

Caratteristiche delle tubazioni per acquedotto (I)

- P_N = **Pressione nominale** (da UNI EN 805 del 2002: PFA = **Pression de Fonctionnement Admissible**). È un elemento caratteristico della produzione dei componenti (pressione massima a cui un componente può essere sottoposto in esercizio) e deve essere almeno pari alla somma della massima pressione interna in asse condotta, delle sovrappressioni di moto vario e della pressione equivalente alle sollecitazioni esterne a cui il sistema sarà sottoposto.
- DN = **Diametro nominale**. È un altro elemento caratteristico della produzione dei componenti (può essere diverso da D_i e da D_e).
- D_e = **Diametro esterno**. Esso in genere viene uniformato per uno stesso materiale e DN (compatibilità e interscambiabilità dei pezzi speciali).
- D_i = **Diametro interno**. Condiziona velocità e perdite di carico. Per uno stesso DN il D_i può cambiare per diverse classi di P_N (cambia s).
- s = **spessore**. Resistenza meccanica e alla corrosione. Lo spessore si ricava con la *Formula di Mariotte* $s = \frac{P_N D_i}{2\sigma}$, dove σ è la resistenza a trazione del materiale.

$$D_e = D_i + 2s + 2r_i + 2r_e$$

r_i, r_e = spessori dei rivestimenti interno ed esterno, quando presenti.

Caratteristiche delle tubazioni per acquedotto (II)

- **Materiale.**
 - *Caratteristiche meccaniche (carico di rottura e snervamento, elasticità)*: resistenza alle sollecitazioni interne ed esterne.
 - *Caratteristiche idrauliche (scabrezza e sue variazioni nel tempo)*: perdite di carico.
 - *Caratteristiche chimiche e natura del materiale*: resistenza alle azioni aggressive di agenti esterni e dei liquidi trasportati, conservazione caratteristiche igieniche e organolettiche dell'acqua.
- **Rivestimento esterno.** Protezione da azione aggressiva agenti esterni.
- **Rivestimento interno.** Protezione chimico-fisica fra materiale e liquido trasportato. In presenza di rivestimento interno le perdite di carico sono condizionate dalla scabrezza di esso, e non dal materiale della condotta.
- **Giunti.** Devono garantire la tenuta idraulica.
 - stessa P_N delle tubazioni (o superiore);
 - alcuni giunti possono dare luogo a perdite di carico non trascurabili;
 - fra i diversi giunti eventualmente disponibili occorre scegliere quello più idoneo allo specifico uso.

Normative sulle tubazioni

Norme tecniche relative alle tubazioni (D.M. LL.PP. del 12.12.1985, pubbl. G.U. 14.03.1986, n. 61).

Art.0.1: ... è definito con il termine "tubazioni" il complesso dei tubi, giunti e pezzi speciali costituenti l'opera di adduzione e/o distribuzione di acqua

Art.0.2: Con le presenti norme si stabiliscono i criteri da osservare nel progetto, nella costruzione e nel collaudo delle "tubazioni". Sono esclusi dall'oggetto della presente normativa i procedimenti di progettazione, costruzione e controllo di produzione di tubi, giunti e pezzi speciali.

Art.0.3 "Integrazione delle norme"(stralci)

- Prescrizioni e disposizioni in materia di sicurezza igienico-sanitaria di competenza del Ministero della Sanità.
- Norme specifiche concernenti impianti fissi antincendio di competenza del Ministero dell'Interno.
- Prescrizioni per le zone dichiarate a rischio sismico.
- Prescrizioni sugli attraversamenti. Es: **Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto.** (D.M. 23.02.1971, pubbl. G.U. 26.05.1971, n.132)
- Numerose norme **UNI, CEI, ISO**. Stabiliscono le norme di produzione delle tubazioni, dei giunti e dei pezzi speciali.

