

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO LS

*DISTART – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELLE STRUTTURE, DEI TRASPORTI,
DELLE ACQUE, DEL RILEVAMENTO, DEL TERRITORIO*

TESI DI LAUREA

in

Acquedotti e fognature LS

**NORMATIVA TECNICA SULLE TUBAZIONI IN MATERIALI PLASTICI
PER ACQUEDOTTI E FOGNATURE**

CANDIDATO
Marcello Prugni

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Alberto Marinelli

Anno Accademico 2007/08

Sessione I

INTRODUZIONE

Partendo dall'interesse per l'ambito acquedottistico e fognario, si intende circoscrivere il lavoro della tesi ai materiali plastici più convenienti nell'impiego delle tubazioni [vale a dire il polivinilcloruro (PVC), il polietilene, (PE) e il vetroresina (PRFV)], nella posa, nel calcolo statico e nelle verifiche di stabilità.

Fra i vari aspetti dell'argomento si intende privilegiare quello relativo all'individuazione delle normative tecniche europee in vigore a cui ci si deve attenere per le varie fasi del "ciclo di vita" della tubazione, a partire dal materiale come materia prima fino alla posa e alle prove tecniche su tubi e giunzioni.

Affinché il lavoro venga ad assumere una connotazione concreta si ritiene opportuno, là dove possibile, accompagnare la descrizione delle parti più significative delle normative con esempi pratici e calcoli tecnici, immaginando di dover posare in opera una tubazione con caratteristiche così definite:

- un tubo con un diametro esterno $d_e = 500$ mm;
- un insieme di dati, diversificati per ogni materiale, contenuti nella tabella seguente:

<i>materiale</i>	<i>SDR</i> (= d_e/s)	d_e (mm)	<i>Pressione nominale PN (atm)</i>	<i>Peso specifico ρ (kg/dm³)</i>	<i>Coefficiente di dilatazione lineare α_L(°C⁻¹)</i>	<i>Modulo di elasticità longitudinale E_x (N/mm²)</i>
PVC	20	500	10	1,37-1,45	$7 \cdot 10^{-5}$	25-35
PEAD/PEBD	17	500	10	0,94-0,96/ 0,92-0,93	$20 \cdot 10^{-5}$	7-20
PRFV	50	500	10	1,7	$(2,5-3) \cdot 10^{-5}$	23

Le parti di normative prese in esame verranno riportate, per quanto possibile, in modo integrale (al loro interno conterranno figure esplicative, tabelle, prospetti, grafici e appendici integrative).

Capitolo I

MATERIALI PLASTICI PER TUBAZIONI IN AMBITO ACQUEDOTTISTICO E FOGNARIO

Le tubazioni in materiale plastico hanno trovato impiego in tempi abbastanza recenti, per cui l'esperienza non è ancora in grado di fornire precise indicazioni sul loro comportamento nel lungo periodo. Infatti i tubi in materiale plastico che hanno conosciuto le prime applicazioni sono quelli in policloruro di vinile (PVC), installati in Germania già nel 1938; la loro diffusione però è avvenuta solo nel secondo dopoguerra.

Inizialmente l'impiego di queste tubazioni ha presentato talvolta risultati negativi, a causa o di difetti nei materiali utilizzati nella produzione, o della non adeguata posa in opera, o della scarsa conoscenza delle caratteristiche del materiale stesso, fattore quest'ultimo che ha comportato il loro impiego in situazioni tecnicamente sconsigliabili; a questo è da aggiungere la totale mancanza di normative fino a tempi non troppo lontani dai nostri.

Progressivamente i risultati sono migliorati, con la conseguenza di una sempre più ampia diffusione delle condotte in materiali plastici, grazie alle loro numerose caratteristiche positive quali:

- il costo generalmente piuttosto basso, almeno rispetto alle tubazioni metalliche, in certi campi di diametro e di pressione nominale;
- la leggerezza, che consente di ridurre le spese di trasporto e soprattutto quelle di posa in opera, anche per la possibilità di impiego di tubi di notevole lunghezza, con la riduzione del numero di giunzioni necessarie (è importante far notare che le tubazioni in materiale plastico hanno un peso da 2,5 a oltre 10 volte inferiore a quello delle condotte in acciaio, a seconda del diametro e della pressione nominale);
- l'elevata resistenza a qualsiasi agente chimico e l'alto grado di isolamento elettrico, per cui non è da temere l'insorgere di alcun problema per effetto dell'aggressività del fluido

trasportato o dei terreni di posa e per effetto della presenza di eventuali correnti vaganti o pile elettrolitiche;

- l'alta levigatezza del materiale, tanto che è possibile assimilare il comportamento idraulico di questi tubi a quello delle tubazioni idraulicamente lisce; tale caratteristica è ancor più importante per la sua inalterabilità nel tempo, per cui nei calcoli idraulici si può mettere in conto un invecchiamento della tubazione molto esiguo, a causa della formazione di lievi incrostazioni dovute al fluido convogliato;
- la pressoché assoluta impermeabilità.

Le tubazioni in materiale plastico presentano però anche aspetti negativi che vediamo di analizzare:

- la resistenza meccanica non molto elevata (eccetto nei tubi di vetroresina), che rende impossibile superare determinati valori di pressione nominale;
- l'elevata deformabilità della tubazione, che per effetto dei carichi esterni dà luogo a tensioni quasi sempre non trascurabili; questo significa che la pressione nominale p_N (dalla formula di Mariotte sappiamo che $p_N = p_E + p_0$) differisce non poco dalla pressione d'esercizio p_E , in quanto la pressione equivalente p_0 , che tiene conto di tutte le sollecitazioni esterne, non è trascurabile. Perciò occorre effettuare sempre calcoli statici accurati per poter determinare lo stato di sollecitazione della condotta dovuto alle azioni esterne; tale stato è strettamente legato alle condizioni di posa del tubo stesso, le quali devono essere attentamente valutate in sede di progetto ed essere eseguite perfettamente. Talvolta l'esigenza di dover contenere la massima deformazione del tubo diventa l'elemento che condiziona il dimensionamento statico;
- il decadimento nel tempo delle caratteristiche meccaniche del materiale, per cui i calcoli statici vengono eseguiti in base ai valori che assumono tali caratteristiche al termine della vita prevista per le opere da realizzare;
- il decadimento delle caratteristiche meccaniche con l'aumentare della temperatura, per cui in fase di progetto è da prevedere una temperatura massima per le tubazioni, temperatura da non superare durante l'esercizio. Il decadimento termico è così rapido

che non è possibile in alcun modo superare certe temperature d'impiego; questo però non riguarda il caso degli acquedotti né quello delle fognature;

- la particolare cura richiesta non solo nella posa in opera, ma anche in tutte le operazioni di movimentazione come trasporto, carico e scarico, accatastamento e deposito, al fine di evitare rigature o schiacciamenti tali da compromettere le caratteristiche meccaniche delle tubazioni. Un deterioramento di tali caratteristiche può essere causato anche dal raggiungimento e dalla permanenza dei tubi ad elevate temperature o dall'insorgenza di pericolose ovalizzazioni che causano stati di tensione prima dell'impiego.

Nonostante gli aspetti negativi sopra evidenziati, riteniamo opportuno privilegiare la trattazione delle tubazioni in materiali plastici perché questi rappresentano a tutt'oggi la migliore scelta sulla base del rapporto qualità/prezzo.

Le materie plastiche utilizzate nella fabbricazione delle condotte si suddividono in due grandi categorie: le *resine termoplastiche* e le *resine termoindurenti rinforzate*, che presentano un diverso comportamento all'effetto del calore. Entrambi i tipi di resine assumono un elevato grado di indurimento con il raffreddamento in seguito alla lavorazione a caldo; la differenza consiste nel fatto che, mentre per le resine termoindurenti tale caratteristica non è più alterabile con il calore, le resine termoplastiche rammolliscono se vengono nuovamente riscaldate, fino a diventare pastose.

Fra le resine termoplastiche quelle maggiormente impiegate per la produzione di tubazioni sono il *policloruro di vinile (PVC)*, il *polietilene ad alta densità (PEAD)* e il *polietilene a bassa densità (PEBD)*.

Le resine termoindurenti rinforzate utilizzate per la fabbricazione dei tubi sono costituite da resine termoindurenti (cioè da resine che dopo l'indurimento dovuto alla polimerizzazione conservano indefinitamente il loro stato fisico), rinforzate mediante fibre organiche, sintetiche, ma soprattutto fibre di vetro che, se opportunamente trattate, hanno la proprietà di aderire fortemente alle resine. La resina termoindurente rinforzata che si utilizza nella produzione di tubazioni per acquedotto e fognatura è detta *vettoresina*, più propriamente *resina poliestere rinforzata con fibre di vetro (PRFV)*.

Riportiamo di seguito alcune immagini di tubi plastici per acquedotti e fognature nei diversi materiali sopra citati.



Fig. 1 Tubi in PVC.



Fig.2 Tubi in PVC.



Fig.3 Tubi in PVC accatastati.



Fig.4 Tubi di PVC di piccolo diametro accatastati.



Fig.5 Tubi in PEAD posati in opera.



Fig.6 Tubi in PEAD accatastati.



Fig.7 Tubi in PEAD forniti in rotoli (piccoli diametri).



Fig 8. Tubi in PEBD di piccolo diametro forniti in rotoli.



Fig.8 Tubi in PEBD in rotoli.



Fig.9 Tubi in PEBD in rotoli.



Fig.10 Tubi in PRFV.



Fig.11 Tubi in PRFV.

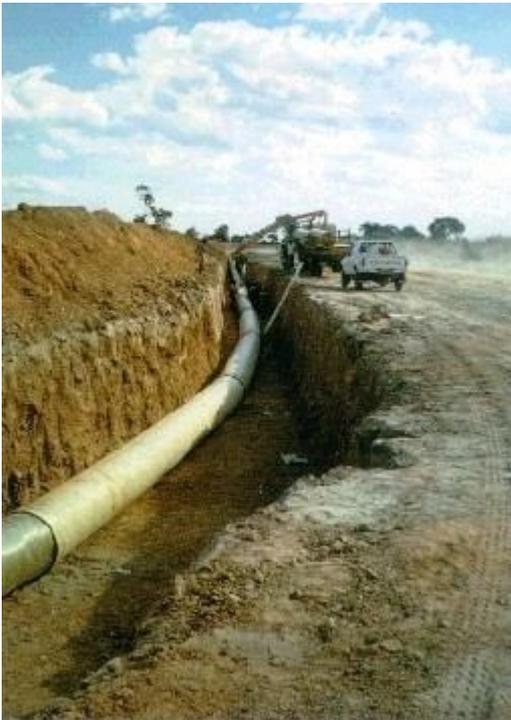


Fig.11 Tubi in PRFV posti in opera.

Capitolo II

REALIZZAZIONE DI TUBAZIONI IN MATERIALI PLASTICI PER ACQUEDOTTI E FOGNATURE

Premessa

Come è stato precedentemente detto, le tubazioni in materie plastiche usate in acquedotti e fognature sono:

- Tubazioni in polivinilcloruro (PVC)
- Tubazioni in polietilene ad alta densità (PEAD)
- Tubazioni in polietilene a bassa densità (PEBD)
- Tubazioni in vetroresina (PRFV)

Tutti questi materiali appartengono alla classe dei polimeri, che sono classificati in tre grandi gruppi: *elastomeri*, *termoindurenti* e *termoplastici*. Vediamo di esaminare le principali caratteristiche di ogni gruppo.

Elastomeri

Gli elastomeri, composti da gomme naturali e sintetiche, presentano un comportamento elastico prevalente su quello plastico: vale a dire che hanno la caratteristica della capacità di ripresa e della forma iniziali una volta rimossa la causa della deformazione. Gli elastomeri hanno scarse proprietà meccaniche, ma notevoli capacità di impermeabilizzazione e di assorbimento di vibrazioni; per questo vengono spesso utilizzati per proteggere altri materiali dall'abrasione e dalla corrosione causata da vibrazioni, colpi e terremoti. Un tipo di elastomero usato in reti

acquedottistiche è il copolimero etilene-propilene (EPM), impiegato come sigillante per i giunti delle tubazioni.

Tra gli elastomeri più conosciuti troviamo: gomma naturale (NR), gomma butile (IIR), copolimeri stirene-butadiene (SBR), polibutadieni (BR), gomme nitrile (NBR), gomme poliuretatiche (AU, EU) e gomme siliconiche (MQ), oltre ai copolimeri etilene-propilene (EPM) precedentemente menzionati.

Termoindurenti

La caratteristica principale dei polimeri termoindurenti è quella di avere una struttura chimica in grado di sviluppare una struttura tridimensionale (data da legami tridimensionali) a partire dal monomero iniziale. Fanno parte dei polimeri termoindurenti diversi tipi di resine che, all'aumentare della temperatura, subiscono una reazione irreversibile di indurimento, reazione spesso agevolata da catalizzatori di indurimento. Una volta formate, queste resine non riacquistano più la loro plasticità iniziale, anche se possono rammollirsi per successivo riscaldamento. Queste caratteristiche permettono di miscelare la resina in sito, applicandola nelle forme desiderate, senza dover trasportare e posare manufatti tridimensionali rigidi. In campo acquedottistico e fognario trovano impiego le resine epossidiche, usate nei rivestimenti interni delle tubazioni in acciaio, per la loro buona resistenza chimica all'aggressività delle acque.

Inoltre, sempre in acquedotti e fognature, troviamo il polimero termoindurente resina poliestere rinforzata con fibre di vetro (PRFV) per la realizzazione di tubazioni in vetroresina.

Le resine termoindurenti più utilizzate sono le epossidiche, poliuretatiche, poliestere e polifuraniche.

Termoplastici

I polimeri termoplastici presentano la caratteristica di conservare la loro plasticità a caldo, induriscono per raffreddamento e possono essere riportati mediante riscaldamento alla loro plasticità iniziale. Essi trovano un largo impiego nella realizzazione di tubazioni per acquedotti e fognature: esistono infatti tubazioni in materiali plastici termoplastici come PVC, PEAD e PEBD, le cui proprietà sono state descritte nel primo capitolo.

Processi di costruzione delle tubazioni plastiche

I processi industriali di produzione di tubazioni plastiche sono:

- ***estrusione*** (per tubi in PVC, PEAD e PEBD)
- ***avvolgimento*** (per tubi in PRFV) o ***centrifugazione*** (per tubi in PRFV)

Di seguito vengono descritti i suddetti procedimenti.

Estrusione

L'estrusione è il procedimento di trasformazione delle materie plastiche attualmente più diffuso e impiegato, soprattutto ma non esclusivamente, nella produzione di manufatti continui come tubi, profilati (importante il segmento telai per finestre), film sottili, rivestimenti continui, cavi e fili, ecc.

Il corpo principale della macchina impiegata in questo processo, detta trafilatura o estrusore, è costituito da un cilindro entro il quale ruota una vite senza fine. Per accelerare i tempi di lavorazione e migliorare le caratteristiche di alcuni prodotti si vanno diffondendo estrusori a due o più viti. Vediamone le differenti caratteristiche:

Estrusori monovite

Sono composti da una vite senza fine che ruota all'interno di un tubo di acciaio nitruato (*cilindro*) e spinge il materiale condizionandolo attraverso successivi cicli termici e meccanici. L'estrusore monovite può creare delle forme a partire da piccole dimensioni e di grandezza costante fino alla realizzazione di tubi di grandi dimensioni per le condutture dell'acqua e/o gas. La massa iniziale di partenza è sotto forma di granulo. E' costituito principalmente da tre zone: zona di alimentazione, zona di fusione e zona di trasporto del fuso. Riportiamo di seguito immagini di un estrusore monovite.

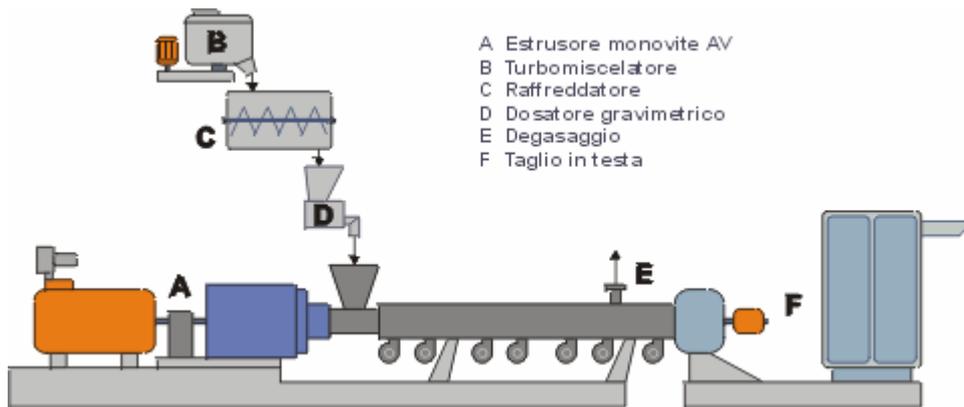


Fig.1 Schema di un estrusore monovite per tubazioni in PVC.

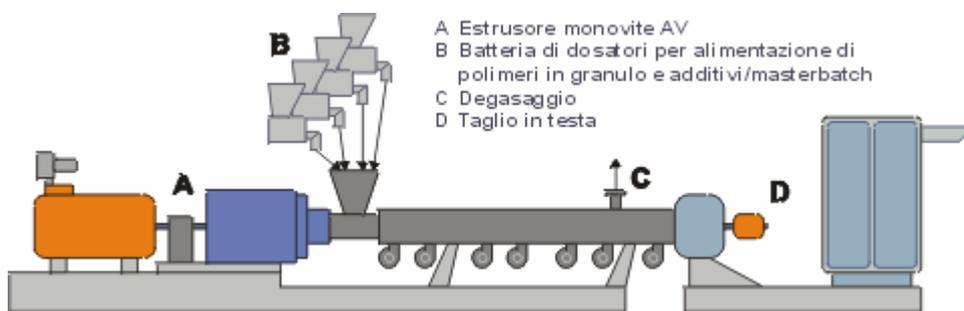


Fig.2 Schema di un estrusore monovite per tubazioni in PEAD e PEBD.

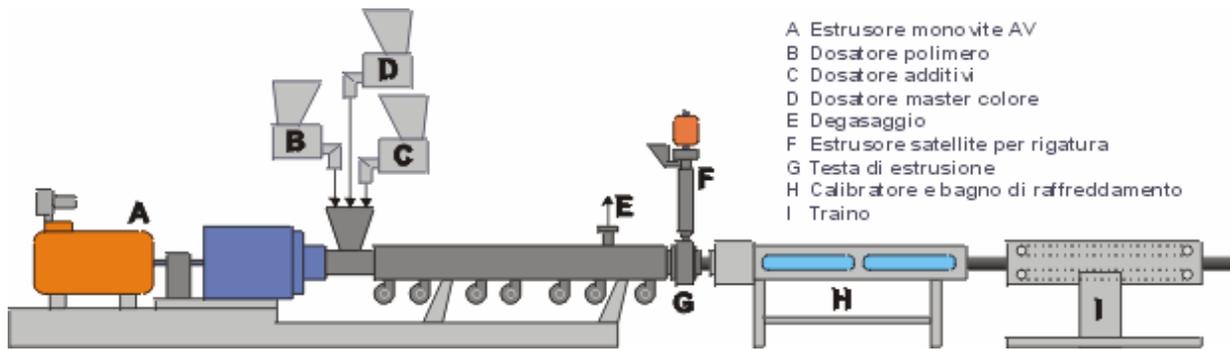


Fig.3 Schema di un estrusore monovite per tubazioni in PVC, PEAD e PEBD con l'aggiunta del banco di calibrazione e raffreddamento per lo stampo dei tubi e con l'aggiunta del traino.



Fig.4 Estrusore monovite.

Estrusori bivate

I modelli più complessi di estrusori sono i *bivate*, cioè costituiti da due viti compenetranti che nel cilindro hanno una forma simile in sezione a un doppio cerchio parzialmente sovrapposto: esse possono ruotare in senso concorde (*estrusore bivate corotante*) o discorde (*estrusore bivate controrotante*). La massa iniziale degli estrusori bivate può essere sia granulo che polvere. Gli estrusori bivate sono molto utilizzati per il riciclaggio delle materie plastiche, vengono impegnati in svariati settori medicali, sono adatti per la produzione di profili per serramenti, tubi di piccole e grandi dimensioni, profili di qualsiasi genere e dimensione, pannelli per coperture. Un altro campo di applicazione, in forte sviluppo, è il Polywood, cioè un miscela di plastica e legno (fino al 80% di segatura) adatta per fare qualsiasi tipo di profilo per utilizzi esterni e/o interni, con un

costo esiguo della materia prima, resistenza all'acqua e agli agenti atmosferici, un bassissimo impatto ambientale e lavorabilità pari al legno. Riportiamo di seguito alcune immagini di un estrusore bivite.

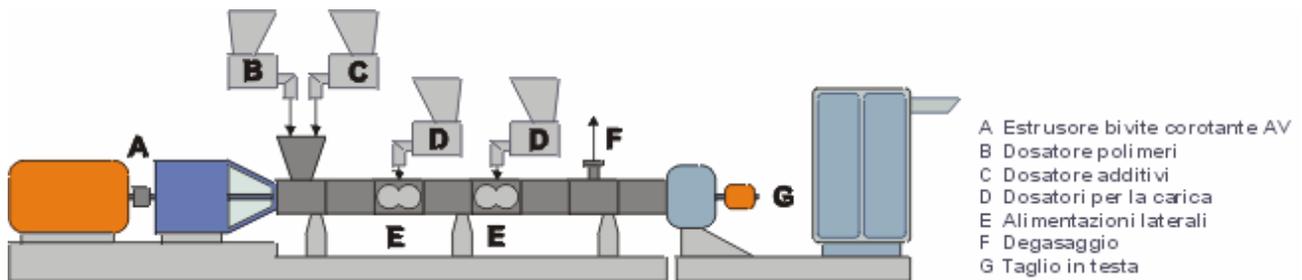


Fig.5 Schema di un estrusore bivite per tubazioni in PEAD e PEBD.



