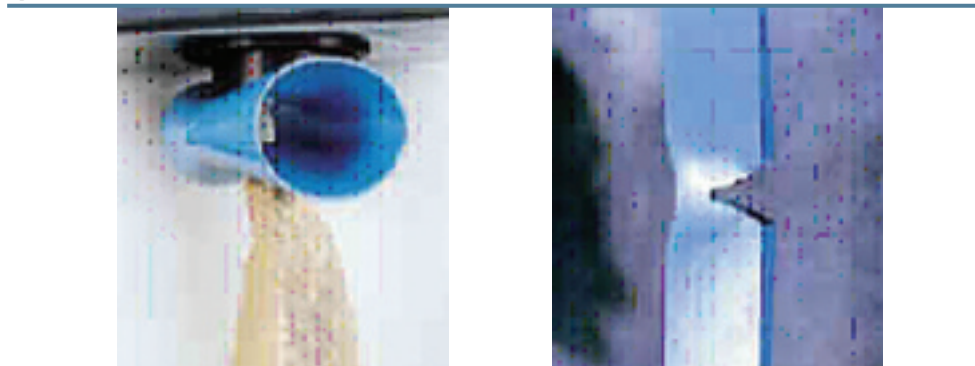
Nel 1995 la Hepworth, un grande gruppo internazionale con sede in Inghilterra, con un fatturato di oltre 2000 miliardi, ha lanciato sul mercato un nuovo tubo in PVC-A, frutto di una ricerca iniziata nel 1995 allo scopo di creare prodotti con prestazioni superiori a quelli tradizionali in termini di maggiori garanzie di tenuta nel tempo delle condotte, di qualità dell'acqua trasportata, di facilità di impiego e di conseguenza di minori costi di esercizio e di ammortamento.

La ricerca, la messa a punto del prodotto e le normative furono fatte in stretta collaborazione con il Nord West Water, ente inglese preposto alla distribuzione delle acque, e con il Pipe Development, importante istituto di ricerca per le materie plastiche. La ricerca è nata dalla necessità di assicurare una buona continuità di servizio al cliente (niente rotture, niente perdite, ciclo di vita superiore ai 50/80 anni, qualità dell'acqua), oltre ai bassi costi di manutenzione.

A tal fine sono stati studiati i meccanismi di rottura delle materie plastiche esistenti e si è pervenuti alla conclusione che si doveva eliminare il rischio di transizione duttile-fragile nelle modalità di rottura.

Il PVC-U possiede una elevata resistenza meccanica, ma si comporta in modo fragile se sottoposto a certe sollecitazioni o in presenza di criccate. Il PVC-U è stato modificato con il cloruro di polietilene (CPE). L'introduzione di questo elastomero conferisce alla nuova lega le stesse caratteristiche meccaniche del PVC-rigido, ma anche la stessa duttilità del PEAD.

Figura 15.10



La tenacità di un materiale esprime la resistenza all'avanzamento lento della cricca (crepa) nel manufatto. Per misurare si stabilì di sottoporre a trazione un campione opportunamente ciccato e di misurare il carico di rottura dopo 15'. Nell'eseguire le prove, si nota che la punta dell'intaglio, nel caso del PVC-A, quasi subito assumeva una forma arrotondata e tutto intorno si andava formando una zona plastica bianca. Tale zona su cui andavano concentrandosi gli sforzi, si ingrandiva rispetto ad un normale PVC rigido ed era richiesta una maggiore energia per far proseguire l'avanzamento della crepa. Questa nuova lega, PVC-A, si presenta sempre come duttile.

Il materiale possiede elevata flessibilità, tanto che è possibile eseguire a freddo e manualmente delle curvature piuttosto larghe, leggerezza, facilità di posa, affidabilità nel tempo, capacità di resistere ad elevati carichi di punta anche con materiali criccati, grande resistenza all'urto.

Commercialmente, i tubi prodotti hanno diametri che vanno dai 110 ai 315 mm per PN 8, 10, 12.5 e 16.

15.5.4 Tubi a doppia orientazione di molecole PVC-O

I tubi PVC-O sono caratterizzati dall'aver le catene delle molecole orientate nella direzione circonferenziale e assiale. Le molecole così orientate formano una parete a struttura laminare relativamente regolare e questa aumenta molto le caratteristiche meccaniche e la robustezza del tubo. Il processo di orientazione è basato sull'allungamento della molecole. Se si orientassero le molecole solo in una direzione si otterrebbe un materiale vulnerabile alla rottura fragile. La bi-orientazione, invece, allunga le molecole su due piani e di conseguenza si ottiene un buon bilanciamento tra la resistenza assiale e circonferenziale. Il motivo per cui questi tubi possono sopportare tensioni maggiori di quelli non orientati deriva dalle forti interazioni intermolecolari che si sviluppano tra molecole differenti rese parallele comunque molto vicinali dal processo di orientamento.