Determinazione delle pressioni nominali

Art. 2.1.4 "Verifiche di sicurezza" (Norme tecniche relative alle tubazioni)

p_E = **Pressioni di esercizio.** " ... sono i massimi valori delle pressioni che possono verificarsi in asse delle tubazioni per il più gravoso funzionamento idraulico del sistema, comprese le eventuali sovrappressioni Δp determinate da prevedibili condizioni di esercizio, anche se conseguenti a fenomeni transitori."

"In assenza di calcolo specifico e, in ogni caso per le reti di distribuzione con diametri non maggiori di 350mm, per le sovrappressioni conseguenti a manovre di regolazione del sistema, indipendentemente dalla tipologia delle tubazioni impiegate, sarà adottato un valore $\Delta p = 2.5 \text{ Kg/cm}^2 (\approx 2.42 \text{ atm})$ "

....

p_0 = **pressione equivalente**, è la pressione assiale che conferisce al tubo tensioni di trazione massime uguali a quelle determinate da: rinterro di co-pertura, sovraccarichi esterni (statici e dinamici), variazioni termiche ed altre azioni esterne agenti sulle tubazioni, incluse quelle sismiche.

Si definisce **pressione nominale** p_n della tubazione la somma delle pressioni di esercizio ed equivalente:

$$p_n = p_E + p_0$$

La P_N della serie o classe dei tubi, giunti e pezzi speciali costituenti le tubazioni deve essere almeno pari al valore determinato sopra.

Il collaudo delle opere

Art. 4 "COLLAUDO" (Norme tecniche relative alle tubazioni)

Pressioni di collaudo $p_c = \max\{1.5p_E ; p_E + 2\text{kgf/cm}^2\}$

"(salvo maggiori valori indicati nel capitolato speciale d'appalto)"

- Si sottopongono alla pressione di collaudo tratte di lunghezza pari a circa 500÷1000 metri e si verifica con i manometri che non ci siano cali di pressione (indicatore di una perdita).
- Prima prova a giunti scoperti per circa 6 ore.
- Seconda prova dopo completo reinterro per circa 2 ore.
- Le condotte in materiale lapideo devono essere rimpite d'acqua da qualche giorno prima del collaudo, per consentire l'assorbimento d'acqua iniziale, che causerebbe cali di pressione.
- Nelle pose in cunicolo o in galleria viene eseguita solo la prima prova.
- Le norme consentono al Collaudatore di utilizzare i risultati delle prove di pressione eseguite e verbalizzate dalla Direzione Lavori.

Materiali per tubazioni di acquedotto

Materiali metallici

- ghisa;
- acciaio.

Materiali cementizi

- cemento armato ordinario;
- cemento armato precompresso;
- cemento-amianto (vietato per legge, ma ancora presente).

Materiali plastici

- cloruro di polivinile (PVC),
- polietilene a bassa densità (PEBD),
- polietilene ad alta densità (PEAD),
- polipropilene (PP),
- polipropilene autoestinguente (PPAE),
- vetroresina (PRFV)

Tubazioni in ghisa sferoidale

La **ghisa sferoidale** si ottiene da ferro, carbonio, silicio (come l'obsoleta ghisa grigia) con aggiunta di magnesio al 0.01 %, che fa cristallizzare la grafite sotto forma di sfere, conferendo caratteristiche meccaniche paragonabili all'acciaio.

- *centrifugazione* su forme cilindriche rotanti raffreddate ad acqua e *ricottura* a 900°C per eliminare la fragilità derivante dal brusco raffreddamento;
- *rivestimento interno* con malta cementizia (talvolta alluminosa) applicata per centrifugazione (spessori da 3 a 12 mm, aumentano con il *DN*);
- *rivestimento esterno* realizzato con zincatura (in genere poi ricoperto con vernice bituminosa); per terreni molto aggressivi è possibile la protezione esterna con manicotti in polietilene;
- *DN* 40÷2600 mm, *P_N* 30÷64 atm: *DN* Tubi Ghisa da 60 a 700 mm.
- Giunti a bicchiere: giunto rapido, giunto express (con eventuale anello metallico antisfilamento per condizioni di posa gravose, es. terreni cedevoli, forte pendenza, subalvee etc.). Posa in trincea.
- Giunti a flangia (fissa o mobile): richiedono la perfetta corrispondenza dei fori nelle due flange. Utilizzato fuori terra, giunzione con pezzi speciali, all'interno dei manufatti (insieme anche a giunti tipo Gibault)

Gli anelli in gomma nei giunti assicurano oltre alla tenuta idraulica anche la discontinuità elettrica (protezione dalla corrosione).