Fig.6 Estrusore bivite.

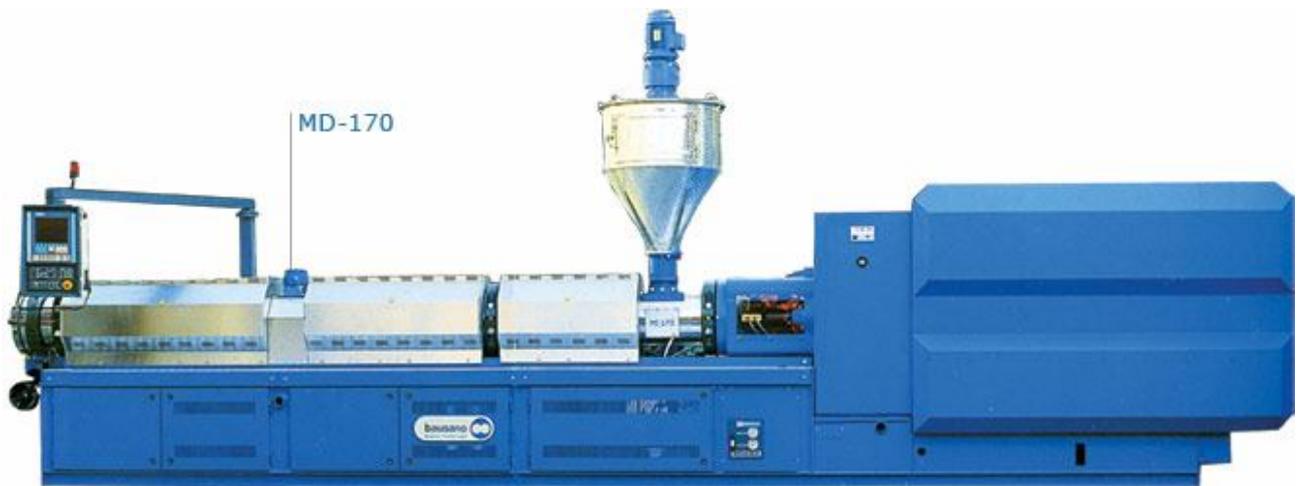


Fig.7 Estrusore bivate.



Fig.8 Banco di calibrazione e raffreddamento dello stampo dei tubi (macchinario contiguo a ciascuno dei due precedenti estrusori in figura).

Estrusori in sequenza

Una composizione di più estrusori adibiti a funzioni diverse viene detto "*tandem*". Generalmente si tratta di due o tre estrusori che, nell'industria polimerica, garantiscono rispettivamente fusione, raffreddamento con omogeneizzazione, e stabilizzazione della pressione del materiale di partenza, per garantire la costanza della portata in uscita di ciò che si sta trattando. L'esigenza, specie per quel che riguarda il trattamento delle materie plastiche, è quella di permettere l'ingresso di liquidi coloranti o lubrificanti tra un estrusore e l'altro: per questo motivo i sistemi *tandem* prevedono anche la presenza di punti di iniezione tra due macchine.

Nella lavorazione, la miscela di PVC è immessa nella tramoggia nel cilindro, ove viene progressivamente riscaldata fino a fusione, anche per effetto del lavoro meccanico della vite stessa che, ruotando, la omogeneizza e la trasporta, sospingendola verso il foro d'uscita. Questo, detto filiera o matrice, è sagomato secondo il profilo che si vuol dare al manufatto: può essere quindi a sezione piatta per la produzione di film o di laminati, a sezione di corona circolare per la produzione di tubi o film tubolari, a sezione elaborata per la produzione di profilati. All'uscita della filiera il prodotto viene raffreddato in modo da assumere definitivamente la forma voluta.

Analizziamo le principali caratteristiche dell'estrusione nel caso di stampaggio di tubazioni in PVC.

Estrusione nella produzione di tubi in PVC

Il PVC, per le sue caratteristiche fisico-chimiche e per la natura del processo tecnologico di lavorazione, non può essere impiegato senza l'aggiunta di additivi stabilizzanti e lubrificanti. I primi servono a contrastare l'azione degradante del calore durante la lavorazione e la successiva azione degli agenti esterni, mentre i secondi facilitano il processo di estrusione, per la loro azione di lubrificazione delle pareti calde dello stampo. Oltre a questi additivi, possono essere impiegati, per altri scopi, vari ingredienti, quali i plastificanti, che servono a conferire particolari caratteristiche di plasticità e flessibilità ai manufatti di PVC, e i pigmenti coloranti; per le tubazioni si usa il PVC rigido, quindi non plastificato, senza aggiunta di plastificanti.

È importante dire che il PVC puro è atossico, mentre non lo sono tutti gli altri ingredienti ad esso aggiunti; questi pertanto devono essere conformi (specialmente nel caso di convogliamento di acque potabili) alle prescrizioni del Ministero della Salute, contenute in varie Circolari, come per esempio la n. 135/1960 e la 125/1967.

Avvolgimento

Lo stampaggio per avvolgimento è impiegato per la produzione di corpi cavi come tubi, condotte, serbatoi, sfere e cupole; il procedimento comporta la deposizione su uno stampo ruotante intorno al proprio asse (mandrino) di un rinforzo impregnato di resina (preimpregnazione o impregnazione in loco). In molti casi questo rinforzo è costituito da una banda di roving, da cui l'espressione "avvolgimento filamentare". Questa banda può essere disposta perpendicolarmente all'asse del mandrino (avvolgimento circonferenziale) o inclinata di un certo angolo rispetto a questo asse (avvolgimento elicoidale).

Il sistema di avvolgimento è realizzato sia facendo ruotare il mandrino sul quale viene così ad arrotolarsi il rinforzo, sia nel modo inverso. Nel caso di avvolgimento elicoidale il meccanismo di rotazione è progettato per effettuare l'avvolgimento sotto l'angolo desiderato. Questo procedimento permette di raggiungere contenuti in massa di vetro elevati (60-75%) e di realizzare pezzi di ottima resistenza meccanica.

È necessario che l'impregnazione dei fili di vetro avvenga sotto assidua sorveglianza; per fare in modo che i fili non si rompano è consigliabile usare una resina a bassa viscosità; è comunque difficile mantenere un dosaggio costante della resina. Per questo motivo si usano sempre più spesso fili preimpregnati che consentono di ottenere caratteristiche meccaniche più elevate.

La possibilità di variare l'angolo di avvolgimento consente di regolare meglio la tensione dei fili; in particolare la tensione può essere più elevata e restare uniforme durante tutta la formatura con il risultato di ottenere un prodotto con una miglior resistenza meccanica.

Le variabili che entrano in gioco nello stampaggio per avvolgimento sono diverse e il loro controllo fa di questo procedimento una tecnica spiccatamente industriale; l'attrezzatura necessaria, inoltre, richiede cospicui investimenti, specie nella realizzazione di manufatti di grandi dimensioni.

Le macchine per la sbobinatura comportano numerosi dispositivi di controllo, mentre i mandrini sono realizzati con varie tecniche e possono essere smontabili o retrattili, in alluminio, acciaio,

metalli a basso punto di fusione, legno, gomma, plastici rinforzati o più semplicemente in gesso, sali solubili o fusibili.

Uno dei principali vantaggi del sistema di formatura per avvolgimento consiste nell'alto rapporto resistenza-peso che si può ottenere; l'unica limitazione in questo processo è l'impossibilità di ottenere pezzi di forme diverse da quelle cilindriche o di rivoluzione.

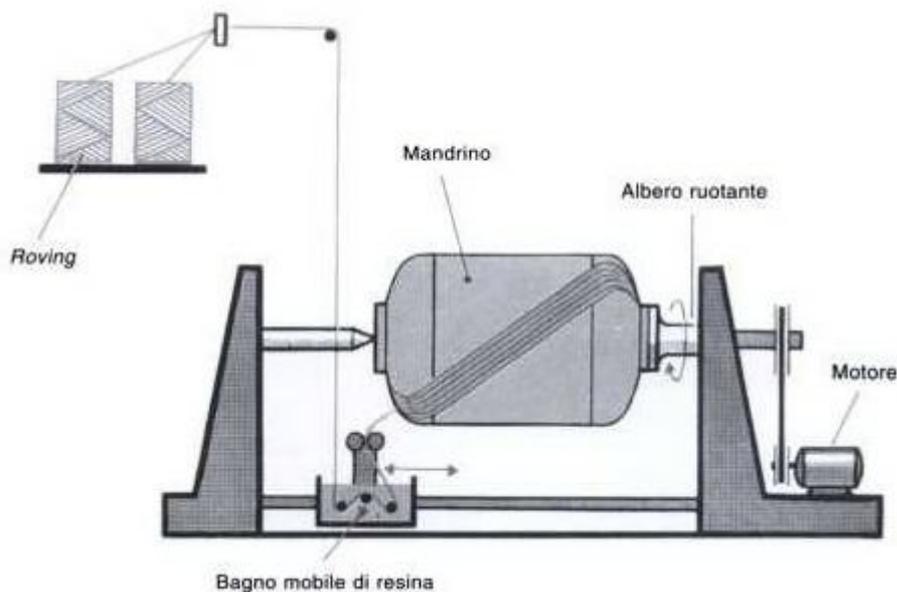


Fig.9 Schema di un impianto di stampaggio ad avvolgimento.

Avvolgimento nella produzione di tubi in PRFV

La vetroresina è un tipo di resina termoindurente rinforzata con fibre di vetro, che costituiscono la parte strutturale del materiale a cui è affidata la resistenza meccanica, mentre la resina è la matrice che assicura l'impermeabilità e la resistenza chimica e che lega le varie fibre, permettendo la distribuzione degli sforzi.

La resina termoindurente può essere scelta fra quelle fenoliche, poliestere, epossidiche, polifuraniche; le più impiegate sono quelle poliestere, che sono liquide allo stato di monomero, polimerizzando con l'aggiunta di opportuni additivi. Le fibre di vetro possono presentarsi sotto forme diverse: in filati, in tessuti e nastri, in un sottile tappeto costituito da fibra sciolta compressa.

I tubi in PRFV sono realizzati mediante avvolgimento delle fibre di vetro e della resina intorno a un mandrino, fino ad ottenere lo spessore desiderato; una volta avvenuta la polimerizzazione della resina, e di conseguenza anche la formazione del tubo, il mandrino viene estratto e riutilizzato in seguito.

Attorno al mandrino viene applicato uno strato di resina rinforzata con un velo di vetro; questo strato interno contiene l'80-90% di resina e viene rinforzato con un secondo strato di vetro impregnato di resina (in cui la resina è presente per il 70% circa). Questa parte interna del tubo, detta "liner", che si viene a trovare a diretto contatto con il fluido trasportato, garantisce l'impermeabilità, assicura la resistenza chimica del tubo e presenta una superficie interna estremamente liscia, garantendo un ottimo comportamento idraulico del tubo.

Attorno al liner vengono avvolte con una tensione costante fibre di vetro impregnate di resina, che costituiscono la parte esterna del tubo, la quale contiene un'elevata percentuale di vetro (più del 70% in peso) e assicura la resistenza meccanica a tutte le sollecitazioni interne ed esterne, comprese quelle flessionali. Il numero degli strati e l'angolo di avvolgimento di tali fibre dipendono dalla resistenza da conferire al tubo.

Infine si realizza uno strato esterno di resina pura di spessore esiguo (qualche decimo di millimetro), per ottenere l'impregnazione completa delle fibre di vetro periferiche; a tale strato vengono aggiunti degli additivi che agiscono contro l'azione dei raggi ultravioletti. Per tubazioni aventi classi di pressione nominale molto elevata si può aggiungere una certa percentuale di silice pura al posto del vetro, ottenendo caratteristiche di resistenza maggiori.

In alcuni tipi di produzione di tubi in PRFV viene usato come mandrino per l'avvolgimento un tubo in PVC di piccolo spessore, che non viene estratto, ma resta a formare la parete interna del tubo in PRFV.



Fig.10 Mandrini per realizzazione di tubazioni di grandi dimensioni in PRFV.



Fig.11 Tubo di PRFV appena realizzato mediante formatura (o stampaggio) ad avvolgimento.



Fig.12 Tubi in PRFV appena realizzati.

Centrifugazione (e centrifugazione nella produzione di tubi in PRFV)

Lo stampaggio (o formatura) per centrifugazione è un procedimento idoneo alla realizzazione di corpi cavi con due facce lisce. È un metodo fondato, in linea di massima, sugli stessi principi validi per la centrifugazione dei tubi in cemento. In una forma o stampo cavo ruotante viene collocato il rinforzo di fibra di vetro sistemandolo intorno alla parete interna. La resina, mediante un opportuno dispositivo, viene distribuita uniformemente attraverso il rinforzo.

L'azione centrifuga comprime e forza le fibre di vetro e la resina contro le pareti della forma ruotante, prima e durante la polimerizzazione.

Il rinforzo di vetro può anche essere un roving tagliato e spruzzato in loco insieme alla resina, all'interno del mandrino ruotante a grande velocità. La resina impregna il rinforzo sotto l'azione della forza centrifuga.

Tutta l'apparecchiatura può essere sistemata all'interno di un forno o tunnel dove, per accelerare la polimerizzazione, può essere fatta circolare aria calda.

Questo procedimento, se utilizzato a velocità minore (pezzi di grande diametro), viene chiamato "rotazione", e in questo caso richiede un dispositivo, integrato al meccanismo, che consenta l'eliminazione delle bolle.

I vantaggi della formatura per centrifugazione sono diversi e si possono riassumere come segue: possibilità di produzione di corpi cavi aventi due facce lisce (interna ed esterna);

- uso di mandrini o forme cave semplici, sia di metallo che di PRFV;
- minimo impiego di mano d'opera, potendosi utilizzare attrezzature altamente automatizzate;
- bassa incidenza degli sfridi di materiali;
- possibilità di realizzare filettature;
- possibilità di ottenere cilindri lunghi fino a dieci metri.

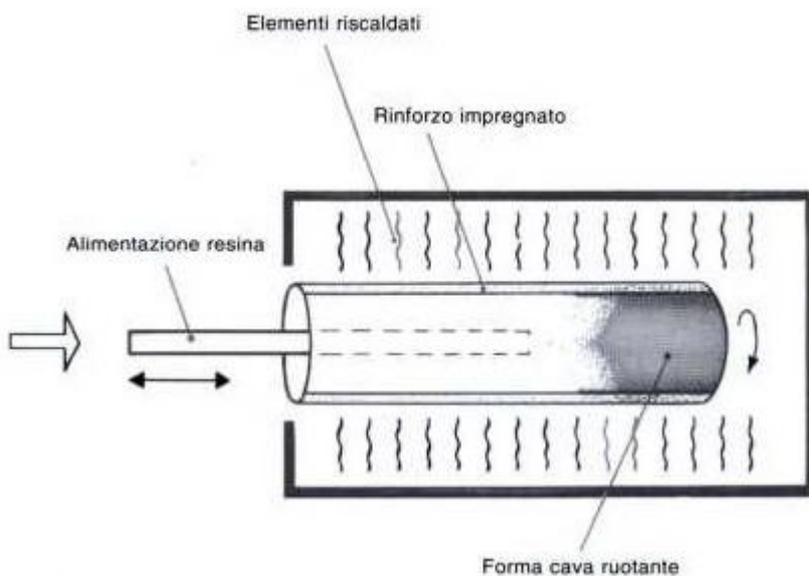


Fig.13 Schema di un impianto di formatura per centrifugazione per tubazioni in PRFV.

Capitolo III

POSA E CALCOLO STATICO DELLE TUBAZIONI PLASTICHE IN ACQUEDOTTI E FOGNATURE

Generalità e normativa generale sugli scavi

La posa delle condotte, sia per acquedotti sia per fognature, avviene all'interno di scavi appositamente già preparati.

La scelta del tipo di tubazioni da adottare si basa su diversi fattori d'indagine: è fondamentale raccogliere dati sulle caratteristiche dei terreni interessati dallo scavo, sull'eventuale presenza di falde freatiche e loro escursioni nel tempo; in ultimo bisogna verificare se esistono possibili interferenze dello scavo con opere preesistenti nel sottosuolo (come per esempio altre condotte, cavi elettrici, del gas o del telefono interrati) e in superficie.

Le indagini del terreno in situ, oltre a basarsi su eventuali precedenti indagini effettuate, vengono realizzate attraverso particolari sondaggi appropriati alla lunghezza della rete di condotte da porre in opera. È opportuno annotare le eventuali presenze di falde, lo stato idrometrico dei canali o corsi d'acqua nelle loro vicinanze, canali che possono influenzare il livello idrico delle falde stesse.

Vista la limitata profondità necessaria per tali sondaggi, essi vengono realizzati con normali escavatori.

Nello studio accurato dei terreni interessati dallo scavo è importante regolarsi sul tipo di scavo da effettuare (trincea larga o stretta, terrapieno), su un eventuale sostegno delle pareti e sulla posa delle condotte; inoltre tale studio è fondamentale per stimare i tempi d'esecuzione e i costi. La profondità massima di scavo è legata allo stato altimetrico del territorio di posa delle condotte e alle pendenze del terreno (che di solito seguono le strade); di norma non si superano i 5 m di altezza di scavo.

La principale normativa che ci interessa in campo di scavi è il D.Lgs. 9 aprile 2008 n.81, che costituisce l'attuazione dell'art.1 della legge 3 agosto 2007 n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro; all'art. 119 esso dice:

“POZZI, SCAVI E CUNICOLI

Art. 119. Nello scavo di pozzi e trincee profondi più di 1,5 m, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che si procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature. Le tavole di rivestimento delle pareti devono sporgere dai bordi degli scavi di almeno 30 cm. Nello scavo dei cunicoli, a meno che si tratti di roccia che non presenti pericoli di distacchi, devono predisporre idonee armature per evitare franamenti della volta e delle pareti. Dette armature devono essere applicate man mano che procede il lavoro di avanzamento; la loro rimozione può essere effettuata in relazione al progredire del rivestimento in muratura. Idonee armature e precauzioni devono essere adottate nelle sottomurazioni e quando in vicinanza dei relativi scavi vi siano fabbriche o manufatti, le cui fondazioni possano essere scoperte o indebolite dagli scavi. Nell'infissione dei pali di fondazione devono essere adottate misure e precauzioni per evitare che gli scuotimenti del terreno producano lesioni o danni alle opere vicine, con pericolo per i lavoratori. Nei lavori in pozzi di fondazione profondi oltre 3 m deve essere disposto, a protezione degli operai addetti allo scavo e all'esportazione del materiale scavato, un robusto impalcato con apertura per il passaggio della benna.”

Se si opera in un centro abitato, soprattutto se centro storico, possono allungarsi notevolmente i tempi di scavo; questo per vari motivi:

- bisogna porre particolare attenzione a non danneggiare le opere vicine;
- si deve prestare attenzione alla presenza di sottoservizi (in posizioni non sempre certe) nel sottosuolo,
- bisogna assicurare la stabilità degli edifici che si affacciano alla strada (soprattutto se senza scantinati).

In presenza di acque di falda la posa in opera delle condotte richiede che si proceda, nel tratto interessato dal lavoro, all'abbassamento del livello idrico al di sotto del fondo dello scavo. Spesso in questi casi, se si opera in terreni sabbiosi o sabbioso-limosi, si ottengono ottimi risultati utilizzando un impianto di well-point prima dello scavo; questo permette di effettuare lo scavo all'asciutto. In questi casi è necessaria un'indagine preliminare sull'andamento della falda nel tempo, in modo da poter scavare quando essa è, almeno teoricamente secondo l'indagine, più depressa.

Nel caso di terreni coerenti (non sabbiosi né limosi), se non è adatta l'estrazione dell'acqua con il well-point, prima si esegue lo scavo e solo successivamente il pompaggio. L'emungimento di acqua dev'essere graduale, onde evitare l'asportazione di materiale solido fine dal terreno.

In presenza di uno scavo di notevoli dimensioni è opportuno utilizzare una doppia fila di pozzi o punte, ognuna ai lati opposti dello scavo stesso. Si può talvolta ottenere lo stesso risultato con una sola fila a un solo lato, ma bisogna emungere più in profondità.

Spesso per grandi condotte vengono usate due file, mentre per piccole tubazioni solo una fila.

Queste considerazioni valgono se la falda è uniformemente alimentata rispetto alla sezione dello scavo, altrimenti le precedenti tecniche di emungimento vanno studiate caso per caso.

Criteria di posa

Generalità

Ci sono due particolari aspetti che possono rivestire, con riferimento al tipo di condotta (materiale, diametro, spessore, etc.), una grande importanza per conservarne l'efficienza nel tempo:

- posa di una tubazione su una sede, preparata con letto di sabbia (o conglomerato) o con una sella d'appoggio;
- modalità con cui si provvede al riempimento della trincea.