Questi tubi sono progettati per sopportare pressione di 12.5 bar con temperatura dell'acqua di 20°C. Il valore di MRS (minimum required strenght) può raggiungere anche i 40 MPa, cioè il 60% in più del normale PVC-U. Anche la resistenza circonferenziale raggiunge un valore che è maggiore del 60% rispetto al PVC rigido normale. Conseguenza diretta di queste caratteristiche è che il tubo può operare a pressioni maggiori e le pareti potranno avere spessori minori nelle normali condizioni di utilizzo.

Figura 15.11

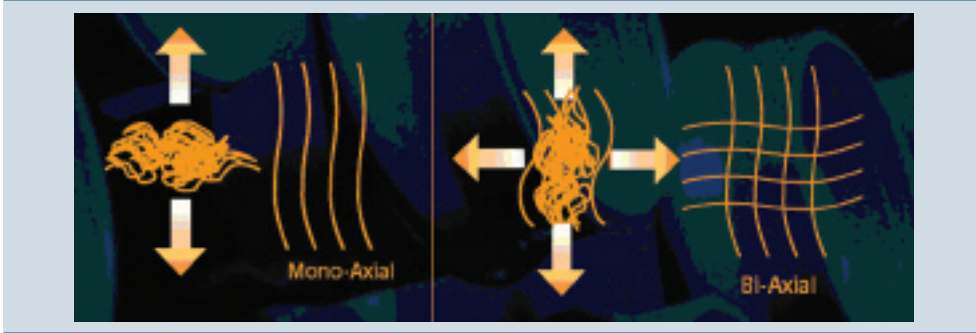
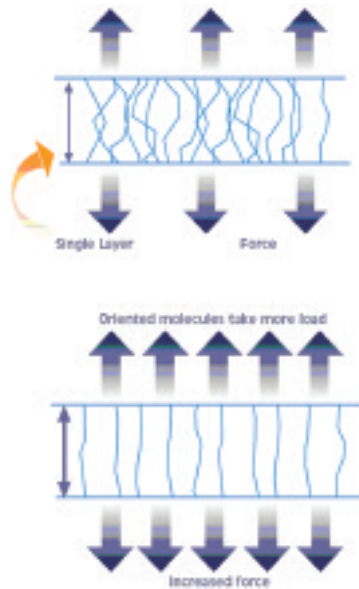


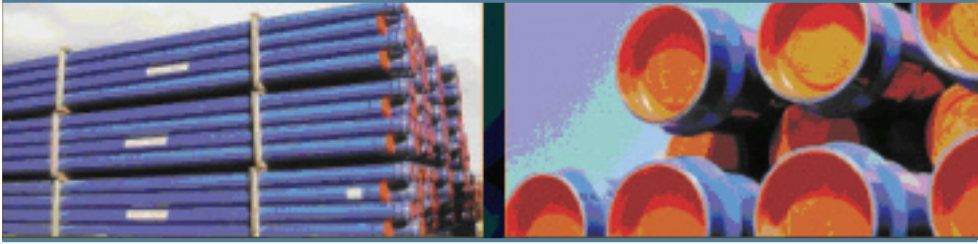
Figura 15.12



La bi orientazione della molecole provoca anche un aumento della robustezza della tubazione, migliorando la resistenza all'urto e dalla propagazione delle cricature. Le tubazioni bi orientate superano con successo la prova all'urto realizzata con una massa di 12.5 kg fatta cadere da un'altezza di 3 m. Le fratture che si possono formare nelle tubazioni interrate a causa dei carichi aggiuntivi a cui sono sottoposte (subsidenza del terreno o della presenza di pietre) tendono ad allargarsi per la concentrazione degli sforzi che si realizza sui loro bordi. La produzione di tubi bi-orientati impedisce la crescita della frattura in quanto diminuisce gli sforzi a cui è sottoposta.

La maggiore robustezza delle tubazioni realizzate in PVC-O migliora significativamente anche la loro resistenza alle basse temperature, tanto che si possono installare fino ad una temperatura -20°C senza il rischio dell'occorrenza di frattura fragile e quindi dei costi associati.

Figura 15.13



Le tubazioni sono prodotte con spessori variabili da 3 mm (90mm di diametro, LCL=29 MPa) a 7.7 mm (315 mm di diametro, LCL=30 MPa). I minori spessori rispetto al PVC tradizionale permettono la realizzazione di diametri interni maggiori. La capacità di portata è così aumentata di circa il 5%. Inoltre, i tubi hanno un peso inferiore e sono molto più maneggevoli di quelli realizzati, ad esempio, in acciaio. Le giunzioni sono state studiate appositamente e sono costituite da un anello elastomerico e da un rinforzo in polipropilene. Vengono anche in questo caso montate già in fabbrica.