I giunti delle tubazioni in ghisa sferoidale

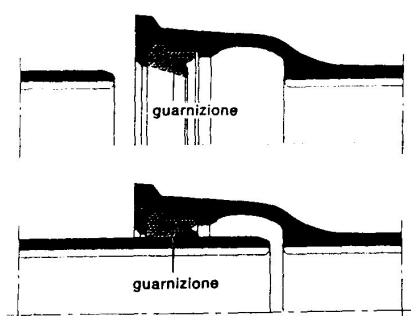


Fig. 4.6 Giunto rapido per tubi di ghisa sferoidale.

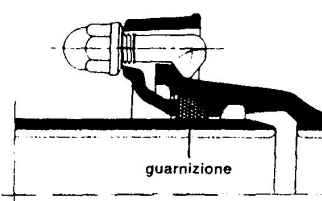


Fig. 4.7 Giunto express per tubi sferoidale.

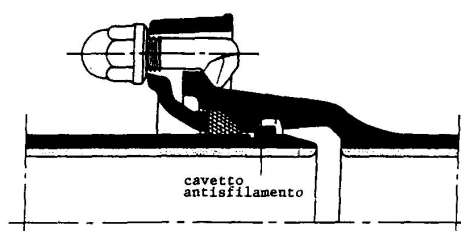


Fig. 4.8 Giunto express con cavetto antisfilamento per tubi di ghisa sferoidale.

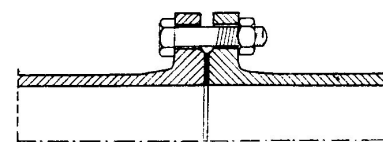


Fig. 4.9 Giunto a flangia per tubi di ghisa.

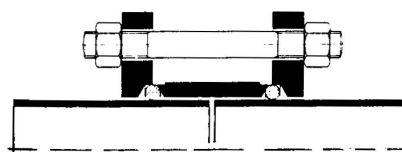


Fig. 4.19 Giunto Gibault.

Tubazioni in acciaio - I

L'**acciaio** ha caratteristiche meccaniche migliori della **ghisa sferoidale**, ma è più soggetto alla corrosione elettrochimica e richiede adeguati rivestimenti interni ed esterni e protezioni catodiche. Adatto all'impiego con grandi pressioni.

Produzione:

- *Tubi estrusi*: solo per impieghi particolari.
- *Tubi senza saldatura* (caratteristiche meccaniche e costi superiori ai tubi saldati) sono prodotti per laminazione da lingotti riscaldati a 1200 °C.
- *Tubi saldati di piccolo diametro* sono ottenuti da nastri di lamiera di larghezza pari alla circonferenza del tubo: vengono curvati sino ad assumere una forma cilindrica e saldati longitudinalmente all'interno ed all'esterno.
- *Tubi saldati di grande diametro*: il nastro di lamiera viene calandrato avvolgendolo a spirale e saldato elicoidalmente all'interno ed all'esterno.
- **Saldature**: a gas d'acqua, per induzione, ad arco con apporto materiale
- **Finitura**: asportazione del cordone di saldatura, calibratura e taglio del tubo, controllo radiografico e ad ultrasuoni della saldatura.
- DN 40÷600 mm, P_N 40÷100 atm, **Lunghezza** può superare i 12 metri.