Bisogna porre una particolare cura al riempimento sui fianchi della condotta (rinfianco) con materiale adatto e con un'appropriata compattazione, specialmente se si ha a che fare con grandi diametri.

I criteri di posa delle tubazioni hanno lo scopo di garantire:

- una distribuzione dei carichi trasmessi dalla condotta al terreno che non provochi delle tensioni concentrate sulla condotta stessa;
- un rinfiacco laterale che limiti, specialmente per le condotte di materiale plastico, le deformazioni della condotta (ovalizzazioni), le quali, oltre a causare un aumento delle tensioni, potrebbero creare problemi di tenuta idraulica ai giunti;
- un'adatta ripartizione dei carichi esterni, soprattutto di quelli accidentali;
- la possibilità di creare correttamente i giunti e di poterne controllare il comportamento in fase di collaudo, cioè prima del rinterro.

Affinché vengano realizzate le precedenti condizioni, le modalità di posa da seguire sono le seguenti (indichiamo con D il diametro esterno della condotta):

- larghezza al fondo della trincea non inferiore a $(D + 0,4)$ m;
- posa della condotta su letto di sabbia con spessore $(0,1 + 0,1D)$ m e comunque maggiore di 0,15 m;
- rinfiacco realizzato con sabbia ben costipata;
- rinterro con sabbia fino a 30 cm sopra la generatrice superiore.

Per il riempimento della trincea si utilizza materiale di risulta, cioè il materiale di scavo della trincea stessa.

Di solito la profondità della generatrice superiore delle tubazioni dal piano di campagna è non inferiore a 1,5 m. Ciò garantisce una sufficiente ripartizione dei carichi esterni (anche nel caso di carichi concentrati) e una garanzia contro il gelo; infatti, con un ricoprimento di circa 1,2 m di terreno, si ha una temperatura che resta costante durante l'anno (cioè coincide con la temperatura media annuale) e pertanto non sottopone a stress termici la condotta interrata.

Nel caso in cui la tubazione, per motivi particolari, debba essere ricoperta per meno di 1-1,2 m, essa dev'essere protetta, per ragioni statiche, con un getto di conglomerato cementizio. In alternativa, si pongono sopra la copertura di sabbia delle lastre in conglomerato cementizio; altrimenti, in certi casi la stesa di una georete risulta un rimedio sufficiente.

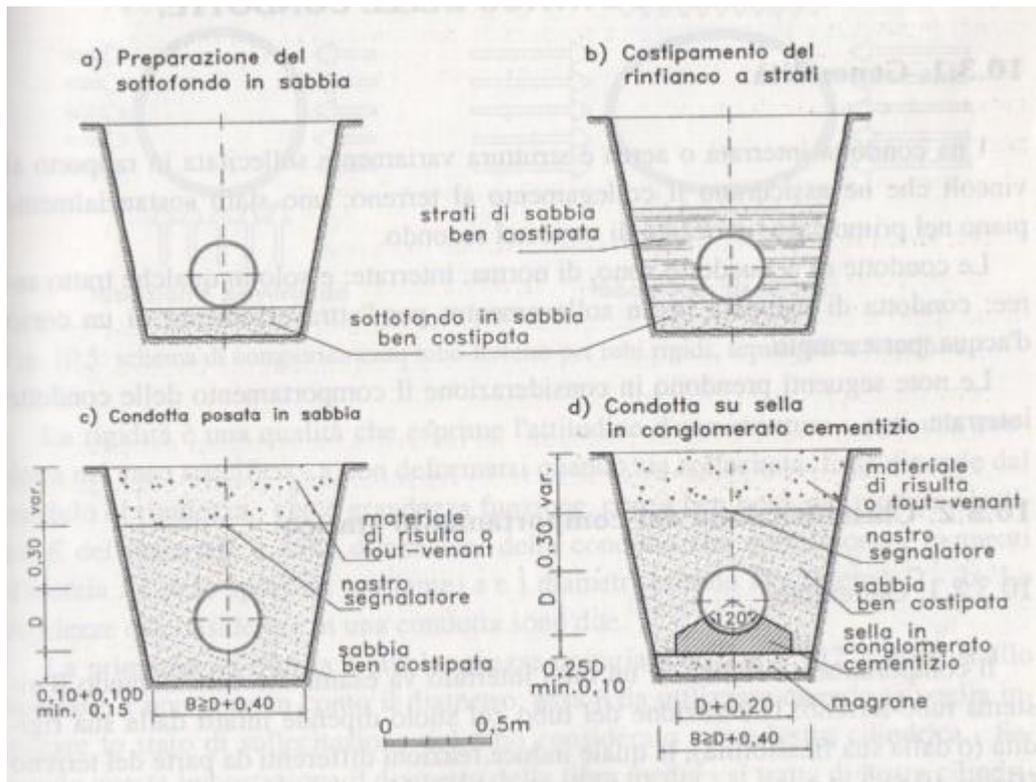


Fig.1 Posa in opera di tubazioni per acquedotto o fognatura (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico:

Da Deppo L., Datei C., Fiorotto V., Salandin P., *Acquedotti*, Edizioni Libreria Cortina Padova, 2000).

Per le condotte di grande diametro (superiore a 1000 mm) la posa in opera può, o deve, specialmente per quelle in conglomerato cementizio, essere realizzata su una sella in conglomerato cementizio. La sella deve avere uno spessore minimo, in corrispondenza della generatrice inferiore della tubazione, di $0,25D$, con un minimo di 0,1 m; la base d'appoggio della sella sul fondo non dev'essere inferiore a $(D + 0,2)$ m. La sella deve essere continua, ma con una riduzione della sezione in corrispondenza dei giunti a bicchiere per l'accoppiamento fra tubi o fra tubi e pezzi speciali. La condotta è comunque da ricoprire fino a 30 cm sopra la generatrice superiore con sabbia o terra vagliata.

Nei casi di attraversamenti senza ricoprimento di terra o con ricoprimento insufficiente la tubazione va talvolta protetta termicamente con una guaina isolante; si può disporre un tubo coassiale alla condotta riempiendo l'intercapedine con materiale isolante resistente alla degradazione da umidità.

Tipi di trincea e azione del rinterro

La verifica statica di una condotta per acquedotto o fognatura viene effettuata determinando:

- i carichi permanenti che gravano sulla tubazione;
- i carichi accidentali che gravano sulla tubazione;
- il carico idraulico;
- le reazioni del terreno.

I carichi permanenti cui è sottoposta una tubazione interrata dipendono per lo più dall'azione del rinterro. Si possono avere diverse configurazioni di carico, in base allo studio dello stato del terreno rimosso e riportato, del tipo di trincea che si vuole adottare, dei cedimenti del terreno e di quelli della condotta (che può subire cedimenti in quanto corpo rigido o deformabile elasticamente).

Molto importante è definire il tipo di rapporto fra la tubazione, il piano di posa e il terreno; possiamo avere due diversi casi (in entrambi bisogna comunque creare un letto di posa con un materiale adeguato):

- posa della condotta su una trincea scavata e successivamente riempita;
- posa della condotta su terreno naturale poi ricoperto con un rilevato.

È importante prendere in considerazione quest'ultimo caso, perché si è visto sperimentalmente che le condotte poste in trincee di notevole larghezza (da due a tre volte il diametro o più) si comportano analogamente a quelle posate su terreno naturale e poi ricoperte: praticamente, oltre una certa larghezza della trincea, la condotta non risente più dell'azione delle pareti della trincea stessa (si parla di trincea infinita o terrapieno).

È altresì importante tener conto delle proprietà meccaniche del terreno e della condotta (se rigida o deformabile), per poter stabilire la relazione fra i cedimenti del terreno e le deformazioni della tubazione.

Infine è essenziale tener presente che il momento di massima sollecitazione alla condotta, sollecitazione dovuta al peso del terreno sovrastante, è quello iniziale. Col passare del tempo invece, il comportamento della tubazione tende a risentire sempre meno della presenza delle pareti della trincea, anche se stretta: cioè la condotta è come se avesse un rinterro indefinito.

Riportiamo di seguito i diversi tipi di trincea, definiti dalla norma tecnica UNI 7517.

Posa in trincea stretta

Affinché una trincea sia considerata stretta, deve essere rispettata una delle seguenti condizioni:

1. $B \leq 2D$, con $H \geq 1,5B$;
2. $2D \leq B \leq 3D$ con $H \geq 3,5B$,

dove B è la larghezza della trincea calcolata al livello della generatrice superiore della condotta, H la profondità della trincea (anch'essa al livello della generatrice superiore della condotta) e D il diametro esterno della tubazione.

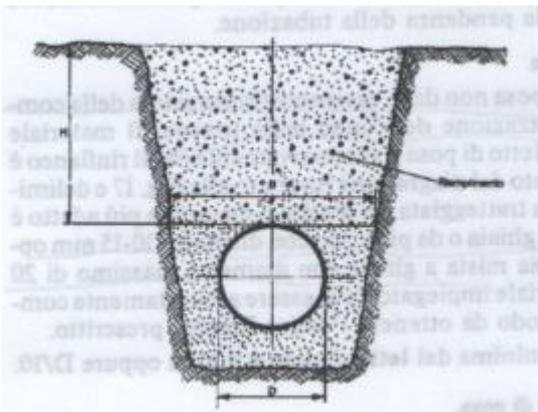


Fig.2 Posa in trincea stretta trapezia (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico: IIP, Istituto Italiano dei Plastici, *Installazione delle fognature in PVC*, pubblicazione n.°3, novembre 1984).

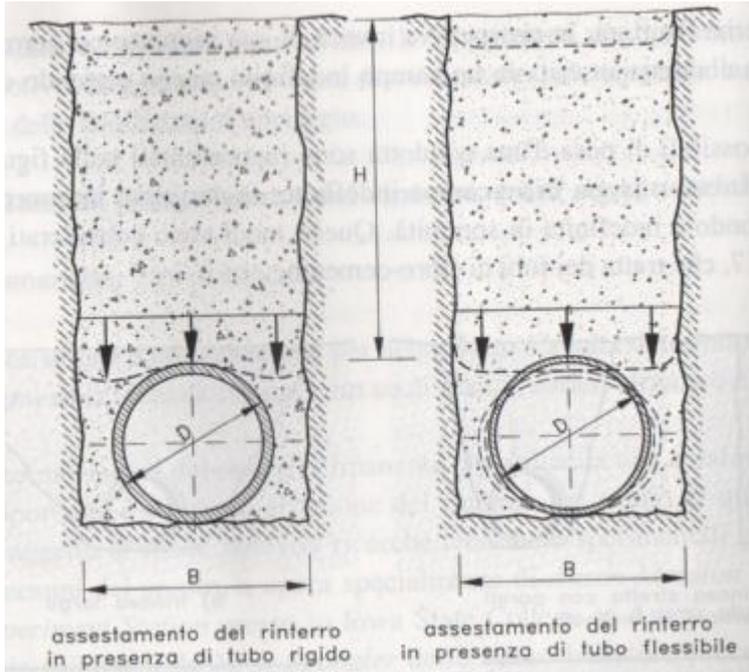


Fig.3 Azione del rinterro in trincea stretta (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico:

Da Deppo L., Datei C., Fiorotto V., Salandin P., *Acquedotti*, Edizioni Libreria Cortina Padova, 2000).

Questa immagine mostra la differenza di comportamento di due condotte, una rigida e una flessibile, in presenza di rinterro. Parlando di tubazioni in materiali plastici (PVC, PEAD, PEBD e PRFV), siamo in presenza di tubazioni flessibili.

Nel caso di trincea stretta in esame, il peso Q del rinterro che grava sul cielo della condotta è minore, rispetto a quello corrispondente al suo volume, a causa dell'azione dell'attrito che si crea fra il terreno in posto e quello di rinterro; quest'azione è dipendente dal peso specifico del terreno γ_t , dall'angolo d'attrito del terreno indisturbato φ e dal coefficiente d'attrito f nel legame con il rinterro, poiché $f \leq \tan \varphi$.

Indichiamo con K_a il coefficiente di spinta attiva; esso vale: $K_a = \tan^2 (\pi/2 - \varphi/2)$.

Ora possiamo effettuare un'analisi sullo stato d'equilibrio di uno strato elementare pervenendo all'espressione del carico per unità di lunghezza della condotta Q_{st} all'altezza della generatrice superiore della tubazione:

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

dove $C_t = [1 - \exp (-2 K_a f H / B)] / 2 K_a f$.

Se invece vogliamo stabilire quale sia la frazione del peso totale $\gamma_t BH$ che grava sulla condotta, possiamo esprimere il peso Q_{st} nella formula:

$$Q_{st} = C \gamma_t BH \quad ,$$

dove $C = C_t B/H$.

Per effettuare la stima del carico sulla condotta bisogna verificare in quale dei due seguenti casi ci troviamo, se tubazione rigida o tubazione flessibile. Indichiamo con E_t ed E i moduli elastici rispettivamente del terreno e della condotta, con s il suo spessore e con $r = (D - s)/2$ il raggio e definiamo un nuovo elemento:

$$n = (E_t / E) (r / s)^3 ,$$

detto *coefficiente di elasticità*.

Se $n \geq 1$ siamo nel caso di condotta flessibile. Se la tubazione è rigida e il rinterro utilizza materiale relativamente comprimibile, si può assumere che il carico $Q_{st} = C_t \gamma_t B^2$ precedentemente definito gravi interamente sulla condotta. Se invece la condotta è flessibile e siamo in presenza di rinfianchi adeguatamente compattati, il carico si riduce nel rapporto D/B , per cui la precedente equazione diventa:

$$Q_{st} = C_t \gamma_t B D .$$

Posa in trincea larga

Una trincea è detta larga se non è soddisfatta alcuna delle due condizioni suddette che definiscono la trincea stretta. Ricordiamole:

1. $B \leq 2D$, con $H \geq 1,5B$;
2. $2D \leq B \leq 3D$ con $H \geq 3,5B$,

dove B è la larghezza della trincea calcolata al livello della generatrice superiore della condotta, H la profondità della trincea (anch'essa al livello della generatrice superiore della condotta) e D il diametro esterno della tubazione.

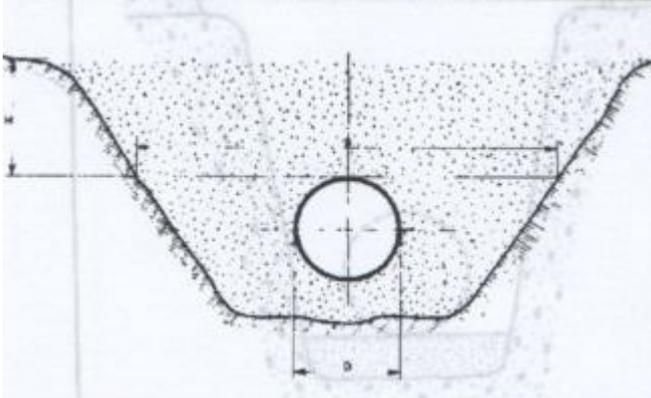


Fig.4 Posa in trincea larga trapezia (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico: IIP, Istituto Italiano dei Plastici, *Installazione delle fognature in PVC*, pubblicazione n.°3, novembre 1984).

Nel caso di trincea larga il carico del terreno sopra la tubazione è sempre maggiore di quello che si avrebbe se fossimo in trincea stretta; questo perché il carico è scarsamente sopportato, per attrito, dai fianchi della trincea.

La formula che ci permette di calcolare il carico del terreno che grava sulla condotta è la seguente:

$$Q_{st} = C_t \gamma_t H D \quad ,$$

dove C_t è il coefficiente di carico del terreno per il riempimento in trincea larga ($= 1$), mentre le restanti grandezze sono già state menzionate precedentemente.

Posa in trincea infinita o terrapieno (posizione positiva)

Siamo nelle condizioni di trincea infinita se sono soddisfatte entrambe le condizioni:

1. $B \geq 10 D$;
2. $B \geq H/2$.

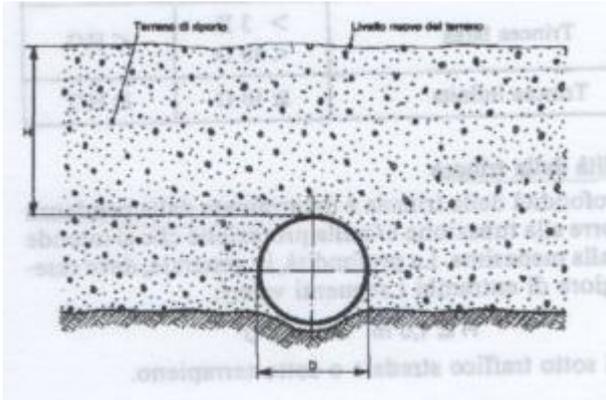


Fig.5 Posa in trincea infinita o terrapieno (posizione positiva) (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico:

IIP, Istituto Italiano dei Plastici, *Installazione delle fognature in PVC*, pubblicazione n.°3, novembre 1984).

In questo tipo di posa la sommità del tubo sporge sul livello naturale del terreno. L'assenza di fianchi, anche naturali, nello scavo e il relativo cedimento del terreno impediscono di solito la possibilità di impiegare questo metodo di posa nel caso di carichi pesanti.

Si è verificato sperimentalmente che il comportamento statico delle condotte in terrapieno con posizione positiva è assimilabile a quello che esse hanno in caso di trincea larga, per cui la formula del calcolo del carico del terreno è la medesima:

$$Q_{st} = C_t \gamma_t HD .$$

Posa in trincea infinita o terrapieno (posizione negativa)

Le condizioni affinché ci si trovi nel caso di trincea infinita sono le stesse del paragrafo precedente.

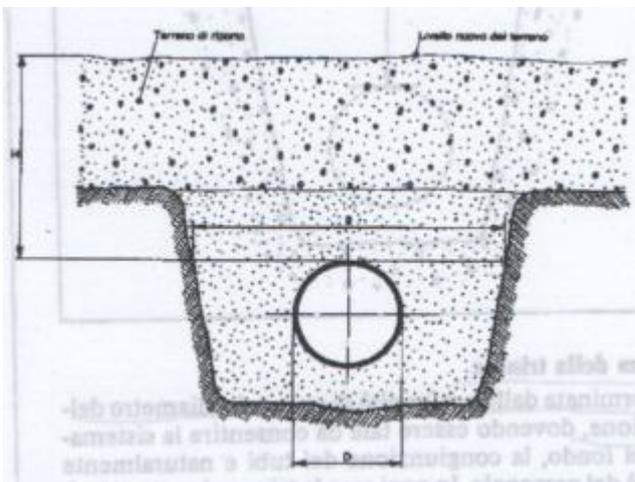


Fig.6 Posa in trincea infinita o terrapieno (posizione negativa) (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico:

IIP, Istituto Italiano dei Plastici, *Installazione delle fognature in PVC*, pubblicazione n.°3, novembre 1984).

In questo caso la tubazione è sistemata ad un livello inferiore a quello naturale del terreno.

Poiché vi è una frizione modesta in atto fra il materiale di riempimento sistemato a terrapieno e i fianchi naturali dello scavo, il tubo può sopportare carichi leggermente superiori a quelli della posizione positiva, ma in ogni caso inferiori a quelli sopportabili nelle sistemazioni a trincea stretta o larga.

Anche in questo caso vale la seguente formula per il calcolo del carico del terreno per unità di lunghezza della tubazione:

$$Q_{st} = C_t \gamma_t HD \quad .$$

Azione dei sovraccarichi verticali

Aspetti generali

Esistono due tipi di sovraccarichi verticali: quelli *concentrati* e quelli *distribuiti*; un'altra distinzione dei carichi si basa sulla possibilità che essi vengano applicati lentamente (*carichi applicati con modalità statica*) oppure istantaneamente (*carichi applicati con modalità dinamica*).

Il carico esterno, concentrato oppure distribuito, diffondendosi nel terreno sollecita la tubazione, a parità di ogni altra condizione, con un carico inversamente proporzionale alla profondità della condotta. La frazione del carico che sollecita la tubazione dipende, oltre che dalla profondità della condotta, dal tipo di carico (concentrato o distribuito), dalla distribuzione dei carichi concentrati e dall'estensione del carico se esso è distribuito. È importante conoscere questi fattori se si vuole stimare la lunghezza della tubazione sollecitata dal carico verticale.

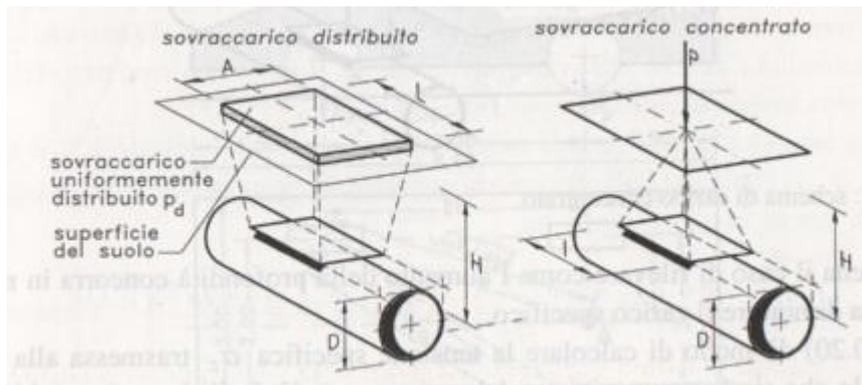


Fig.7 Azione di un sovraccarico distribuito o concentrato su una tubazione (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico:

Da Deppo L., Datei C., Fiorotto V., Salandin P., *Acquedotti*, Edizioni Libreria Cortina Padova, 2000).

I casi che a noi interessano sono:

- carico concentrato e puntuale sulla generatrice superiore della condotta;
- carico concentrato da convoglio;
- carico uniformemente distribuito.

Carico concentrato e puntuale

Rappresentiamo con uno schema la situazione di un carico concentrato puntuale:

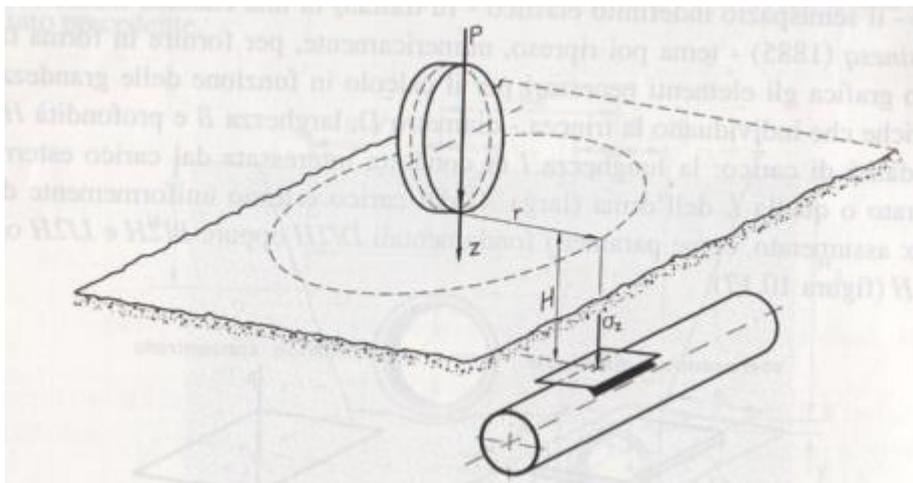


Fig.8 Carico concentrato puntuale gravante su una condotta (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico:

Da Deppo L., Datei C., Fiorotto V., Salandin P., *Acquedotti*, Edizioni Libreria Cortina Padova, 2000).

Una volta fissato l'asse verticale z coincidente con la retta d'azione del carico P , il valore della tensione di compressione σ_z alla profondità z sulla circonferenza di raggio r è data dall'espressione:

$$\sigma_z = z^3 (3P/2\pi) (z^2 + r^2)^{-5/2} .$$

Definita la profondità della condotta, si deve ricercare la composizione degli elementi di carico (per esempio la posizione di un veicolo) a cui corrisponda il valore massimo della tensione di compressione σ_z la quale dipende, oltre che dal tipo di carico, dalla posizione che esso assume nella planetaria rispetto alla condotta.

Carico concentrato da convoglio

Si prendono in esame due diversi tipi di convogli: *pesanti* e *leggeri*, a seconda dei quali si hanno le formule per il calcolo della tensione di compressione:

$$\text{convogli pesanti} \quad \sigma_z = 0,5281 P H^{1,0461} ,$$

$$\text{convogli leggeri} \quad \sigma_z = 0,8743 P H^{1,5194} ,$$

dove, nel caso di convoglio pesante, P è il carico per ruota del convoglio, mentre, nel caso di convoglio leggero, P è il carico per ruota posteriore del convoglio.

I valori calcolati di σ_z vanno incrementati, per carico dinamico, con un coefficiente φ dato dalle seguenti relazioni:

$$\varphi = 1 \quad \text{in caso di carico statico;}$$

$$\varphi = 1 + 0,3/H \quad \text{per strade e autostrade;}$$

$$\varphi = 1 + 0,6/H \quad \text{per ferrovie.}$$

Infine è possibile calcolare il carico P_v che sollecita una tubazione con diametro esterno D alla profondità H :

$$P_v = \sigma_z D \varphi .$$

Carico uniformemente distribuito

Consideriamo il carico per unità di superficie uniformemente distribuito p sull'area AL in fig.7; il carico per unità di lunghezza gravante sulla generatrice superiore della tubazione è dato dalla seguente espressione:

$$P_{vd} = p C_d D \varphi ,$$

dove il coefficiente C_d assume valori compresi tra 0 e 1 al variare di A , L , H , D in base alla tabella:

$A/2H$ oppure $D/2H$	$l/2H$ oppure $L/2H$						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,1	0,019	0,037	0,053	0,067	0,079	0,089	0,097
0,2	0,037	0,072	0,103	0,131	0,155	0,174	0,189
0,3	0,053	0,103	0,149	0,190	0,224	0,252	0,274
0,4	0,067	0,131	0,190	0,241	0,284	0,320	0,349
0,5	0,079	0,155	0,224	0,284	0,336	0,379	0,414
0,6	0,089	0,174	0,252	0,320	0,379	0,428	0,467
0,7	0,097	0,189	0,274	0,349	0,414	0,467	0,511
0,8	0,103	0,202	0,292	0,373	0,441	0,499	0,546
0,9	0,108	0,211	0,306	0,391	0,463	0,524	0,574
1,0	0,108	0,219	0,318	0,405	0,481	0,544	0,597
1,2	0,117	0,229	0,333	0,425	0,505	0,572	0,628
1,5	0,121	0,238	0,345	0,440	0,525	0,596	0,650
2,0	0,124	0,244	0,355	0,454	0,540	0,613	0,674

$A/2H$ oppure $D/2H$	$l/2H$ oppure $L/2H$						
	0,8	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	5,0
0,1	0,103	0,108	0,112	0,117	0,121	0,124	0,128
0,2	0,202	0,211	0,219	0,229	0,238	0,244	0,248
0,3	0,292	0,306	0,318	0,333	0,345	0,355	0,360
0,4	0,373	0,391	0,405	0,425	0,440	0,454	0,460
0,5	0,441	0,463	0,481	0,505	0,525	0,540	0,548
0,6	0,499	0,524	0,544	0,572	0,596	0,613	0,624
0,7	0,546	0,584	0,597	0,628	0,650	0,674	0,688
0,8	0,584	0,615	0,639	0,674	0,703	0,725	0,740
0,9	0,615	0,647	0,673	0,711	0,742	0,766	0,784
1,0	0,639	0,673	0,701	0,740	0,774	0,800	0,816
1,2	0,674	0,711	0,740	0,783	0,820	0,849	0,868
1,5	0,703	0,742	0,774	0,820	0,861	0,894	0,916
2,0	0,725	0,766	0,800	0,849	0,894	0,930	0,956

(l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico:

Da Deppo L., Datei C., Fiorotto V., Salandin P., *Acquedotti*, Edizioni Libreria Cortina Padova, 2000).

Azione dovuta all'acqua

Posa in presenza di falda

In caso di posa in presenza di una falda freatica nel terreno, bisogna tener conto della pressione idrostatica esercitata dall'acqua nei confronti della condotta.

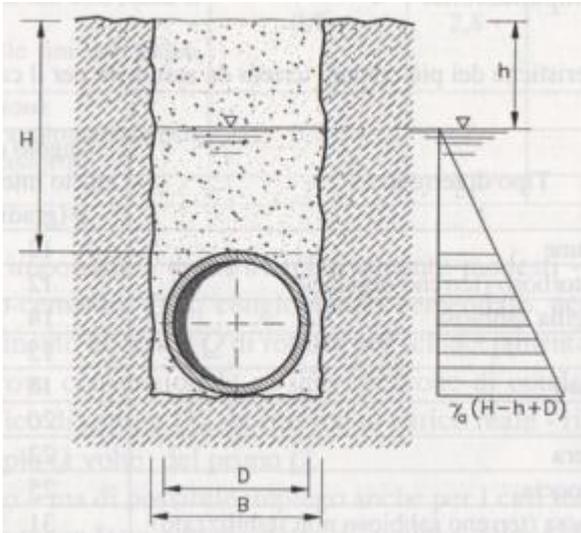


Fig.9 Posa di una condotta in presenza di falda (l'immagine è stata ricavata dal seguente riferimento bibliografico: Da Deppo L., Datei C., Fiorotto V., Salandin P., *Acquedotti*, Edizioni Libreria Cortina Padova, 2000).

Nell'immagine indichiamo con γ_a il peso specifico dell'acqua, con h la profondità della falda; possiamo definire il carico idrostatico Q_{idr} con la seguente formula:

$$Q_{idr} = \gamma_a (H - h + D/2) D ,$$

dove D è il diametro esterno della tubazione e H la profondità della condotta al livello della generatrice superiore.

Per quanto riguarda il carico del rinterro nella parte interessata dalla falda, esso va calcolato facendo riferimento al peso di volume del terreno immerso $(\gamma_s - \gamma_a) (1 - n)$, dove γ_s è il peso specifico del singolo granello di terreno e n è la porosità.

Pressione interna

Se indichiamo con y il carico idraulico che grava sull'asse della condotta, possiamo denotare con

$$p = \gamma_a y$$

la pressione idraulica.

Inoltre, dalla relazione di Mariotte otteniamo la seguente relazione:

$$\sigma = pd / 2s ,$$

dove σ è la tensione di trazione uniforme, s lo spessore della condotta e d lo spessore della fibra media. La suddetta relazione vale per anelli sottili e per una pressione radiale uniformemente distribuita; questo infatti si verifica nelle tubazioni d'acquedotto e fognatura, dove di solito $d \ll y$.

Capitolo IV

VERIFICHE DI STABILITÀ PER TUBAZIONI PLASTICHE PER ACQUEDOTTI O FOGNATURE (*)

Caratteri generali

Una volta che sono noti i carichi che sollecitano una tubazione, possiamo dare un giudizio sulla sua condizione di stabilità in due diversi modi: il modo *convenzionale* e il modo *analitico*.

Utilizzeremo l'uno o l'altro a seconda dell'importanza delle caratteristiche geometrico-strutturali della condotta, cioè il diametro, lo spessore e il materiale.

Il primo metodo viene utilizzato nei casi di diametri relativamente piccoli, dove il giudizio di stabilità viene dato riferendosi al carico di rottura per schiacciamento Q (che si ottiene in laboratorio grazie a una prova su uno spezzone di condotta) e riferendosi anche alla stima del carico di rottura Q_r (da riferirsi al carico reale del rinterro e dei sovraccarichi) come multiplo (k volte) del precedente Q .

Il secondo metodo, quello analitico, anche se può essere utilizzato per i casi di piccolo diametro al posto del metodo convenzionale, solitamente viene usato nel caso di condotte di diametri rilevanti. Si considera un anello elastico sottile (cioè con un basso rapporto s/D) che viene sollecitato lungo il piano verticale; una volta calcolati i parametri di sollecitazione (momenti flettenti, sforzi di taglio e sforzi normali), troviamo le sollecitazioni unitarie nelle sezioni per noi più significative. Tali sezioni sono le generatrici al livello del fondo, dei fianchi e del vertice della condotta, assumendo che la tubazione sia interamente reagente.

Analizziamo dettagliatamente di seguito le due modalità di verifica sopra citate.

(*) Le immagini e le tabelle in questo capitolo sono state ricavate dal seguente riferimento bibliografico:

Verifica convenzionale

Modalità di rottura

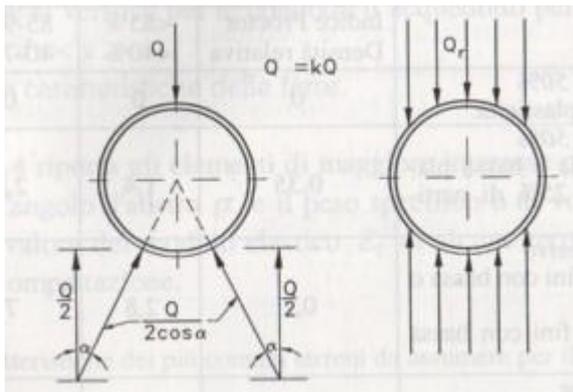


Fig.1 Prova di carico di schiacciamento in funzione degli appoggi.

Come mostrato in figura, la prova in laboratorio viene effettuata sottoponendo a rottura, con un carico concentrato Q sulla generatrice superiore, uno spezzone (o una serie di spezzoni) della condotta.

Nelle condizioni reali, il carico di rottura Q_r è sempre maggiore di quello di rottura per schiacciamento trovato in laboratorio; questo a causa delle differenti condizioni di posa e di carico che si hanno nella realtà.

È valida la seguente formula:

$$Q_r = k Q \quad ,$$

dove k è il *coefficiente di posa*, che varia a seconda delle diverse modalità di posa, dei materiali utilizzati per il riempimento e per il letto di appoggio delle tubazioni.

La normativa distingue tre tipi di appoggio: A, B e C. Il primo tipo non ci interessa, perché tratta condotte con appoggio in sella di calcestruzzo, che - come si sa - non è adatto per i materiali plastici.

Appoggio di tipo B

La tubazione viene posata su un fondo di sabbia appositamente sagomato a culla, con uno spessore minimo di 0,05 cm se il piano di fondazione è sagomato, altrimenti con uno spessore di $(D/10 + 0,1)$ m se sul fondo della trincea viene posta della sabbia.

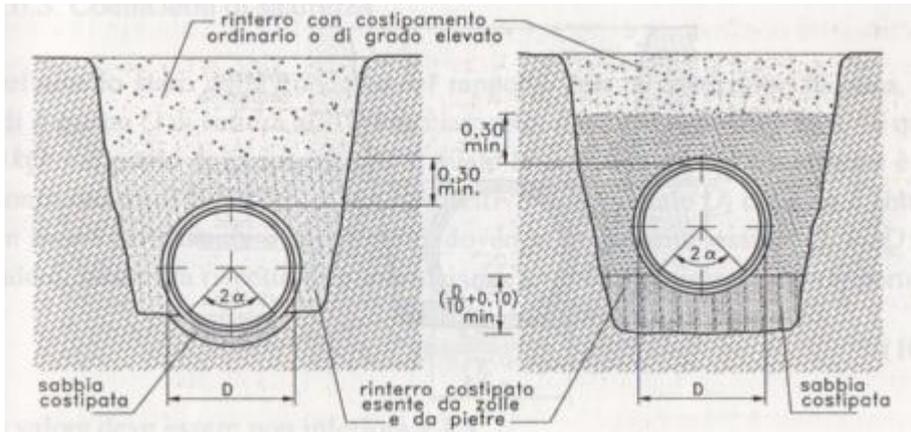


Fig.2 Appoggio di tipo B.

Attorno alla condotta, e fino a un minimo di 30 cm sopra la generatrice superiore, bisogna costipare del terreno esente da materiale grossolano come zolle o pietre.

La seguente tabella riporta i diversi valori del coefficiente di posa k per i tipi di appoggi B.

Angolo di appoggio 2α (gradi)	Sporgenza $\rho = h/D$	Coefficienti di posa k nelle varie condizioni di posa e secondo vari tipi di rinterro		
		Posa in trincea stretta e posa in trincea stretta con rinterro indefinito		Posa in trincea larga e posa con rinterro indefinito
		Costipamento di grado elevato*	Costipamento ordinario	Costipamento ordinario
60	0,93	2,0	1,6	2,1
90	0,85	2,6	1,9	2,3
120	0,75	3,0	2,2	2,5

* Costipamento ad almeno il 90% del valore ottimale del tenore in acqua (90% Proctor normalizzato).

Fig.3 Coefficienti di posa per appoggi di tipo B.

Appoggio di tipo C

Questo tipo di appoggio è raccomandato per terreni normali, senza zolle, pietre e roccia.

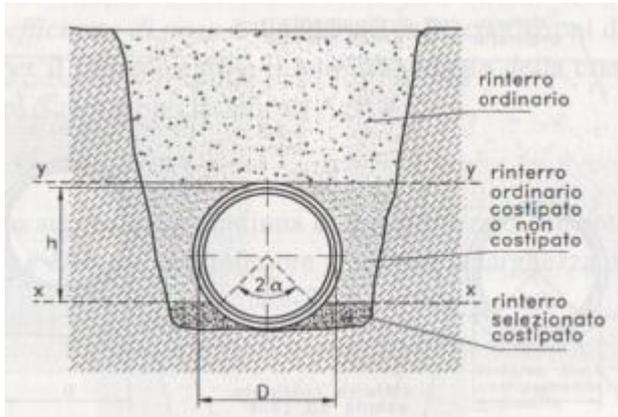


Fig.4 Appoggio di tipo C.

Come si vede sopra in figura, la tubazione viene posata sul fondo della trincea, o su terreno naturale se siamo nel caso di rinterro indefinito (terrapieno).

È importante realizzare una nicchia in corrispondenza di ogni giunto; questo per evitare che il peso del tubo gravi sul giunto stesso.

Si deve inoltre costipare ai lati materiale selezionato per un'altezza in funzione dell'angolo α secondo la relazione:

$$D(1 - \delta) = D(1 - \cos \alpha)/2 \quad ,$$

dove $\delta = h/D$.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei coefficienti di posa per gli appoggi di tipo C.

Angolo di appoggio 2α (gradi)	Sporgenza $\rho = h/D$	Coefficienti di posa k nelle varie condizioni di posa e secondo vari tipi di rinterro		
		Posa in trincea stretta e posa in trincea stretta con rinterro indefinito		Posa in trincea larga e posa con rinterro indefinito
		Rinterro ordinario costipato tra xx e yy (figura 6.45)	Rinterro ordinario non costipato tra xx e yy (figura 6.45)	Costipamento ordinario
0÷20*	1,00	1,2	1,1	1,2
30	0,98	1,3	1,1	1,4
60	0,93	1,5	1,2	1,7
90	0,85	1,7	1,3	1,9
120	0,75	1,7	1,3	1,9

* Angolo d'appoggio non consigliato.

Fig.5 Coefficienti di posa per appoggi di tipo C.

Coefficienti di sicurezza

Noti il carico di rottura allo schiacciamento Q , il coefficiente di posa k e quindi anche il carico di rottura in condizioni reali Q_r , il grado di sicurezza della condotta è ricavato dal confronto fra il carico $Q_r = kQ$ e l'effettivo carico totale Q_t al quale essa è sottoposta, in modo permanente e accidentale, poiché avviene che $Q_r > Q_t$.

Il coefficiente di sicurezza μ rispetto allo schiacciamento è quindi determinato dal rapporto:

$$\mu = Q_r / Q_t ,$$

il cui valore dev'essere non inferiore a 1,3.

Modalità analitica (statica delle grandi condotte)

Aspetti generali

Negli ultimi anni si sono succeduti numerosi studi sul comportamento statico delle grandi condotte interrate; tali studi erano volti alla determinazione dei parametri di sollecitazione dovuti all'applicazione di diversi tipi di carichi: il rinterro, la reazione legata ai vari modi di

disposizione della condotta sul fondo della trincea, le spinte laterali, oltre al peso proprio, quello dell'acqua e l'eventuale sua pressione sulla tubazione.

L'approccio con cui trattiamo il problema della statica delle grandi condotte dipende essenzialmente dal rapporto esistente fra le proprietà meccaniche e geometriche della tubazione e del terreno, rapporto definito dalla seguente relazione:

$$n = (E_t/E) (r/s)^3 \quad ,$$

dove n è il *coefficiente di elasticità*, E_t il *modulo elastico del terreno*, E il *modulo elastico del materiale della condotta*, s lo *spessore della tubazione* e r il *raggio* $r = (D - s)/2$.

La condotta è detta *flessibile* se $n \geq 1$, *rigida* altrimenti.

Il primo approccio è quello relativo alle condotte rigide, ma non verrà trattato in questa sede, dato che, parlando di tubazioni in materiali plastici, abbiamo a che fare solamente con condotte di tipo flessibile; infatti è questo l'argomento trattato nel secondo possibile approccio.

Le tubazioni flessibili, poiché si deformano lateralmente sotto l'effetto dei carichi e delle reazioni, determinano una reazione sui loro stessi fianchi; reazione che, secondo il modello di Winkler (terreno elastico lineare), può essere assunta proporzionale alle deformazioni, visto che il coefficiente di proporzionalità è dato dal modulo elastico del terreno.

Si assume che la deformata abbia una forma di tipo ellittico, definendo la porzione di condotta alla quale si applicano le reazioni, cioè il tratto in cui il raggio dell'ellisse è maggiore di quello della circonferenza indeformata.

L'impostazione appena presentata è dovuta a Spangler, e viene utilizzata soprattutto per valutare il grado di deformabilità di una condotta flessibile, inteso come rapporto fra lo spostamento elastico preso in corrispondenza del diametro orizzontale e il diametro della fibra media. È importante che questo rapporto non sia superiore a pochi punti percentuali.

Verifica statica in regime elastico

Il comportamento statico di una tubazione, soprattutto se di diametro rilevante, è assimilabile a quello di un sottile anello elastico.

La valutazione dello stato di sollecitazione è centrata sullo studio delle tensioni specifiche nelle tre sezioni più significative, e cioè al vertice, sui fianchi e sul fondo, con l'ipotesi che la sezione sia interamente reagente.