Tubazioni in acciaio - II

- *Rivestimento esterno* è generalmente costituito da uno o più strati di feltro e tessuto di vetro impregnati con mastici bituminosi ed applicati su di uno strato di vernice bituminosa che funge da primer.
- *Rivestimento interno* è normalmente costituito da uno strato di vernice bituminosa.
- Per impieghi con liquidi trasportati e terreni di posa particolarmente aggressivi vengono adottati rivestimenti interni ed esterni speciali costituiti da resine poliammidiche ed epossidiche.
- Giunzione per saldatura ad arco (la più usata): di testa, a bicchiere cilindrico (semplifica il centramento dei tubi), a bicchiere sferico (permette deviazioni angolari), ed a bicchiere sferico con camera d'aria (preserva il rivestimento dal calore di saldatura).
- Giunti a flangia (fissa o mobile): richiede la perfetta corrispondenza dei fori nelle due flange. Utilizzato fuori terra, per giunzioni con pezzi speciali, all'interno dei manufatti insieme a giunti a manicotto tipo Gibault.
- Giunti rapidi a bicchiere con anello di tenuta in gomma: spesso utilizzati nei tubi con rivestimenti in resina.

I giunti delle tubazioni in acciaio



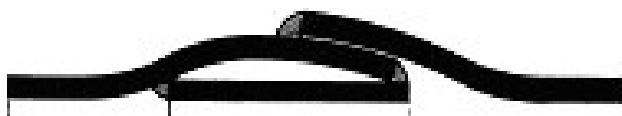
saldatura di testa



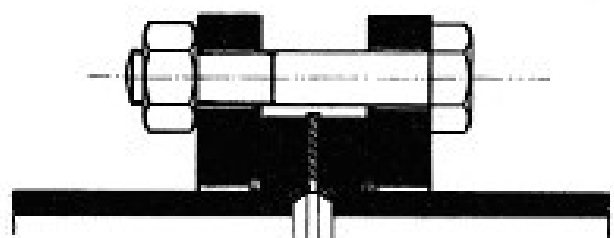
a bicchiere cilindrico saldato



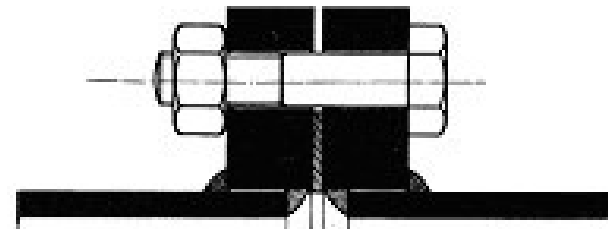
a bicchiere sferico saldato



a bicchiere sferico saldato
(con camera d'aria)



a flangia mobile



a flangia fissa

La corrosione delle tubazioni metalliche - I

La corrosione è in genere la conseguenza di un processo elettrochimico: una zona della condotta assume un **comportamento anodico e si ossida cedendo elettroni** verso una zona **catodica che si riduce**. Occorre continuità elettrica catodo-anodo ed un elettrolita (terreno).

Nella ghisa i prodotti della corrosione restano interclusi fra i composti ferrosi e la grafite (*grafitizzazione*): la condotta non è soggetta a perdite, ma diventa fragile e non resiste a forti sollecitazioni meccaniche.

Corrosione nei terreni aggressivi

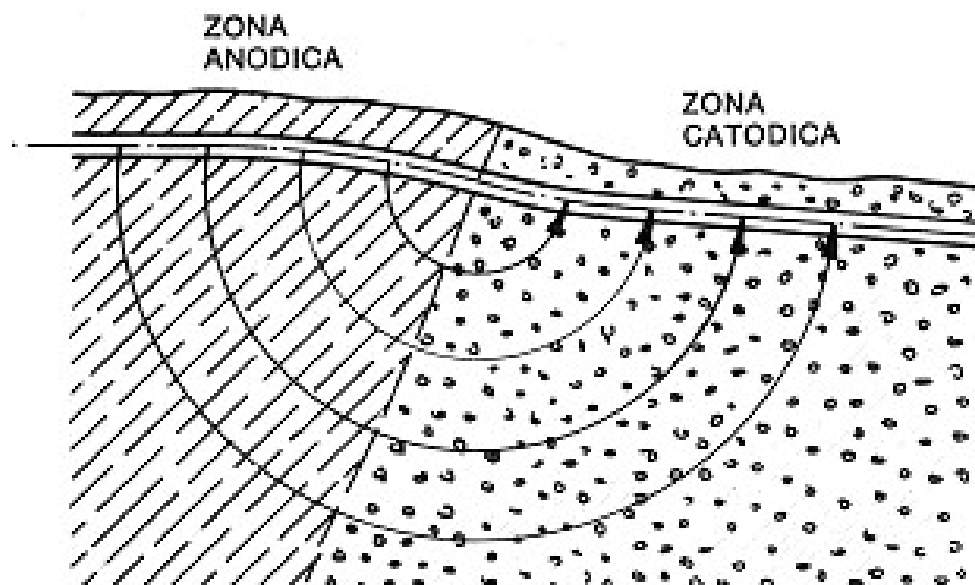
Il terreno ha la funzione di elettrolita. Si classificano:

- terreni molto aggressivi: resistività inferiore a 2000 ohm·cm,
- terreni mediamente aggressivi: resistività tra 2000 e 5000 ohm·cm,
- terreni debolmente aggressivi: resistività tra 5000 e 12000 ohm·cm,
- aggressività trascurabile: resistività superiore a 12000 ohm·cm.

La corrosione delle tubazioni metalliche - II

Corrosione da pila geologica

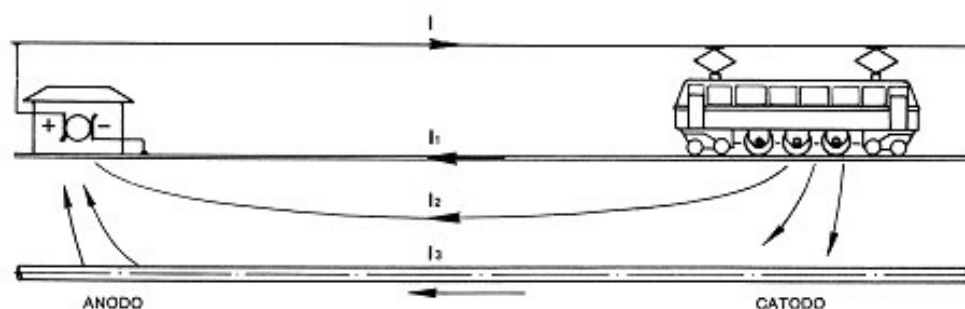
Quando la condotta mette a contatto formazioni a potenziale elettrico differente che causano il passaggio di deboli correnti e l'insorgere di corrosioni nella zona anodica



La corrosione delle tubazioni metalliche - III

Corrosione dovuta a correnti (continue) vaganti nei terreni

Generate da impianti di trazione o da impianti industriali che usano la terra come conduttore di ritorno. Si possono verificare ad esempio nelle condotte metalliche disposte parallelamente e vicino ad una ferrovia elettrificata a corrente continua. Poichè il conduttore di ritorno verso la sottostazione è costituito dalle rotaie e dal terreno, parte della corrente interessa anche la tubazione creando in prossimità della sottostazione una zona anodica soggetta a rapida corrosione.



La difesa dalla corrosione delle tubazioni - I

- **Protezioni passive:** isolamento dei tubi dal contatto con il terreno mediante adeguati rivestimenti isolanti.
- **Protezioni attive o catodiche** si dispongono nel terreno dei dispersori a potenziale più alto della tubazione: questi diventano gli anodi soggetti alla corrosione, salvaguardando la condotta (che diventa il catodo).

Protezione delle tubazioni in ghisa sferoidale

Le protezioni passive sono in genere sufficienti. Buona resistenza della ghisa alla corrosione rispetto ai tubi in acciaio, il giunto elastico con anello di gomma isola elettricamente ogni tubo (crea la discontinuità elettrica della linea).

La protezione attiva richiederebbe di collegare elettricamente tutti i tubi.

Protezione delle tubazioni in acciaio

La protezione passiva può essere sufficiente nei terreni con resistività superiore a 5000 ohm·cm.

Protezione attiva è invece necessaria nei terreni con resistività inferiore o in presenza di correnti vaganti.

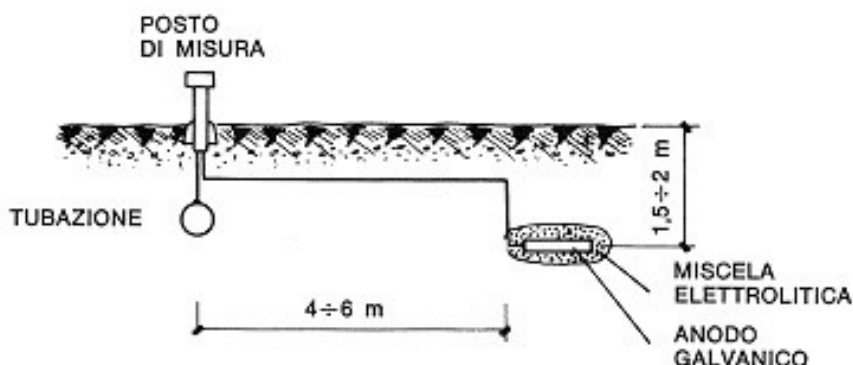
La difesa dalla corrosione delle tubazioni - II

La protezione catodica mediante anodi sacrificali

Si interrano degli anodi sacrificali (con potenziale più alto della tubazione, in genere in lega di magnesio) a 4÷6 m dalla tubazione alla quale sono collegati mediante un conduttore isolato dal terreno.

La corrosione si sviluppa elettricamente nell'anodo che viene corroso e deve essere sostituito dopo una decina di anni.

La dimensione ed il numero di anodi vengono determinati sulla base delle caratteristiche della condotta e della resistività del terreno.

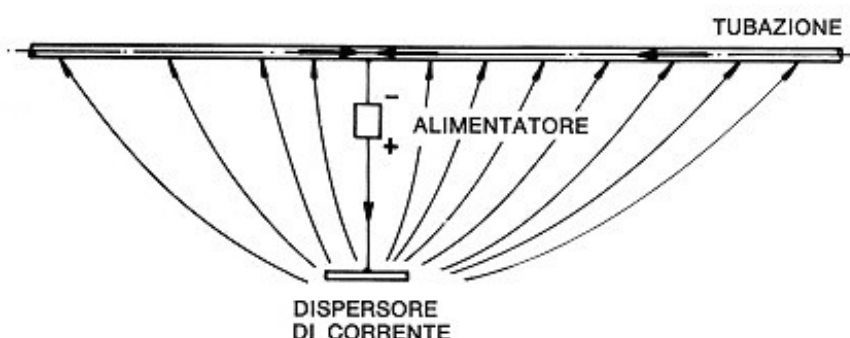


La difesa dalla corrosione delle tubazioni - III

La protezione catodica mediante alimentatori a corrente continua

Si collega il polo negativo di un alimentatore a corrente continua alla condotta ed il polo positivo ad un dispersore metallico interrato (si crea una differenza di potenziale di circa un volt).

Lunghezze dei tratti protetti dell'ordine di una decina di chilometri (dipendono dalla superficie esterna della condotta, dalla potenza dell'alimentatore e dalla resistività del terreno). Per grandi lunghezze occorrono più alimentatori collegati a tratte isolate elettricamente.



Tubazioni in cemento-amianto

Dal 1992 l'utilizzo dell'amianto è vietato per legge, tuttavia esistono ancora oggi dei tratti di acquedotto in cemento-amianto.

L'amianto è molto pericoloso se respirato, ma eventuali tracce presenti nell'acqua non sono pericolose se ingerite, quindi gli acquedotti esistenti possono essere mantenuti in servizio.

Le tubazioni in cemento-amianto erano realizzate con acqua, cemento e fibre di amianto che conferiscono buona resistenza a trazione con spessori relativamente ridotti e quindi con un peso e costo contenuto.

I bassi costi di produzione hanno stimolato una grande diffusione.