La seguente figura illustra lo schema della struttura che consideriamo:

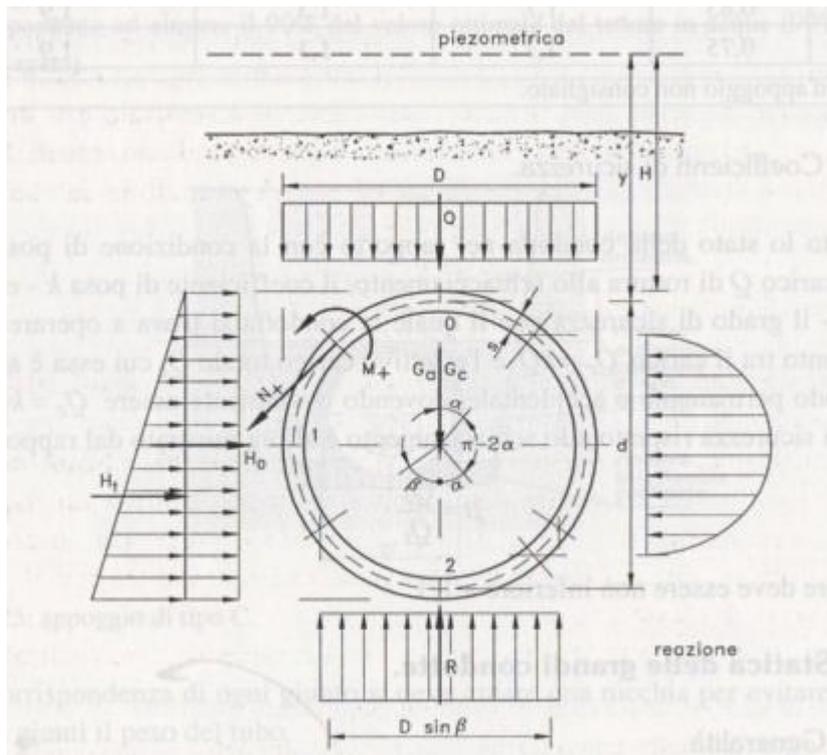


Fig.6 Schema statico per condotta interrata.

Riportiamo di seguito la spiegazione dei simboli:

- Q carico totale verticale (rinterreo + azioni accidentali);
- G_c peso proprio della condotta di spessore s e diametro d della fibra media ($G_c = \gamma_c \pi d s$);
- G_a peso dell'acqua di riempimento ($G_a = \gamma_a \pi (d-s)^2 / 4$);
- $\gamma_a y$ carico piezometrico sulla generatrice superiore (se abbiamo deflusso in pressione);
- H_0 spinta orizzontale uniformemente distribuita ($H_0 = \gamma_t H D K_a$);
- H_t spinta orizzontale distribuita linearmente ($H_t = \gamma D^2 K_a / 2$);
- R reazione uniformemente distribuita lungo il tratto $D \sin \alpha$;
- M momento flettente, positivo se causa la trazione delle fibre interne;
- N sforzo normale, positivo se è di compressione.

Per il calcolo dei momenti M e degli sforzi normali N sono stati considerati i carichi e le reazioni assumendo come azione sui fianchi della tubazione quella distribuita secondo il trapezio di spinta.

Nella tabella seguente sono indicati, per la sezione in chiave (0), sul fianco (1) e sul fondo (2), i parametri M e N per diverse aperture angolari dell'appoggio ($2\alpha = 90^\circ, 120^\circ$ e 180°), con l'ipotesi della reazione R uniformemente distribuita su $Dsen\alpha$ per ogni carico di tipo elementare. Se si è in deflusso non in pressione, bisogna porre $y = 0$.

CARICHI	SFORZO NORMALE N			MOMENTO FLETTENTE M		
	0	1	2	0	1	2
Peso proprio G_c						
$2\alpha = 180^\circ$	$-0,027G_c$	$+0,250G_c$	$+0,027G_c$	$+0,028G_c d$	$-0,031G_c d$	$+0,035G_c d$
120°	$-0,040G_c$	$+0,250G_c$	$+0,040G_c$	$+0,030G_c d$	$-0,035G_c d$	$+0,042G_c d$
90°	$-0,053G_c$	$+0,250G_c$	$+0,053G_c$	$+0,033G_c d$	$-0,039G_c d$	$+0,051G_c d$
Peso dell'acqua G_a						
$2\alpha = 180^\circ$	$-0,186G_a$	$-0,068G_a$	$-0,451G_a$	$+0,028G_a d$	$-0,031G_a d$	$+0,035G_a d$
120°	$-0,199G_a$	$-0,068G_a$	$-0,438G_a$	$+0,030G_a d$	$-0,035G_a d$	$+0,042G_a d$
90°	$-0,212G_a$	$-0,068G_a$	$-0,424G_a$	$+0,033G_a d$	$-0,039G_a d$	$+0,051G_a d$
Carico verticale uniforme Q						
$2\alpha = 180^\circ$	0	$+0,500Q$	0	$+0,063Qd$	$-0,063Qd$	$+0,063Qd$
120°	$-0,013Q$	$+0,500Q$	$+0,013Q$	$+0,066Qd$	$-0,066Qd$	$+0,069Qd$
90°	$-0,027Q$	$+0,500Q$	$+0,027Q$	$+0,069Qd$	$-0,070Qd$	$+0,078Qd$
Spinta uniforme H_o	$+0,500H_o$	0	$+0,500H_o$	$-0,063H_o d$	$+0,063H_o d$	$-0,063H_o d$
Spinta triangolare H_t	$+0,313H_t$	0	$+0,687H_t$	$-0,052H_t d$	$+0,063H_t d$	$-0,073H_t d$
Pressione interna uniforme $p = \gamma_a y$	$-0,500pd$	$-0,500pd$	$-0,500pd$	0	0	0

Fig.7 Parametri di sollecitazione per unità di lunghezza in una condotta interrata per diverse ampiezze di appoggio.

Una volta calcolati i valori di N e M per le diverse sezioni, le tensioni estradosso σ_e e intradosso σ_i , con i versi positivi assunti per N e M , sono date per unità di lunghezza dalle relazioni:

$$\sigma_e = N/s \pm 6M/s^2 \quad \text{e} \quad \sigma_i = N/s \pm 6M/s^2 \quad .$$

I valori ottenuti sono da confrontare con quelli ammissibili per il materiale che costituisce la tubazione.

Condotte flessibili

Riprendiamo in esame l'immagine schematica in fig. 6 di questo capitolo, la quale rappresenta lo schema statico secondo Spangler. Si osserva lo stato di sollecitazione che si crea in una tubazione sottoposta ai carichi in figura (nel lato destro); si è assunta una distribuzione

parabolica della spinta passiva simmetrica rispetto al diametro orizzontale e applicata, fissato l'angolo α di 40° , per un'ampiezza di $180^\circ - 2 \cdot 40^\circ = 100^\circ$. Sul fondo della trincea la reazione, che è distribuita uniformemente, può interessare varie ampiezze.

Se denotiamo con r il raggio della fibra media, E e E_t rispettivamente il modulo elastico del materiale della tubazione e quello del terreno (secondo Winkler), $I = s^3/12$ il momento d'inerzia, possiamo ottenere la deformazione Δx del diametro orizzontale della tubazione secondo Spangler:

$$\Delta x = QKFr^3/[EI (1+0,061(E_t r^4/EI))] ,$$

dove il coefficiente K è un parametro che dipende dalla larghezza della culla d'appoggio della tubazione ($K = 0,083$ per $2\beta = 180^\circ$; $K = 0,09$ per $2\beta = 120^\circ$ e $K = 0.096$ per $2\beta = 90^\circ$).

F è un fattore che tiene conto dell'aumento di deformazione che la condotta può subire nel tempo (con valore tra 1,25 e 1,5 in fase di progettazione, secondo Spangler).

Attraverso la precedente relazione possiamo stimare la flessibilità della tubazione grazie al rapporto

$\Delta x/D$, con la condizione che tale rapporto rimanga definito entro un limite dell'ordine del 5%-8%.

È importante fare alcune precisazioni sulla teoria avanzata da Spangler; come rappresentato nella figura seguente, l'ipotesi di una spinta passiva laterale distribuita parabolicamente corrisponde ad assumere una deformata di forma ellittica (rappresentata in modo evidente nella parte sinistra del disegno).

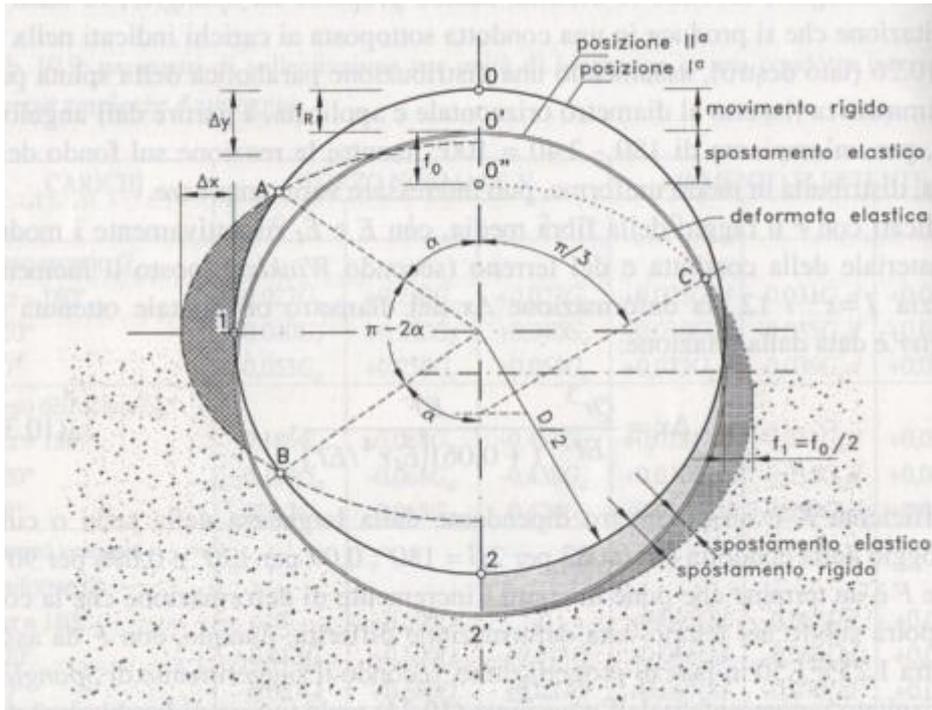


Fig.8 deformate di una

condotta.

La condizione di partenza della deformata ellittica precedentemente menzionata è la circonferenza nella posizione Iª. È ragionevole assumere che la struttura sia inestensibile, ed è facile notare che la freccia Δy nella sezione 0 è della stessa misura della freccia Δx nella sezione 1; questo perché i semiassi dell'ellisse sono $a = r + \Delta x$ e $b = r - \Delta y$.

I punti di intersezione fra la circonferenza a riposo e la deformata ellittica sono in corrispondenza delle rette definite dagli angoli 45° e 135° .

Un'obiezione che si può muovere alla teoria di Spangler è di aver limitato la capacità reattiva del terreno, per ogni fianco, all'arco di ampiezza $\pi - 2\alpha$, mentre di certo il terreno reagisce anche nell'arco tra $\pi - \alpha$ e π . Della capacità reattiva in quest'ultimo arco si tiene conto, invece, nella fig. 6 del presente capitolo, distribuendo in modo uniforme la reazione sull'arco 2β .

Tenendo quindi conto anche della reazione secondo Winkler (cioè la reazione del terreno sul quale è posata la tubazione), bisogna aggiungere, accanto agli spostamenti elastici appena descritti, una traslazione rigida della condotta (dalla posizione Iª alla posizione IIª) e, di conseguenza, anche una mobilitazione reattiva che si aggiunge a quella legata agli spostamenti elastici.

Assumendo nuovamente una deformata di tipo ellittico, la porzione di condotta sulla quale viene esercitata la spinta passiva risulta definita. Se indichiamo con f_0 la freccia della sezione 0 e f_1 quella della sezione 1, i semiassi orizzontale e verticale dell'ellisse sono rispettivamente $a = r + f_1$ e

$$b = r - f_0.$$

Se si trascurano i termini f_0^2 e f_1^2 e si pone che $2\pi [(a^2 + b^2)/2]^{1/2} = 2\pi r$, si arriva alla seguente relazione:

$$f_1 = f_0 / 2 .$$

Per piccoli spostamenti siamo in grado anche di determinare la posizione del punto C della precedente figura, grazie all'intersezione che si ha per un angolo di 60° misurato rispetto alla verticale per 0.

Quindi, la spinta passiva per gli spostamenti elastici viene esercitata su un arco di ampiezza 240° , mentre quella per gli spostamenti rigidi su un arco di $2 \cdot 90^\circ = 180^\circ$.

Capitolo V

NORMATIVA TECNICA

SUI MATERIALI PLASTICI

(PVC, PE E PRFV)

Immaginiamo di dover realizzare una tubazione per acquedotto o fognatura in un materiale plastico (PVC, PEAD, PEBD o PRFV): dopo aver scelto il tipo di materiale da usare dovremo effettuare delle prove tecniche su di esso per poterne descrivere le proprietà fisiche e le caratteristiche specifiche. Tale analisi tecnica verrà effettuata basandosi sulla normativa tecnica italiana (UNI) ed europea (UNI EN).

Di seguito vengono prese come esempio alcune norme tecniche sull'argomento dei materiali plastici; esse vengono applicate per la verifica della conformità del materiale. Vengono riportate parti integrali delle normative.

Resine poliestere insature: preparazione dei provini e determinazione delle proprietà (UNI EN ISO 3672-2)

Lo scopo di questa parte della ISO 3672 è quello di designare le procedure per la determinazione delle proprietà intrinseche delle resine di poliestere insature (UP). Essa specifica le procedure e le condizioni per la preparazione dei provini di resine di poliestere insature in uno stato specificato, oltre che i metodi per misurare le loro proprietà. Sono elencate quelle proprietà e quei metodi di prova che sono idonei e necessari a caratterizzare le resine di poliestere insature. A causa della specificità delle resine termoindurenti, quali le resine di poliestere insature, contrariamente ad altri prodotti di materia plastica, è fatta una distinzione tra la presentazione delle proprietà prima della reticolazione (caratteristiche utili per la lavorazione) e dopo la reticolazione (caratteristiche intrinseche).

La presente parte della ISO 3672 specifica i metodi di preparazione dei provini ed i metodi di prova da utilizzare nella determinazione delle proprietà delle resine di poliestere insature. Vengono forniti i requisiti per manipolare il materiale di prova e per condizionare sia il materiale di prova prima dello stampaggio, sia i provini prima di sottoporli a prova.

PREPARAZIONE DEI PROVINI

Generalità

Questo procedimento deve essere utilizzato per la preparazione di campioni per la determinazione delle proprietà della resina reticolata.

È essenziale che i campioni siano sempre preparati con lo stesso procedimento utilizzando le stesse condizioni di lavorazione.

I campioni sui quali le proprietà vengono misurate devono essere tagliati da lastre di resina reticolata prodotte con un processo di colata. In vista dei numerosi possibili campi di applicazione per le resine poliestere insature, la scelta è fatta per preparare campioni da resine non contenenti cariche o rinforzi per ottenere proprietà del polimero reticolato, libero da additivi strutturali.

Questo procedimento deve essere utilizzato solamente per la determinazione delle resine reticolate ottenute da resine poliestere insature.

I provini da solido UP-R devono essere preparati in accordo con le istruzioni del fornitore della resina.

Le lastre di resina termoindurenti devono essere fabbricate con spessori di 2 mm, 3 mm e 4 mm, come richiesto, per prove nel prospetto 2.

Ne deve essere prodotto un numero sufficiente per determinare le proprietà richieste.

Pretrattamento dei materiali

Prima della colata generalmente non è necessario un trattamento del campione della resina. Se è richiesto un pretrattamento, questo deve essere in accordo con le raccomandazioni del produttore.

La resina deve essere tenuta in contenitori impermeabili fino al suo utilizzo.

Preparazione delle lastre

Apparecchiatura

Piastre, con uno spessore di 6 mm e dimensioni approssimate di (300 x 350) mm:

- due piastre di vetro,
- due piastre di acciaio inossidabile lucidate.

Inoltre:

- spessori, con uno spessore di 2 mm, 3 mm e 4 mm,
- giunzioni di silicone o latex, con un diametro di 5 mm,

- dispositivo per afferrare e tenere le piastre,
- dispositivo per rimuovere le bolle d'aria dalla miscela di reazione, preferibilmente una centrifuga, o un essiccatore che permette all'assemblaggio piastra/giunzione/spessore di essere posto sotto un vuoto statico,
- mescolatore, per mescolare la miscela di reazione (per esempio un'asta di vetro),
- bicchiere di vetro, di capacità di 500 ml,
- bilancia di laboratorio, con accuratezza di 0,1 g,
- stufa di laboratorio, assestata alla temperatura scelta per fare il post-trattamento della resina poliestere insatura.

Reagenti

- agenti di reticolazione, specifici per la resina poliestere insatura, cioè 2,4-pentandione perossido (acetil-acetone perossido) in 34% in soluzione in massa nel dimetil-ftalato e alcoli associati,
- acceleratori di polimerizzazione, specifici per la resina poliestere insatura, cobalto(II) 2-etilesanoato in soluzione contenente 1% in massa di cobalto,
- agenti esterni di rilascio, che non modificano le proprietà della resina polimerizzata.

Procedimento

Coprire le piastre con un sottile strato di agente rilasciante. Pulirle fino a che esse brillino per assicurare che le lastre di resina polimerizzata prodotte siano con una superficie ad alta finitura. Sistemare il giunto di silicone o latex e lo spessore selezionato (2 mm, 3 mm o 4 mm) tra le due piastre. Fissare l'assemblaggio con un adatto morsetto e posizionarlo verticalmente.

Utilizzando la bilancia da laboratorio, pesare 200 g di resina poliestere insatura nel bicchiere di vetro. Aggiungere 2 g di soluzione di acceleratore di polimerizzazione. Mescolare con il mescolatore fino alla omogeneizzazione, evitando l'introduzione di bolle d'aria il più possibile. Aggiungere 3 g di soluzione di perossido al bicchiere di vetro. Mescolare con il mescolatore fino alla omogeneizzazione, evitando l'introduzione di bolle d'aria il più possibile.

È preferibile conservare la soluzione di perossido a bassa temperatura (5°C), per esempio in un frigorifero. In questo caso, la soluzione deve essere mantenuta a temperatura ambiente per 6 h prima dell'utilizzo.

In nessun caso dovrebbero essere mescolate assieme le soluzioni di perossido di acetil-acetone e ottoato di cobalto, perché si formerebbe una miscela esplosiva. Mescolare separatamente ognuna nella resina poliestere.

Rimuovere le bolle d'aria dalla miscela di reazione utilizzando la centrifuga o l'essiccatore da vuoto, versarlo con precauzione nel contenitore formato dall'assemblaggio piastra/giunzione/spessore, senza intrappolare bolle d'aria nella resina. In assenza di una centrifuga, una volta che l'assemblaggio è riempito con la miscela reagente, porla verticalmente in un essiccatore da vuoto e applicare un vuoto statico per il tempo necessario per rimuovere tutte le bolle d'aria.

Mantenere l'assemblaggio in posizione verticale per 24 h per permettere che avvenga la reticolazione, quindi aprire lo stampo e levare la lastra.

Per determinare le proprietà intrinseche della resina di poliestere insaturo, è fatto un trattamento al calore complementare (post reticolazione).

Per applicazioni ambientali (stampo non riscaldato e/o non termoregolato), fare questo trattamento complementare come segue:

- porre la piastra di poliestere insaturo tra due piastre lucidate di acciaio inossidabile (3.3.1.1.2);
- lasciare riposare per 24 h a temperatura ambiente, quindi riscaldare per 16 h a 40°C nella stufa da laboratorio.

Per applicazioni ad alta temperatura (>60 °C), fare il trattamento complementare come segue:

- porre la lastra di poliestere insaturo tra due piastre lucidate di acciaio inossidabile;
- lasciar riposare per 24 h a temperatura ambiente, riscaldare per 16 h a 40 °C, quindi per altre 2 h a 120°C nella stufa da laboratorio.

Taglio dei provini

Tagliare i provini delle lastre preparate (spessore 2 mm, 3 mm o 4 mm),

CONDIZIONAMENTO DEI PROVINI

A meno che non sia specificato altrimenti, condizionare i provini in conformità alla ISO 291 per almeno 16 h a (23 ± 2) °C e $(50 \pm 5)\%$ di umidità relativa prima di determinare le proprietà del prospetto 1 e 2.

DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETÀ

Le proprietà sono presentate sotto forma di tre prospetti (i prospetti 1, 2 e 3), in dipendenza da dove esse sono coinvolte:

- resine non reticolate (proprietà utili per la lavorazione delle resine di poliestere insaturo)

(queste proprietà sono elencate nel prospetto 1) ;

- resine reticolate (proprietà intrinseche delle resine di poliestere insaturo) (queste proprietà sono elencate nel prospetto 2 e nel prospetto 3).

Nella determinazione delle proprietà intrinseche deve essere applicata la ISO 10350-1 nella presentazione dei risultati, delle norme e delle istruzioni supplementari e note. Tutte le prove devono essere fatte a (23 ± 2) °C e $(50 \pm 5)\%$ di umidità relativa in conformità alla ISO 291, a meno che nel prospetto 2 non sia specificamente dichiarato in modo diverso.

Il prospetto 2 è preso dalla ISO 10350-1 e le proprietà elencate sono quelle appropriate ai prodotti basati su poliestere insaturo. Queste proprietà sono considerate utili per il confronto di dati generati per differenti materiali termoindurenti e termoplastici.

Il prospetto 3 contiene quelle proprietà, non trovate nel prospetto 2, che possono essere d'interesse per la caratterizzazione pratica delle resine di poliestere insaturo.