Recentemente sono stati proposti materiali alternativi (composti di polimeri e cemento, CPC) ma la resistenza delle fibre sintetiche è inferiore a quella dell'amianto.

Tubazioni in cemento armato ordinario e precompresso

Vantaggi: buona resistenza alla corrosione, lunga durata, stabilità delle caratteristiche idrauliche, basso costo di produzione.

Svantaggi: limitata resistenza a trazione del calcestruzzo (pericolo di fessurazioni per gli sforzi derivanti dalle pressioni interne, assorbiti dalle armature), elevati spessori (e quindi peso notevole e grandi costi di trasporto) necessari per contenere gli sforzi di trazione del calcestruzzo e per proteggere l'armatura, fragilità e non completa impermeabilità.

Con la **precompressione** si riducono gli stati di tensione nel calcestruzzo e si possono utilizzare le tubazioni con pressioni maggiori.

Produzione: (i) su forme concentriche verticali oppure (ii) per centrifugazione su forme rotanti orizzontali.

Le armature sono disposte nelle forme prima di versare il calcestruzzo e sono costituite da ferri longitudinali (che assorbono le eventuali flessioni) e staffature elicoidali (che assorbono le tensioni derivanti dalla pressione interna).

Nelle tubazioni precomprese, la precompressione può avvenire prima del getto o durante la prima settimana di maturazione.

I **giunti** sono in genere a bicchiere.

Tubazioni in polietilene ad alta densità (PEAD)

Il **polietilene** si ottiene comprimendo il gas etilene, miscelato con piccole quantità di ossigeno, a pressioni di oltre 1000 atm e alte temperature.

Esso viene poi stabilizzato con *nerofumo* (2%) per conferire resistenza alle azioni dell'ambiente esterno (UV) e quindi maggiore durata.

Fonde a 110°C, le sue caratteristiche si mantengono inalterate fra -25°C e 25°C: si utilizza per acque con temperature inferiori ai 40°C.

La produzione delle tubazioni avviene per *estrusione*.

- $DN\ 16\div 1200\text{ mm}$ (\equiv diametro esterno); $P_N\ 2.5\div 16\ (25)\text{ atm}$
- PE 25, PE 50 (PEBD), PE 80, PE 100 (PEAD): il n° si riferisce alla resistenza a trazione σ , in Kgf/cm^2 , del materiale a 50 anni di vita (*fluage*: riduzione nel tempo della resistenza meccanica)
- **Vantaggi:** stabile chimicamente, atossico, isolante, leggero, economico, flessibile ed elastico ($DN \leq 110$ fornito in rotoli lunghi fino a 2000 m)
- **Svantaggi:** elevata deformabilità (richiede particolare cura nella movimentazione, accatastamento e posa in opera per evitare ovalizzazioni), *fluage*, non può essere utilizzato con elevate temperature.
- Giunzioni con saldature di testa, giunzioni con saldatura nel bicchiere
- Giunzioni con manicotto saldato (con resistenza elettrica incorporata)
- Giunzioni con flange e/o raccordi anche di materiale diverso da PE.

Tubazioni in polietilene: giunti

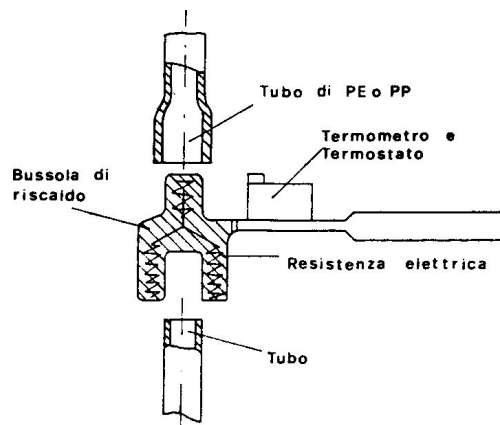


Fig. 4.34 Giunto per tubi di PEAD per polifusione nel bicchiere.