Prospetto 1: Proprietà di processo

	Proprietà	Norma	Unità di misura	Condizioni di prova ed istruzioni supplementari
1	Proprietà reologiche			
1.1	Viscosità	ISO 3219	Pa·s	Misurata a velocità di taglio conosciuta (UP liquidi)
2	Proprietà fisiche			
2.1	Massa volumica	ISO 1675	g/ml	
2.2	Colore	ISO 4630 ISO 6271	Scala Gardner Scala Pt-Co	Colore Gardner Colore Pt-Co (Hazen)
2.3	Punto d'infiammabilità	ISO 1523 ISO 2719	°C °C	Applicabile alle resine con punto d'infiammabilità fino a 65 °C Applicabile alle resine con punto d'infiammabilità maggiore di 65 °C
2.4	Punto di rammollimento	ISO 4625	°C	Metodo della palla ed anello (UP solidi)
3	Proprietà chimiche			
3.1	Valore di acidità Valore di idrossile	ISO 2114 ISO 2554	mg KOH/g	
3.2	Contenuto di materia volatile	Da concordare tra le parti interessate	massa %	
3.3	Contenuto d'acqua	ISO 760	massa %	
3.4	Contenuto di alogeni	ISO 4615	massa %	
4	Proprietà legate alla reticolazione			
4.1	Tempo di gelificazione Reattività	ISO 2535 ISO 14848	min °C, min	Misurare il tempo di gelificazione a 25 °C
4.2	Ritiro volumetrico	ISO 3521	volume %	

Prospetto 2: Proprietà intrinseche e condizioni di prova

	Proprietà	Simbolo	Norma	Tipo del campione, (dimensioni in mm)	Unità di misura	Condizioni di prova ed istruzioni supplementari		
1	Proprietà reologiche							
1.1	Ritiro da stampaggio	S_{Mo}	ISO 2577	120 × 120 × 2	%	Registrare la media di due direzioni normali una all'altra		
2	Proprietà meccaniche							
2.1	Modulo a trazione	E_t	ISO 527-1 ISO 527-2	ISO 3167, tipo A	MPa	Velocità di prova 1 mm/min		
2.2	Sforzo di rottura	σ				Velocità di prova 5 mm/min		
2.3	Allungamento a rottura	ϵ_B	%		Velocità di prova 5 mm/min			
2.4 2.5	Modulo di deformazione plastica	$\frac{E_{tc}1}{E_{tc}10^3}$	ISO 899-1		MPa	A 1 h A 1 000 h	Allungamento <0,5%	
2.6	Modulo a flessione	E_f	ISO 178	80 × 10 × 4	MPa	Velocità di prova 2 mm/min		
2.7	Resistenza a flessione	σ_{fM}						
2.8	Resistenza all'urto Charpy	a_{cU}	ISO 179-1	80 × 10 × 4 Intaglio lavorato a V $r = 0,25$	kJ/m ²	Urto di costa		
2.9	Resistenza all'urto Charpy con intaglio	a_{cA}						
2.10 2.11	Comportamento al multi impatto	F_M W_p	ISO 6603-2	60 × 60 × 4	N J	Forza massima Energia totale	Velocità del percussore 4,4 m/s Diametro del percussore 20 mm Percussore lubrificato	
3	Proprietà termiche							
3.1	Temperatura di transizione vetrosa	T_g	ISO 11357-2		°C	Utilizzare 10 °C/min		
3.2 3.3	Temperatura di deflessione sotto carico (HDT)	$T_f 1,8$ $T_f 0,45$	ISO 75-2	80 × 10 × 4	°C	1,8 0,45	Superficie massima sforzo (MPa)	
3.4	Coefficiente di espansione lineare	α_p α_n	ISO 11359-2	Preparato dalla ISO 3157	°C ⁻¹	Registrare il valore secante sull'intervallo di temperatura tra 23 °C a 55 °C		
3.5	Comportamento alla fiamma	B50/3	IEC 60695-11-10	125 × 13 × 3		Registrare una delle classificazioni: V-0, V-1, V-2, HB 40 o nessuna		
3.6		B500/3	IEC 60695-11-20	≥150 × ≥150 × 3		Registrare una delle classificazioni: 5 VA, 5 VB o nessuna		
3.7	Indice all'ossigeno		ISO 4589-2	80 × 10 × 4		Utilizzare il procedimento A: ignizione della superficie superiore		
4	Proprietà elettriche							
4.1 4.2	Permittività relativa	$\epsilon_r 100$ $\epsilon_r 1M$	IEC 60250	≥60 × ≥60 × 2		100 Hz	Compensato per gli effetti di bordo degli elettrodi	
4.3 4.4		Fattore di dissipazione				$\tan \delta 100$ $\tan \delta 1M$		1 MHz
4.5	Resistività volumica		ρ_e		IEC 60093	Ω·m		
4.6	Resistività superficiale	σ_e			Ω			
4.7	Rigidità elettrica	E_B	IEC 60243-1			kV/mm	Utilizzare elettrodi sferici di diametro 20 mm. Immergerli in olio di trasformatore in conformità alla IEC 60296. Utilizzare una velocità di applicazione del voltaggio di 2 kV/s.	
4.8	Indice comparativo di camminamento	CTI	IEC 60112		≥15 × ≥15 × 4 preparato dalla ISO 3167		Utilizzare la soluzione A	

Prospetto 2: Proprietà intrinseche e condizioni di prova (continua)

	Proprietà	Simbolo	Norma	Tipo del campione, (dimensioni in mm)	Unità di misura	Condizioni di prova ed istruzioni supplementari
5	Altre proprietà					
5.1	Assorbimento d'acqua	w_w	ISO 62	Spessore ≥ 1	%	Valore di saturazione in acqua a 23 °C
5.2		w_t				Valore di saturazione a 23 °C, 50% R.H.
5.3	Massa volumica	ρ	ISO 1183	Piastra spessa 4 mm	kg/m ³	I quattro metodi specificati nella ISO 1183 sono considerati equivalenti ai fini di della presente parte della ISO 3672

Prospetto 3: Proprietà addizionali (non standard) e condizioni di prova

	Proprietà	Simbolo	Norma	Tipo del campione, (dimensioni in mm)	Unità di misura	Condizioni di prova ed istruzioni supplementari
1	Proprietà reologiche e proprietà di processo					
1.1	Durezza Barcol		EN 59		Unità Barcol	
2	Proprietà meccaniche					
2.1	Resistenza alla compressione		ISO 604		MPa	
2.2	Modulo di compressione	E_0	ISO 604		GPa	
3	Altre proprietà					
3.1	Contenuto residuale di stirene monomero		ISO 4901		Massa %	Metodo GPG

Materiali per estrusione e stampaggio in PVC: preparazione dei provini e determinazione delle proprietà (UNI EN ISO 1163-2)

La presente parte della norma ISO 1163 specifica le procedure e le condizioni per la preparazione delle provette di materiali in PVC in condizioni specifiche, nonché i metodi per la misurazione delle loro proprietà.

I valori ottenuti per le proprietà di formatura (stampaggio) dipendono dal composto della formatura stessa, dalla forma, dal tipo di test e dallo stato di anisotropia. Quest'ultimo dipende a sua volta dallo stampo e dalle condizioni di stampaggio, come per esempio temperatura, pressione e velocità di iniezione. Dev'essere considerato anche ogni successivo trattamento, come ad esempio il condizionamento o la temperatura.

La storia termica e gli sforzi interni dei provini possono fortemente influenzare le proprietà termiche e meccaniche e la resistenza alla rottura da sforzo, ma provocano un minore effetto sulle proprietà elettriche, che dipendono principalmente dalla composizione chimica del composto di stampaggio.

PREPARAZIONE DEI PROVINI

I provini devono essere preparati mediante stampaggio a compressione.

Il metodo applicato sarà indicato nella lista delle proprietà per ogni provino usando il simbolo "Q" per indicare la formatura per compressione.

È essenziale che tutti i provini preparati con un particolare metodo vengano preparati usando le stesse condizioni di processo indicate nelle tavole 1 e 2 seguenti.

Trattamento del materiale prima della formatura

Prima della formatura per compressione, il materiale dovrà essere preplasticizzato in un mulino a due rulli, usando le condizioni specificate nella tavola 1 a seguire.

Stampaggio per compressione

Porre le lastre pressate, preferibilmente a strati, nello stampo preriscaldato e preparare le lastre stampate per compressione, utilizzando le condizioni specificate nella tavola 2 a seguire.

Table 1 — Conditions for preplasticizing test specimens

Material	Mill-roll surface temperature °C	Milling time min	Roll surface speed m/min	Friction ratio	Roll nip width mm	Roll diameter mm	Roll length mm
All grades	VST/B + 90 (± 10)	5 ± 1	e.g. 10	1:1,2	e.g. 1	e.g. 150	e.g. 300

Table 2 — Conditions for compression moulding of test specimens

Material	Moulding temperature °C	Average cooling rate °C/min	Demoulding temperature °C	Full pressure MPa	Full-pressure time min	Preheating pressure MPa	Preheating time min
All grades	VST/B + 100 (± 10)	15 ± 3	≤ 40	7,5 ± 2,5	3,5 ± 1,5	~ 0,5	~ 5

I provini richiesti per la determinazione delle proprietà dovranno essere ottenuti dalle lastre formate per compressione oppure semplicemente stampati.

Condizionamento dei provini

I provini dovranno essere condizionati per almeno 16 h a (23 ± 2) °C e (50 ± 5) % di umidità relativa.

Il tempo minimo fra la preparazione del provino e il test sarà di 16 h, eccetto per le proprietà elettriche, per le quali il tempo minimo sarà di 24 h.

DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETÀ

Nella determinazione delle proprietà e nella presentazione dei risultati dovranno essere applicati i metodi e le condizioni speciali elencati nella tavola 3 a seguire.

Ogni test dovrà essere effettuato a (23 ± 2) °C e (50 ± 5) % di umidità relativa, salvo diverse indicazioni in tavola 3.

Table 3 — Properties and test conditions

Property	Unit	Standard	Specimen type (dimensions in mm)	Specimen preparation ¹⁾	Test conditions and supplementary instructions
Mechanical properties					
Tensile modulus ²⁾	MPa	ISO 527-1, ISO 527-2, ISO 527-4	See ISO 3167	Q	Test speed 1 mm/min
Yield stress	MPa				Test speed 50 mm/min
Yield strain	%				Test speed 50 mm/min
Strain at break	%				Test speed 50 mm/min
Stress at 50 % strain	MPa				Test speed 50 mm/min
Tensile creep modulus	MPa	ISO 899-1	See ISO 3167	Q	At 1 h } Strain ≤ 0,5 % At 1 000 h }
Flexural modulus	MPa	ISO 178	80 × 10 × 4	Q	Test speed 2 mm/min
Flexural strength	MPa				
Charpy notched impact strength ²⁾	kJ/m ²	ISO 179	80 × 10 × 4 V-notch, r = 0,25	Q	Method 1eA (edgewise impact)
Tensile notched impact strength	kJ/m ²	ISO 8256	80 × 10 × 4 double V-notch, r = 1	Q	Only to be quoted if fracture cannot be obtained with notched Charpy test.
Thermal properties					
Temperature of deflection under load	°C	ISO 75-1, ISO 75-2	110 × 10 × 4 or 80 × 10 × 4	Q	1,8 MPa
Vicat softening temperature ²⁾	°C	ISO 306	10 × 10 × 4	Q	Heating rate 50 °C/h, load 50 N
Flammability	mm/min s	ISO 1210	125 × 13 × 3 (thicker than preferred specimen)	Q	Method A — linear burning rate of horizontal specimens Method B — afterflame and afterglow times of vertical specimens
Ignitability	%				
Electrical properties					
Relative permittivity	—	IEC 250	≥ 80 × ≥ 80 × 1	Q	Frequency 1 kHz (compensate for electrode edge effect)
Dissipation factor	—				
Volume resistivity	Ω·m	IEC 93	≥ 80 × ≥ 80 × 1	Q	Voltage 500 V
Surface resistivity	Ω				
Electric strength	kV/mm	IEC 243-1	≥ 80 × ≥ 80 × 1	Q	Use 25 mm/75 mm coaxial-cylinder electrode configuration. Immerse in IEC 296 transformer oil. Use short time (rapid rise) test.
Comparative tracking index	—	IEC 112	≥ 15 × ≥ 15 × 4	Q	Use solution A
Other properties					
Water absorption	%	ISO 62	50 × 50 × 4	Q	24 h immersion in water at 23 °C
Density	kg/m ³	ISO 1183	10 × 10 × 4	Q	
1) Q = Compression moulding					
2) Designatory property					

Materiali per estrusione e stampaggio in PE: preparazione dei provini e determinazione delle proprietà

(UNI EN ISO 1872-2)

La presente parte della ISO 1872 specifica i metodi di preparazione dei provini e i metodi dei test da usare per determinare le proprietà dei materiali ottenuti per formatura ad estrusione in polietilene (PE). Vengono indicati i requisiti per il trattamento e il condizionamento del materiale del test prima della formatura e i provini prima del test.

Sono altresì indicati le procedure e le condizioni di preparazione dei provini e i procedimenti per misurare le proprietà dei materiali da ogni provino. Vengono elencati le proprietà e i metodi di prova idonei e necessari per caratterizzare lo stampaggio del polietilene e i materiali da estrusione.

PREPARAZIONE DEI PROVINI

È essenziale che i provini siano sempre preparati con la medesima procedura (formatura per iniezione o per compressione), seguendo le stesse condizioni di processo.

La procedura utilizzata in ogni metodo di prova è indicata nelle tavole 3 e 4 (“M” corrisponde alla formatura per iniezione, “Q” alla formatura per compressione).

Trattamento del materiale prima della formatura

Non vi è alcun pretrattamento necessario del materiale prima del processo.

Formatura per iniezione

La formatura per iniezione dei provini viene utilizzata per i materiali da stampaggio di PE aventi un indice di fluidità in massa $MFR \geq 1 \text{ g} / 10 \text{ min}$.

Nella tabella 1 a seguire sono indicate le condizioni per la formatura a iniezione dei provini.

Table 1 — Conditions for Injection moulding of test specimens

Material	Melt temperature °C	Mould temperature °C	Average injection velocity mm/s	Cooling time s	Total cycle time s
MFR \geq 1 g/10 min	210	40	100 \pm 20	35 \pm 5	40 \pm 5

Dovrà essere applicata una pressione costante per ottenere formature prive di difetti.

Formatura per compressione

La formatura per compressione viene utilizzata per i materiali aventi un indice di fluidità in massa MFR < 1 g / 10 min. Per i provini più sottili (con spessore \leq 2 mm), e dove è specificamente prescritto nelle tavole 3 e 4 (a seguire), la formatura per compressione dovrà essere usata per tutti i materiali.

Le lastre di formatura per compressione dovranno essere preparate seguendo le specifiche condizioni in tavola 2 (a seguire).

I provini richiesti per la determinazione delle proprietà dovranno essere ottenuti dalle lastre formate per compressione oppure semplicemente stampati. Lo stampaggio è opportuno per i provini più spessi di 4 mm. A confronto con i processi di segatura o di pressatura esso provoca uno sforzo minore ed una minore deformazione ai provini.

Table 2 — Conditions for compression moulding of test specimens

Material	Moulding temperature °C	Average cooling rate °C/min	Demoulding temperature °C	Full pressure MPa	Full-pressure time min	Preheating pressure MPa	Preheating time min
All grades	180	15	\leq 40	5/10 ^a	5 \pm 1	Contact	5 to 15

^a Use 5 MPa for a frame mould and 10 MPa for a positive mould.

NOTE 1 Inconsistent cooling rates can lead to significant deviations in measured properties due to the effect on the crystallinity of the specimens. So, it is desirable to use a moulding machine that can keep a constant cooling rate.

NOTE 2 For a type 1 mould, since full pressure is only applied upon the frame, compression-moulded sheet may suffer from insufficient homogeneity and pellet boundaries may be preserved.

CONDIZIONAMENTO DEI PROVINI

I provini di PE vuoti dovranno essere condizionati per almeno 16 h a (23 ± 2) °C, senza alcun requisito di umidità relativa.

I provini costituiti da materiali contenenti cariche o additivi suscettibili di un aumento di umidità dovranno essere condizionati per almeno 16 h a (23 ± 2) °C e (50 ± 10) % di umidità relativa.

DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETÀ

Nella determinazione delle proprietà e nella presentazione dei dati le istruzioni da seguire dovranno essere quelle contenute nella norma ISO 10350-1. Salvo diverse indicazioni nelle tabelle 3 e 4 a seguire, le prove sui provini in PE vuoti dovranno essere svolte nell'atmosfera standard di (23 ± 2) °C senza alcun requisito di umidità relativa.

I provini costituiti da materiali contenenti cariche o additivi suscettibili di un aumento di umidità dovranno essere testati nell'atmosfera standard a (23 ± 2) °C e (50 ± 10) % di umidità relativa.

La seguente tavola 3 è presa dalla norma ISO 10350-1 e le proprietà elencate sono quelle appropriate per lo stampaggio e l'estrusione di materiali in polietilene. Tali proprietà sono quelle considerate utili per un raffronto con i dati ricavati da differenti materiali termoplastici.

La tavola 4 contiene proprietà diverse da quelle della tavola 3, cioè proprietà in largo uso o di particolare significato nella caratterizzazione pratica della formatura e l'estrusione di materiali in polietilene.

Table 3 — General properties and test conditions (selected from ISO 10350-1)

Property	Symbol	Inter-national Standard	Specimen type (dimensions in mm)	Specimen preparation ^a	Unit	Test conditions and supplementary instructions			
1 Rheological properties									
1.1	Melt mass-flow rate	MFR	ISO 1133	Moulding compound	—	g/10 min	See conditions given in ISO 1872-1.		
1.2	Melt volume-flow rate	MVR				cm ³ /10 min	Use a value for the melt density of 763,6 kg/m ³ to calculate the mass-flow rate of unfilled materials. ^b		
1.3	Moulding shrinkage	S_{Mp}	ISO 294-4	60 × 60 × 2	M	%	Parallel		
1.4		S_{Mn}					Normal		
2 Mechanical properties									
2.1	Tensile modulus	E_t	ISO 527-2	ISO 3167	M/Q		MPa	Test speed 1 mm/min	
2.2	Yield stress	σ_y							
2.3	Yield strain	ϵ_y					%	Failure with yielding: test speed 50 mm/min	
2.4	Nominal strain at break	ϵ_{tB}							
2.5	Stress at 50 % strain	σ_{50}					MPa	Failure without yielding $\epsilon_B \leq 10\%$: test speed 5 mm/min $\epsilon_B > 10\%$: test speed 50 mm/min	
2.6	Stress at break	σ_B							
2.7	Strain at break	ϵ_B					%		
2.8	Tensile creep modulus	$E_{tc} 1$	ISO 899-1				MPa	At 1 h	Strain $\leq 0,5\%$
2.9		$E_{tc} 10^3$					At 1 000 h		
2.10	Flexural modulus	E_f	ISO 178	80 × 10 × 4			MPa	Test speed 2 mm/min	
2.11	Charpy notched impact strength	a_{cA}	ISO 179-1 or ISO 179-2	80 × 10 × 4 Machined V-notch, $r = 0,25$			kJ/m ²	Edgewise impact, method 1eA. Also record type of failure.	
2.12	Tensile notched impact strength	a_{tI}	ISO 8256	80 × 10 × 4 Machined double V-notch, $r = 1$				Only to be quoted if fracture cannot be obtained with notched Charpy test.	
2.13	Puncture energy	W_p	ISO 6603-2	60 × 60 × 2			J	Striker velocity 4,4 m/s Striker diameter 20 mm Support ring diameter 40 mm Lubricate the striker.	
2.14	Maximum puncture force	F_M					N	Clamp the specimen sufficiently to prevent any out of plane movement of its outer regions.	

Table 3 (continued)

Property	Symbol	International Standard	Specimen type (dimensions in mm)	Specimen preparation ^a	Unit	Test conditions and supplementary instructions			
3 Thermal properties									
3.1	Melting temperature	T_m	ISO 11357-3	Moulding compound	—	°C	Record peak melting temperature. Use 10 °C/min rise and fall.		
3.2	Glass transition temperature	T_g	ISO 11357-2				Record midpoint temperature. Use 10 °C/min rise and fall.		
3.3	Temperature of deflection under load	T_f 1,8 T_f 0,45	ISO 75-2	80 × 10 × 4	M/Q	°C	Maximum surface stress (MPa)	1,8 0,45	Use flatwise loading.
3.4							°C ⁻¹	Parallel	Record the secant value over the temperature range 23 °C to 55 °C.
3.5	Coefficient of linear thermal expansion	α_p α_n	ISO 11359-2	Prepared from ISO 3167		Transverse			
3.6						Burning behaviour	B50/1,5 B50/h	IEC 60695-11-10	125 × 13 × 1,5 Other thickness h greater than 1,5 mm
3.7	Oxygen index	ISO 4589-2	80 × 10 × 4	%					
3.8									
4 Electrical properties^c									
4.1	Relative permittivity	ϵ_r 100	IEC 60250	$\geq 60 \times \geq 60 \times 2$		Q	—	100 Hz	Compensate for electrode edge effects.
4.2		ϵ_r 1M						1 MHz	
4.3	Dissipation factor	$\tan \delta$ 100			100 Hz				
4.4		$\tan \delta$ 1M			1 MHz				
4.5	Volume resistivity	ρ_v	IEC 60093	$\geq 60 \times \geq 60 \times 1$	Q	Ω·m	Value at 1 min		
4.6	Surface resistivity	σ_s					Ω	Voltage 500 V	Use contacting line electrodes 1 mm to 2 mm wide, 50 mm long and 5 mm apart.
4.7	Electric strength	E_B 1	IEC 60243-1	$\geq 60 \times \geq 60 \times 1$	Q	kV/mm	Use 20 mm diameter spherical electrodes. Immerse in transformer oil in accordance with IEC 60296. Use a voltage application rate of 2 kV/s.		
4.8	Comparative tracking index	CTI-A	IEC 60112	$\geq 20 \times \geq 20 \times 4$			—	Use solution A.	
5 Other properties									
5.1	Water absorption	w_w	ISO 62	60 × 60 × 1	M/Q	%	Saturation value in water at 23 °C		
5.2		w_H					Equilibrium value at 23 °C, 50 % RH		
5.3	Density	ρ	ISO 1183-1 or ISO 1183-2 or ISO 1183-3	—	Q	kg/m ³	For comparison purposes only. Not to be used for specifications.		
^a M = Injection moulding, Q = Compression moulding ^b Reference: P. Zoller, <i>Journal of Applied Polymer Science</i> , 23, 1979, pp. 1051-1061. ^c Electrical properties are generally affected by the relative humidity. So, they must be measured in a standard atmosphere of 23 °C ± 2 °C and (50 ± 10)% relative humidity.									

Table 4 — Additional properties and test conditions of particular utility to PE moulding and extrusion materials

Property	Symbol	International Standard	Specimen type (dimensions in mm)	Specimen preparation ^a	Unit	Test conditions and supplementary instructions	
1 Mechanical properties							
1.1	Yield stress	σ_y	ASTM D 638 ^b	Type IV	Q	MPa	
1.2	Yield strain	ϵ_y				%	Thickness 1 mm or 2 mm
1.3	Stress at break	σ_B				MPa	
1.4	Strain at break	ϵ_B				%	
2 Other properties							
2.1	Reduced viscosity	I	ISO 1628-3	Moulding compound	—	ml/g	
2.2	Environmental stress-cracking ^c	F_{50}	ASTM D 1693	38 × 13 × h	Q	h	Determine the 50 % failure rate F_{50} using Cond. A, $\rho \leq 0,925$ (h : 3,00 to 3,30) Cond. B, $\rho > 0,925$ (h : 1,84 to 1,97)
2.3		t_f	ISO 16770	To be selected from ISO 16770			Use conditions from ISO 16770 according to polymer end-use application.
2.4	Density	ρ	ISO 1183-1 or ISO 1183-2 or ISO 1183-3	Extrudate	From ISO 1133 determination	kg/m ³	ISO 1872-1:1993, 3.3.1 This is the designatory density value.
^a M = Injection moulding Q = Compression moulding ^b Use of small tensile bar is allowed when the elongation of multipurpose test specimen is too large to obtain stress or strain at break. ^c Stress-cracking tests give relative comparisons, especially for extrusion types of PE material, and are untypical for many applications. Tests give good characterization of material suitability for certain applications, however. Performance tests on products are nevertheless needed for full assessment of material suitability for a given application.							

Materie plastiche - Materiali termoplastici - Determinazione della temperatura di rammollimento Vicat (VST)

(UNI EN ISO 306)

La presente norma ISO specifica quattro metodi per la determinazione della temperatura di rammollimento Vicat dei materiali termoplastici:

- metodo A50, che utilizza una forza di 10 N e una velocità di riscaldamento di 50°C/h;
- metodo B50, che utilizza una forza di 50 N e una velocità di riscaldamento di 50°C/h;
- metodo A120, che utilizza una forza di 10 N e una velocità di riscaldamento di 120°C/h;
- metodo B120, che utilizza una forza di 50 N e una velocità di riscaldamento di 120°C/h.

Tali metodi sono solamente applicabili ai materiali termoplastici, per i quali forniscono una misura della temperatura alla quale i termoplastici iniziano a rammollirsi rapidamente.

PRINCIPIO

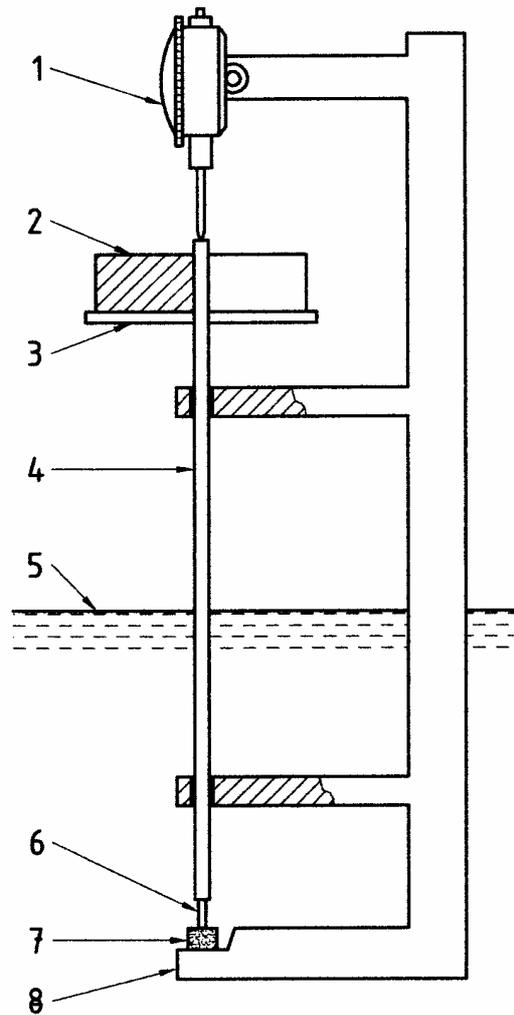
Viene determinata la temperatura alla quale una punta penetrante standard con un'estremità piatta penetra per 1 mm nella superficie di un provino termoplastico. La punta penetrante esercita una specifica forza perpendicolare alla superficie del provino, mentre quest'ultimo viene riscaldato ad una velocità fissata e uniforme.

La temperatura in gradi Celsius del provino, misurata il più vicino possibile all'area penetrata di 1 mm, viene detta "temperatura di rammollimento Vicat" (siglata VST).

APPARECCHIATURA

- **asta:** essa è provvista di una piastra porta-peso (o di un altro opportuno dispositivo che applica un carico), tenuta da una struttura di metallo rigido in un bagno pieno di liquido o in un'unità riscaldante a diretto contatto in modo da lasciar scorrere verticalmente la struttura stessa. In entrambi i casi, la base della struttura supporta il provino sotto la punta penetrante all'estremità dell'asta (figure 1 e 2 a seguire).

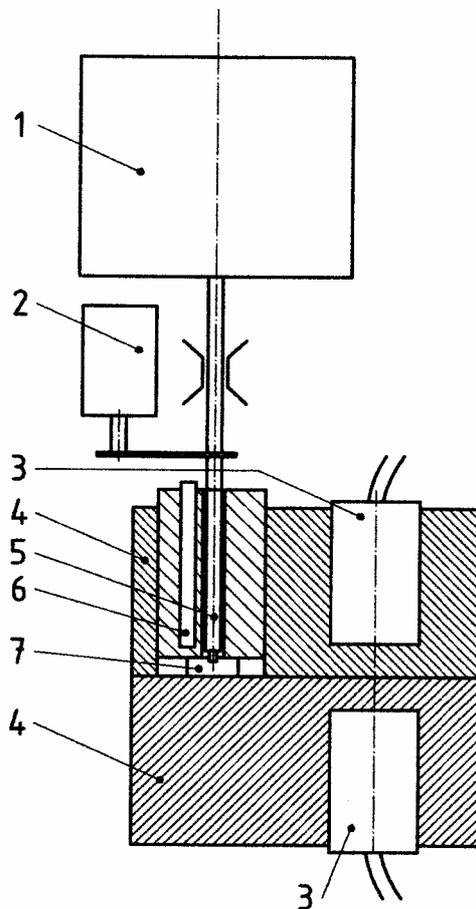
- **punta penetrante:** preferibilmente in acciaio temprato, di lunghezza da 1,5 mm a 3 mm, con sezione trasversale circolare e con un'area di $(1000 \pm 0,015)$ mm², che corrisponde a un diametro di $(1,128 \pm 0,008)$ mm. Tale punta è fissata all'estremità inferiore dell'asta. La superficie della punta penetrante a contatto con il provino dovrà essere piana e perpendicolare all'asse dell'asta e priva di bave.
- **micrometro calibrato con quadrante di misurazione (o altro opportuno strumento di misurazione):** per misurare a $\pm 0,01$ mm la penetrazione della punta nel provino. Il carico del quadrante di misurazione, che contribuisce al carico sul provino, dovrà essere registrato.
- **piastra porta-peso:** essa è aderente all'asta, e pesi in successione vengono aggiunti centralmente in modo che il carico totale applicato sul provino sia di $(10 \pm 0,2)$ N per i metodi A50 e A120, e di (50 ± 1) N per i metodi B50 e B120. Il carico risultante verso il basso, misurato durante la calibrazione dell'apparato (carico dovuto all'asta, alla punta penetrante, alla piastra porta-peso), e la forza esercitata verso il basso o verso l'alto dalla molla del quadrante di misurazione del micrometro durante la misurazione non dovranno eccedere 1 N.



Key

- 1 micrometer dial gauge
- 2 replaceable weight
- 3 weight-carrying plate
- 4 rod with indenting tip
- 5 approximate level of liquid
- 6 indenting tip
- 7 test specimen
- 8 test-specimen support

Figure 1 — Example of apparatus with a liquid-filled heating bath for determination of the VST



Key

- 1 weight
- 2 displacement-measurement device
- 3 heater
- 4 heating block
- 5 rod with indenting tip
- 6 temperature-measurement unit
- 7 test specimen

Figure 2 — Example of apparatus with a direct-contact heating unit for determination of the VST

Vi sono inoltre altre apparecchiature:

- **apparecchio di riscaldamento:** esso consiste o in un bagno riscaldante contenente un liquido o in un'unità riscaldante a contatto diretto. Il dispositivo di riscaldamento dovrà essere dotato di uno strumento di controllo della temperatura che permetta l'innalzarsi della temperatura con una velocità uniforme di $(50 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C/h}$ o di $(120 \pm 10) \text{ }^\circ\text{C/h}$. La velocità di riscaldamento dovrà essere verificata o visualizzando la lettura automatica

della temperatura o misurando manualmente il cambiamento di temperatura a intervalli di, al più, 6 min durante l'intero test. Il requisito della velocità di riscaldamento dovrà essere considerato soddisfatto se, in ciascuno degli intervalli di 6 min del test, la variazione di temperatura sarà rispettivamente di $(5 \pm 0,5)$ °C e di (12 ± 1) °C. Nel caso di bagni multi-posizione, la velocità di riscaldamento dovrà essere verificata a ogni passo del test. L'apparecchio può essere utilizzato per un'interruzione automatica del riscaldamento e per far suonare un allarme quando la specificata penetrazione della punta è stata raggiunta.

- **bagno riscaldante:** esso contiene un liquido nel quale il provino può essere immerso per una profondità di almeno 35 mm; è richiesto anche un efficiente agitatore. È necessario che il liquido scelto sia stabile alla temperatura usata e che esso non influisca negativamente sul materiale durante il test, per esempio gonfiandolo o crepandolo. Quando viene utilizzato un bagno riscaldante, la temperatura del liquido, misurata il più vicino possibile al provino, sarà considerata come temperatura di rammollimento Vicat (VST). Come liquidi per il trasferimento del calore si possono utilizzare paraffina liquida, glicerolo o olio di silicone, oltre ad altri opportuni liquidi.
 - **unità di riscaldamento a contatto diretto:** essa contiene dei riscaldatori e dei blocchi che, attraverso un riscaldamento per conduzione, fanno aumentare la temperatura del provino con una velocità controllata finché non viene raggiunta la VST.
-
- **strumento di misura della temperatura**
 - **per un bagno riscaldante:** si utilizza un termometro di mercurio in vetro, del tipo di immersione parziale, o un altro opportuno strumento di misurazione della temperatura, con una scala appropriata e accuratezza entro 0,5 °C. Per ragioni meccaniche e termiche lo strumento di misurazione della temperatura non dovrà essere a diretto contatto con il provino.

- **per un'unità di riscaldamento a contatto diretto:** si usa uno strumento di misurazione della temperatura con un'opportuna scala e accuratezza entro 0,5 °C. Il sensore dovrà essere posizionato il più vicino possibile sia alla punta penetrante sia al provino, ma evitando il diretto contatto tra il sensore e il provino stesso.

PROVINI

Dovranno essere utilizzati almeno due provini per ogni campione del test; essi dovranno avere uno spessore compreso fra 3 mm e 6,5 mm, una sezione di almeno 10 mm² o un diametro minimo di 10 mm. Le loro superfici dovranno essere piatte, parallele e prive di bave.

Se i campioni del test si presentano in forma di materiali da stampaggio (per esempio polvere o materiali granulati), questi verranno stampati in provini spessi da 3 mm a 6,5 mm.

Per materiali in forma di lamina, lo spessore del provino deve essere uguale a quello della lamina, tranne nei casi seguenti:

- se lo spessore è maggiore di 6,5 mm, esso dev'essere ridotto entro i limiti consentiti (3 mm e 6,5 mm) lavorando a macchina una superficie, mentre l'altra superficie viene lasciata intatta. La superficie usata nel test sarà quella lasciata intatta.
- Se lo spessore è minore di 3 mm, verranno sovrapposti non più di tre pezzi in diretto contatto per creare uno spessore totale compreso fra 3 mm e 6,5 mm e lo spessore del pezzo superiore dovrà essere di almeno 1,5 mm. Sovrapponendo pezzi di minor spessore non si ha sempre lo stesso risultato del test.

I risultati ottenuti dal test possono dipendere dalle condizioni di stampaggio adottate nella preparazione dei provini, benchè questa dipendenza non sia frequente. Nel caso in cui ciò avvenga, possono essere adottate speciali procedure di temperatura o condizionamento prima del test.

PROCEDIMENTO

Se si utilizza un bagno riscaldante, occorre montare il provino orizzontalmente sotto la punta penetrante dell'asta non caricata, perpendicolarmente alla punta penetrante. Se invece si usa un'unità di riscaldamento a contatto diretto, si posiziona il provino orizzontalmente e

perpendicolare alla direzione di scorrimento della punta penetrante, senza far penetrare la punta nel provino.

La punta penetrante non dovrà essere in alcun punto più vicino di 3 mm al bordo del provino. La superficie del provino a contatto con la base dell'apparecchio dovrà essere piatta.

Se si utilizza un bagno riscaldante, si posiziona l'asta assieme al supporto all'interno del bagno. Se si usa un'unità di riscaldamento a contatto diretto, si mette il provino tra i due blocchi e più in basso la punta penetrante. La temperatura del dispositivo di riscaldamento dovrà essere al massimo di 25°C all'inizio di ogni test, benchè precedenti test abbiano dimostrato che, per il materiale del test, anche partendo da temperature diverse, non si provoca alcun errore.

Quando viene usato il bagno riscaldante, il bulbo del termometro o il sensore dello strumento di misurazione della temperatura dovrà essere allo stesso livello e il più vicino possibile al provino. Se si usa l'unità di riscaldamento per contatto diretto, il sensore dovrà essere posizionato nel blocco di riscaldamento, il più vicino possibile al provino.

Con la punta penetrante ancora in posizione iniziale, aggiungere un sufficiente carico alla piastra porta-peso (oppure caricare la punta penetrante in altro modo opportuno), affinché il carico totale sul provino sia di $(10 \pm 0,2)$ N per i metodi A50 e A120, e di (50 ± 1) N per i metodi B50 e B120.

Dopo 5 min di applicazione del carico, annotare la lettura della misura di penetrazione o settare lo strumento a zero.

Si deve far aumentare la temperatura con una velocità costante di (50 ± 5) °C/h o di (120 ± 10) °C/h. Quando si utilizza un bagno riscaldante, si deve agitare bene il liquido durante il test.

Per alcuni materiali testati a una velocità di riscaldamento maggiore di 120 °C, si può osservare che la temperatura di rammollimento Vicat è maggiore di più di 10 °C di quella che si otterrebbe con una velocità di riscaldamento di 50 °C/h.

Si annoti la temperatura del bagno, o quella del blocco riscaldante, quando la punta è penetrata nel provino di $(1 \pm 0,01)$ mm rispetto alla posizione iniziale, e la si registri come temperatura di rammollimento Vicat (VST) del provino.

Si deve esprimere la VST del materiale del test come la media aritmetica delle VST dei provini testati, a meno che la differenza fra i test risulti maggiore di 2 °C, nel qual caso si registrano i singoli rilevamenti e si ripete il test una seconda volta utilizzando un altro set di almeno due provini. In caso di prova ripetuta, si riportano i singoli risultati di entrambi i test.

CONFRONTO DELLA VST OTTENUTA CON BAGNO RISCALDANTE E CON UNITÀ DI RISCALDAMENTO A CONTATTO DIRETTO

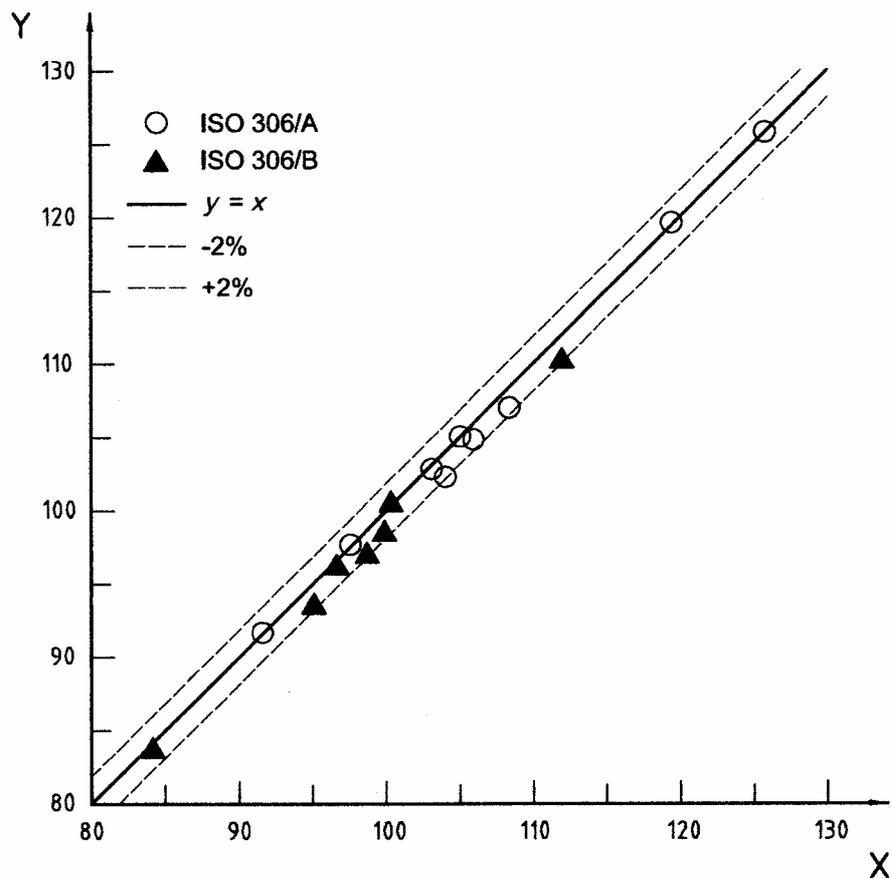
È stato condotto uno studio per determinare la VST di 10 materiali, misurata usando un bagno riscaldante contenente olio di silicone e anche con la tecnica dell'unità di riscaldamento per contatto diretto, nella quale il calore viene trasmesso al provino tramite contatto diretto con superfici di metallo.

I risultati vengono mostrati nella tabella A.1 e nella figura A.1 (a seguire). Tutti i risultati cadono all'interno di una fascia di dispersione di $\pm 2\%$. La pendenza della curva di regressione è di 1,008, suggerendo che la differenza di VST fra le due tecniche di riscaldamento è di meno dell'1%.

Da ciò deriva che le due tecniche devono essere considerate equivalenti dal punto di vista del risultato, che è la VST.

Table A.1 — Results of comparative study (heating rate 50 °C/h)

Test material	Type of material	VST using heating bath		VST using direct-contact heating	
		10 N load	50 N load	10 N load	50 N load
PE 4261 A	Polyethylene	125,6 °C	—	125,9 °C	—
PE Sample 1	Polyethylene	91,4 °C	—	91,7 °C	—
PE Sample 2	Polyethylene	97,4 °C	—	97,7 °C	—
Terluran GP-22	ABS	105,8 °C	99,6 °C	105,0 °C	98,5 °C
Terluran GP-35	ABS	103,7 °C	96,4 °C	102,3 °C	96,2 °C
Terluran HI-10	ABS	104,9 °C	98,5 °C	105,1 °C	97,0 °C
Terluran EGP-7	ABS	108,2 °C	100,1 °C	107,1 °C	100,5 °C
Terluran HH-112	ABS	119,3 °C	111,8 °C	119,7 °C	110,3 °C
Terluran 967K	ABS	103,0 °C	94,9 °C	102,8 °C	93,5 °C
PS 143 E	Polystyrene	—	84,0 °C	—	83,7 °C



Key

X VST using heating bath, °C

Y VST using direct-contact heater, °C

Linear regression:

$$y = -1,291\ 23 + 1,007\ 94x$$

$$R^2 = 0,994\ 65$$

Figure A.1 — Plot of data presented in Table A.1

RIPETIBILITÀ

I dati forniti nella tabella B.1 seguente sono basati sulla ripetibilità dello studio, utilizzando il metodo A120, che richiede un laboratorio in cui si testano quattro diversi materiali. Sono state effettuate tre ripetizioni in due diversi momenti.