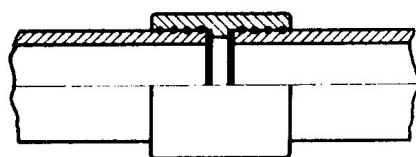


Fig. 4.35 Giunto per tubi di PEAD a manicotto con elettroresistenza incorporata.

Tubazioni in policloruro di vinile (PVC)

Il **policloruro di vinile** si ottiene dalla polimerizzazione del cloruro di vinile con aggiunta di un catalizzatore e additivi stabilizzanti, lubrificanti e pigmenti. La miscela viene riscaldata sino a raggiungere una consistenza pastosa e poi viene estrusa in tubi cilindrici.

- $DN\ 50\div 400\text{ mm}$ (\equiv diametro esterno); $P_N\ 6\div 16\text{ atm}$
- PVC60 e PVC100: il n° si riferisce alla resistenza a trazione σ , in Kgf/cm^2 , del materiale a 50 anni di vita
(*fluage*: riduzione nel tempo della resistenza meccanica)
- Giunzioni a bicchiere con anello in gomma
- Giunzioni a manicotto con anello in gomma
- Giunzioni a bicchiere incollato
- Giunzioni con flange e/o raccordi anche di materiale diverso da PVC.

Tubazioni in vetroresina (PRFV)

La **vetroresina** è un materiale composito costituito da una struttura di fibre di vetro avvolte a spirale (che garantiscono la struttura del materiale) annegate in resine termoindurenti (poliestere o epossidiche). Le buone caratteristiche delle fibre di vetro consentono di raggiungere resistenze a trazione sino a 40 Kgf/cm².

- DN 300÷2000 mm (\equiv diametro esterno); P_N 6÷25 atm
- Giunzioni a bicchiere con anello in gomma
- Giunzioni a bicchiere incollato
- Giunzioni a bicchiere con fasciatura in vetroresina interna e/o esterna
- Giunzioni di testa
- Giunzioni con flange e/o raccordi anche di materiale diverso

La scelta delle tubazioni per le reti di adduzione

Deve essere effettuata tenendo conto di diversi fattori:

- Pressione nominale;
- Aggressività dei terreni attraversati: potrebbero essere necessari rivestimenti adeguati e/o protezioni catodiche per tubazioni metalliche soggette a corrosione (potrebbe addirittura risultarne sconsigliata l'adozione);
- Stabilità dei terreni attraversati: tubazioni e giunti in grado di sopportare le sollecitazioni, eventuali strutture di fondazione;
- Caratteristiche incrostanti e di aggressività delle acque trasportate: influenza la scelta del materiale e del rivestimento interno;
- Tutti materiali plastici richiedono particolare cura nel rinfiacco e rinterro.
- Indipendentemente dal materiale scelto per la realizzazione dell'acquedotto: (i) negli attraversamenti si utilizzano materiali metallici, (ii) all'interno dei manufatti si utilizzano giunti metallici a flangia e tipo Gibault.

La scelta delle tubazioni per le reti di distribuzione

Per le **reti di distribuzione** vengono in genere utilizzate le tubazioni in **ghisa sferoidale**, che, pur essendo metalliche non presentano problemi di corrosione, e spesso anche in **PEAD**, che, oltre ad essere economico, presenta numerosi vantaggi dovuti alla flessibilità e alla facilità di taglio e giunzione. Per contro il PEAD richiede una posa accurata per le elevate pressioni addizionali p_0 .

Per le **reti di distribuzione** è *sconsigliabile* l'utilizzo delle seguenti tubazioni:

- **Acciaio.** Corrosione per la presenza di correnti disperse dovute alle linee elettriche urbane: difficoltà nel realizzare e preservare protezioni attive e passive, e perciò rischio di minor durata delle tubazioni.
- **Cementizie.**
 - A) Produzione di diametri superiori a 400÷500 mm, al di sopra del campo di diametri richiesti per una rete di distribuzione urbana;
 - B) difficoltà di realizzazione in opera di tronchi più corti del normale;
 - C) problemi di tenuta delle numerose giunzioni (in genere con anello in gomma) con pezzi speciali e apparecchiature metalliche.