Table B.1 — Results of repeatability study

Material	Average	s_r^a	r^b
PC	154,50	0,71	1,98
ABS	108,40	0,14	0,40
PP	145,60	0,21	0,59
PMMA	125,10	0,07	0,20
^a s_r = within-laboratory standard deviation			
^b $r = 2,83s_r$			

r è l'intervallo che rappresenta la differenza critica (95% del livello di confidenza) tra i due risultati dei test per lo stesso materiale, risultati ottenuti dallo stesso operatore che usa la stessa apparecchiatura nello stesso laboratorio.

Questa spiegazione del fattore r è intesa solo per presentare una spiegazione dell'approssimativa ripetibilità del metodo del test. I dati presentati nella tabella B.1 non devono essere applicati rigorosamente per l'accettazione o il rifiuto del materiale, in quanto essi sono rappresentativi soltanto di uno studio specifico e non di altre condizioni di apparecchiature, materiali e laboratori diversi.

Materiali termoplastici per tubi e raccordi per applicazioni sotto pressione. Classificazione e designazione - Coefficiente generale di impiego (ai fini della progettazione)

(UNI ISO 12162)

La presente norma ISO stabilisce la classificazione dei materiali termoplastici in forma di tubo e specifica la designazione del materiale. Essa fornisce anche un metodo per il calcolo dello sforzo di progetto.

Essa si riferisce ai materiali designati per le tubazioni e/o a impianti per applicazioni di pressione.

La classificazione, la designazione del materiale e il metodo di calcolo sono basati sulla resistenza alla pressione interna con acqua a 20 °C nell'acqua per 50 anni.

DEFINIZIONI

Ai fini della presente ISO si applicano le seguenti definizioni:

- **sforzo a lungo termine a 20 °C per 50 anni (σ_{LTHS}):** quantità misurata con le dimensioni di una pressione, in megaPascal; essa può essere considerata come una proprietà del materiale e rappresenta il 50 % del minimo limite di confidenza per lo sforzo a lungo termine. Essa è uguale allo sforzo medio o allo sforzo medio previsto a 20 °C per 50 anni con pressione interna con acqua.
- **minimo limite di confidenza a 20 °C per 50 anni (σ_{LCL}):** quantità misurata con le dimensioni di una pressione, in megaPascal; essa può essere considerata come proprietà del materiale e rappresenta il 97,5 % del minimo limite di confidenza dello sforzo medio di lungo termine a 20 °C per 50 anni con pressione interna con acqua.
- **minimo sforzo richiesto (MRS):** valore di σ_{LCL} , arrotondato per difetto al valore delle serie R10 o R20 conformi alla ISO 3 e alla ISO 497, che dipendono dal valore di σ_{LCL} .
- **coefficiente generale di impiego (ai fini della progettazione) (C):** coefficiente generale con valore maggiore di 1 che prende in considerazione le condizioni di servizio come proprietà delle componenti di un sistema di tubazioni diverse da quelle rappresentate nel limite minimo di confidenza.

- **sforzo di progetto (σ_s):** sforzo ammissibile per una data applicazione. Esso è ottenuto dal rapporto fra MRS e il coefficiente C , arrotondato poi per difetto al valore più vicino contenuto nelle serie R20:

$$\sigma_s = \text{MRS} / C .$$

CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI IN FORMA DI TUBI

I materiali termoplastici dovranno essere classificati in base al valore del proprio σ_{LCL} , approssimato per difetto al più vicino valore delle serie R10 se σ_{LCL} è inferiore a 10 Mpa, o al più vicino valore delle serie R20 se σ_{LCL} è maggiore o uguale a 10 Mpa. Questo valore costituisce il minimo sforzo richiesto MRS.

I numeri di classificazione per i materiali plastici dovranno essere espressi moltiplicando per 10 il MRS in megaPascal (vedere la tabella 1 a seguire).

Table 1 — Classification

Range of lower confidence limits σ_{LCL} MPa	Minimum required strength MRS MPa	Classification number ¹⁾
$1 \leq \sigma_{LCL} \leq 1,24$	1	10
$1,25 \leq \sigma_{LCL} \leq 1,59$	1,25	12.5
$1,6 \leq \sigma_{LCL} \leq 1,99$	1,6	16
$2 \leq \sigma_{LCL} \leq 2,49$	2	20
$2,5 \leq \sigma_{LCL} \leq 3,14$	2,5	25
$3,15 \leq \sigma_{LCL} \leq 3,99$	3,15	31.5
$4 \leq \sigma_{LCL} \leq 4,99$	4	40
$5 \leq \sigma_{LCL} \leq 6,29$	5	50
$6,3 \leq \sigma_{LCL} \leq 7,99$	6,3	63
$8 \leq \sigma_{LCL} \leq 9,99$	8	80
$10 \leq \sigma_{LCL} \leq 11,19$	10	100
$11,2 \leq \sigma_{LCL} \leq 12,49$	11,2	112
$12,5 \leq \sigma_{LCL} \leq 13,99$	12,5	125
$14 \leq \sigma_{LCL} \leq 15,99$	14	140
$16 \leq \sigma_{LCL} \leq 17,99$	16	160
$18 \leq \sigma_{LCL} \leq 19,99$	18	180
$20 \leq \sigma_{LCL} \leq 22,39$	20	200
$22,4 \leq \sigma_{LCL} \leq 24,99$	22,4	224
$25 \leq \sigma_{LCL} \leq 27,99$	25	250
$28 \leq \sigma_{LCL} \leq 31,49$	28	280
$31,5 \leq \sigma_{LCL} \leq 35,49$	31,5	315
$35,5 \leq \sigma_{LCL} \leq 39,99$	35,5	355
$40 \leq \sigma_{LCL} \leq 44,99$	40	400
$45 \leq \sigma_{LCL} \leq 49,99$	45	450
$50 \leq \sigma_{LCL} \leq 54,99$	50	500

1) If the classification number is not an integer, a full stop is used instead of a comma.

REGOLAZIONE DEL VALORE DI C

Il valore (o i valori) di C a 20 °C dovrà essere uguale o, se opportuno, più grande del valore minimo dato in tabella 2 (a seguire), valore stabilito per la pressione statica dovuta all'acqua a 20 °C per 50 anni, tenendo conto delle seguenti considerazioni:

- requisiti specifici per i prodotti, come sforzi addizionali ed altri effetti non quantificabili che possono presentarsi nell'applicazione, come ad esempio i carichi dinamici;
- influenza della temperatura, del tempo e dell'ambiente interno ed esterno alla tubazione, se diversi da 20 °C, per 50 anni;
- standards relativi al minimo sforzo richiesto, per temperature diverse da 20 °C.

Il valore minimo di C per vari materiali è riportato nella tabella 2:

Table 2 — Minimum values of C

Material	C min.
ABS	1,6
PB	1,25
PE (all types)	1,25
PE-X	1,25
PP copolymer	1,25
PP homopolymer	1,6
PVC-C	1,6
PVC-HI	1,4
PVC-U	1,6
PVDF copolymer	1,4
PVDF homopolymer	1,6

CALCOLO DELLO SFORZO DI PROGETTO

Tranne che nei casi specificati diversamente da quelli presenti negli standard di sistema, lo sforzo di progetto σ_s dovrà essere calcolato utilizzando la seguente equazione e arrotondando per difetto al valore più vicino a quello delle serie R20:

$$\sigma_s = MRS / C ,$$

dove MRS è il valore dello sforzo minimo richiesto e C è il valore del coefficiente generale di impiego ai fini della progettazione.

Materie plastiche rinforzate con fibre di vetro. Determinazione della durezza mediante durometro Barcol

(UNI EN 59)

La presente EN descrive la determinazione della durezza delle materie plastiche rinforzate con fibre di vetro utilizzando il durometro Barcol, modello 934-1. Questo apparecchio è portatile e per questo è adatto alla misura della durezza di parti fabbricate, di provini individuali per i fini di controllo di produzione.

APPARECCHIATURA

L'apparecchio (vedere la figura 1 a seguire) è un durometro Barcol, modello 934-1, che consiste delle seguenti parti:

- **puntellatore:** esso è costituito da un tronco di cono in acciaio temprato con un angolo di 26°, con una punta piatta di diametro di 0,157 mm. Il puntellatore verrà fatto entrare in un albero cavo e verrà tenuto in basso da uno stantuffo caricato con una molla.
- **dispositivo di misurazione:** la scala di misurazione dovrà avere 100 tacche, ciascuna delle quali rappresenterà una profondità di penetrazione di 0,0076 mm. La scala dovrà essere letta direttamente in unità di durezza Barcol.

PROVINI

Superficie del provino

La superficie da sottoporre al test dovrà essere liscia e priva di danneggiamenti meccanici (come rigature o fori).

Dimensioni

I provini dovranno essere spessi almeno 1,5 mm e sufficientemente larghi da assicurare una distanza minima di 3 mm in ogni direzione fra la punta penetrante e il bordo del provino.

CONDIZIONAMENTO

Condizionamento dei provini

Condizionare i provini come richiesto dalle specifiche per il particolare materiale plastico rinforzato con fibre di vetro. Per i test effettuati a 23 °C e con un'umidità relativa del 50 % è permesso ridurre il tempo di condizionamento a un minimo di 16 ore.

Test sull'atmosfera

Se le dimensioni del prodotto da testare non permettono il condizionamento e il test in atmosfera standard, questo è da riportare nel rapporto del test.

PROCEDIMENTO

Supportare i provini con una dura e solida superficie se essi sono suscettibili di piegarsi o deformarsi sotto la pressione del puntellatore. Le superfici curve possono essere più difficili da

supportare. Quando viene applicata la forza, bisogna evitare azioni di piegatura o di scatto da parte dei provini.

Il puntellatore dovrà essere perpendicolare alla superficie su cui si esegue il test. Si deve impugnare il durometro fermamente tra la gamba d'appoggio dell'apparecchio e il manicotto e appoggiare entrambi sulla superficie da testare. Per i piccoli provini può essere necessario supportare la gamba ponendola in un incastro. In seguito si applica rapidamente una sufficiente forza con la mano sulla sede, per assicurare un solido contatto con il provino, poi si registra la più alta lettura della scala come durezza espressa in unità Barcol.

Un lieve abbassamento del valore della lettura nella scala di misurazione si presenta talvolta nel caso di materiali soggetti a strisciamento. Per certi materiali è estremamente importante registrare la più alta lettura istantanea letta nella scala di misurazione.

Si deve prestare attenzione ad evitare lo strisciamento o il raschiamento quando il puntellatore è a contatto con la superficie da testare.

Non dovrebbero esser fatte incisioni entro i primi 3 mm dal bordo del provino o da altre incisioni.

NUMERO DI LETTURE

I materiali plastici rinforzati sono intrinsecamente eterogenei; inoltre si osserva un grande scarto fra le letture. Ciò è principalmente causato dalle differenze di durezza tra le resine e i materiali di rinforzo a contatto con il puntellatore di piccolo diametro. Il numero di misure dovrà essere tale che il risultato medio abbia un limite di confidenza di $\pm 4\%$ (con un livello di probabilità del 95 %).

Legend to figure

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| (1) Casing | (9) Lock nut |
| (2) Indicating dial | (10) Lever |
| (3) Body of apparatus | (11) Fixed (spring) sleeve |
| (4) Leg | (12) Movable point sleeve |
| (5) Plunger | (13) Movable point sleeve spring |
| (6) Upper plunger guide nut | (14) Guide ring |
| (7) Spring | (15) Indentor tip |
| (8) Lower plunger guide nut | (16) Height adjustment ring |

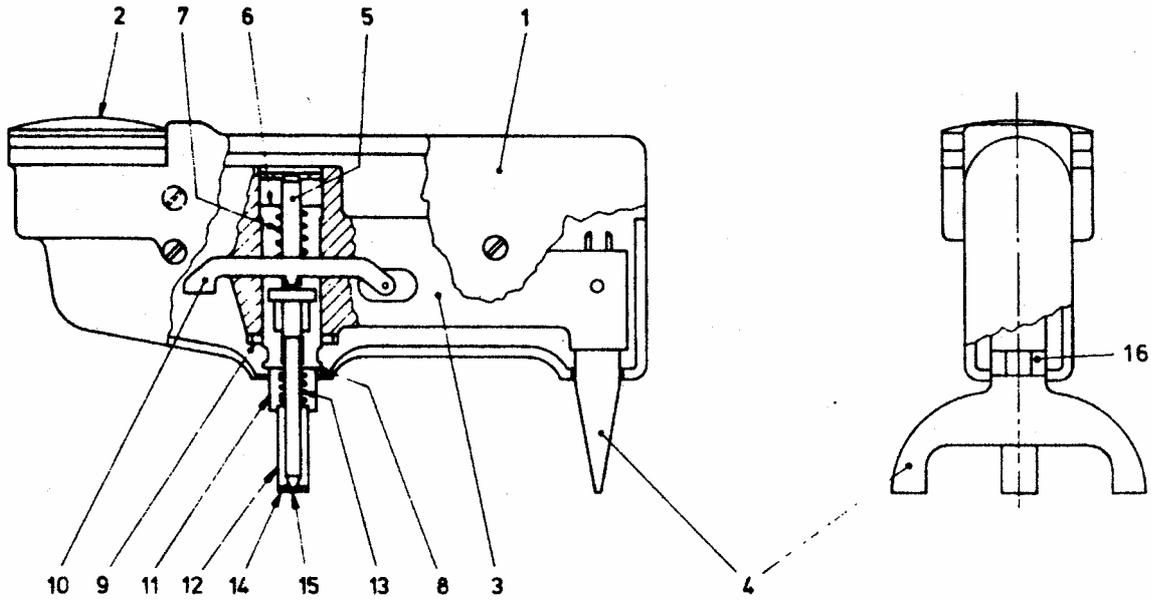


Figure 1. General construction of Barcol impressor

Capitolo VI

NORMATIVA TECNICA

SULLE TUBAZIONI IN

MATERIALI PLASTICI

IN GENERALE

Una volta effettuate le prove contenute nelle precedenti norme tecniche riguardo ai materiali, si può passare ai diversi test sulle tubazioni (il processo di realizzazione dei tubi non viene affrontato in questa sede).

Immaginiamo di prendere in considerazione una tubazione con un diametro esterno $d_e = 500$ mm; ogni calcolo presente nelle normative seguenti verrà riferito a tale diametro. Oltre a questo dato specifico ne forniamo altri su cui verranno basati i calcoli presenti nelle successive normative.

<i>materiale</i>	<i>SDR</i> (= d_e/s)	d_e (mm)	<i>Pressione nominale</i> <i>PN (atm)</i>	<i>Peso specifico</i> ρ (kg/dm ³)	<i>Coefficiente di dilatazione lineare</i> α_L (°C ⁻¹)	<i>Modulo di elasticità longitudinale</i> E_x (N/mm ²)
PVC	20	500	10	1,37-1,45	$7 \cdot 10^{-5}$	25-35
PEAD/PEBD	17	500	10	0,94-0,96/ 0,92-0,93	$20 \cdot 10^{-5}$	7-20
PRFV	50	500	10	1,7	$(2,5-3) \cdot 10^{-5}$	23

Vengono riportate parti integrali della presente normativa.

Sistemi di tubazioni e condotte di materia plastica - Sistemi di adduzione d'acqua e scarichi fognari all'esterno dei fabbricati - Raccomandazioni per installazione interrata e fuori terra (UNI ENV 1046)

La presente norma sperimentale è una guida per le procedure d'installazione per i sistemi di tubazioni in materia plastica e i loro componenti destinati ad essere usati interrati o fuori terra per applicazioni in pressione e non all'esterno dai fabbricati. Essa è destinata ad essere utilizzata assieme alle norme generali per le raccomandazioni d'installazione, per esempio quelle emesse dal CEN/TC 164 "Fornitura d'acqua" e dal CEN/TC 165 "Ingegneria delle acque reflue".

La presente norma sperimentale include raccomandazioni per i procedimenti del rinterro e dell'area circostante il tubo, ma non dettagli sui basamenti e sottobasamenti della strada. Viene richiamata l'attenzione su ogni regolamentazione nazionale che può interessare questi o altri aspetti dell'installazione.

Questa norma non copre aspetti legati al rinnovo dei sistemi di tubazioni esistenti che usano tecniche di rivestimento interno o sostituzione di sistemi di tubazioni usando tecniche senza trincee; è destinata inoltre ad essere utilizzata dalle autorità, da ingegneri progettisti, appaltatori d'installazioni e fabbricanti.

Nella presente norma sperimentale, molte indicazioni sono espresse come requisiti, per esempio usando la forma verbale "deve" o istruzioni all'imperativo. È fortemente raccomandato che queste indicazioni siano seguite ogniqualvolta sia possibile.

Altre indicazioni sono presentate come considerazioni da tener presenti in ogni caso e a tale fine si trova usato il condizionale "dovrebbe".

La presente norma sperimentale è applicabile all'installazione di sistemi di tubazioni in materia plastica da utilizzare per il trasporto di acqua o scarico in condizioni di gravità o pressione sopra o sotto il suolo. È destinata ad essere utilizzata per tubi con dimensioni nominali fino ad includere il DN 3000.

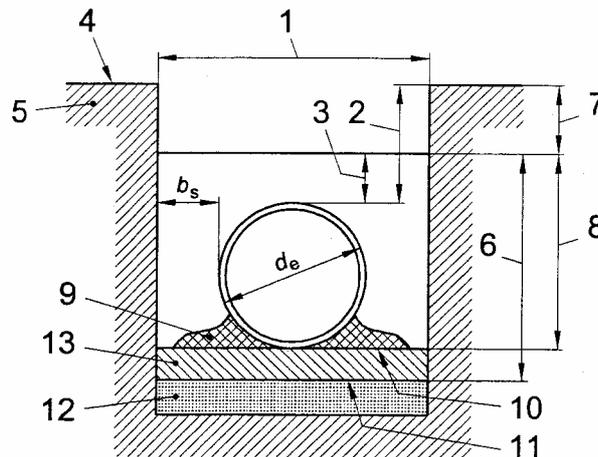
Quando nella presente norma si usa il termine "tubi", s'intende che esso comprende pure i raccordi, accessori e componenti.

Si veda la figura 1 a seguire per una illustrazione del significato e dei limiti dei termini usati nella presente norma sperimentale.

Sezione trasversale della trincea che indica la terminologia

Legenda

1	Larghezza della trincea, b	8	Zona del tubo
2	Altezza della copertura	9	Zona del fianco
3	Da 100 mm a 300 mm	10	Profilo della trincea
4	Superficie del suolo	11	Fondo della trincea
5	Terreno naturale	12	Fondazione, se richiesta
6	Incassatura	13	Letto di posa, se richiesto
7	Materiale da riempimento propriamente detto		

**TRASPORTO, MOVIMENTAZIONE E STOCCAGGIO NEL DEPOSITO ED IN SITO****Generalità**

I tubi in materia plastica possono essere forniti sotto forma di tubi dritti o in rotoli (sia avvolti liberamente che su tamburi).

Si richiama l'attenzione sulla necessità di considerare la sicurezza del personale durante il trasporto, la movimentazione e lo stoccaggio, specialmente in condizioni di tempo umido e freddo. Particolare attenzione dovrebbe essere esercitata quando si svolgono i tubi avvolti, perché si possono liberare considerevoli forze.

Informazioni ulteriori dovrebbero essere fornite nelle norme di sistema, se applicabili.

Trasporto

Si richiama l'attenzione sulla necessità di conformarsi ai regolamenti nazionali e/o locali sui trasporti.

Quando si trasportano i tubi, occorre utilizzare veicoli a pianale piatto o costruiti appositamente. Il pianale deve essere libero da chiodi o altre protuberanze.

Occorre anche assicurare i tubi efficacemente prima di trasportarli. Ogni sostegno laterale deve essere piano e senza bordi taglienti.

Quando si caricano tubi con bicchiere, si devono accatastare i tubi in maniera tale che i bicchieri non siano in contatto con i tubi adiacenti.

I tubi di diametro maggiore dovrebbero essere posti sul pianale del veicolo.

I tubi non dovrebbero sporgere dal veicolo per più di cinque volte la dimensione nominale DN, espressa in metri, o di 2 m, quale dei due è minore. Queste raccomandazioni possono non essere applicate quando sono trasportati fasci rigidi di tubi.

Quando i tubi e/o raccordi richiedono metodi di trasporto speciali, il fabbricante deve avvisare il cliente sui procedimenti da utilizzare.

Movimentazione

Quando si movimentano i tubi, bisogna assicurarsi di non danneggiarli.

I tubi di plastica possono essere danneggiati quando vengono a contatto con oggetti taglienti o se sono fatti cadere, gettati o trascinati sul suolo.

È preferibile usare brache o funi per trasportare i tubi. Sbarre, brache, ganci o catene di metallo possono danneggiare i tubi se usati in modo non corretto. Quando i tubi sono caricati o scaricati con sollevatori a forca, in quel caso devono essere usati sollevatori a forca con forche lisce. Ci si dovrebbe assicurare che le forche non percuotano i tubi quando sono sollevati.

La resistenza all'urto dei tubi di plastica è ridotta a temperature molto basse e in queste condizioni occorre prestare maggiore attenzione durante la movimentazione.

Stoccaggio

Sebbene i tubi in plastica siano leggeri, duraturi e resilienti, bisogna usare ragionevoli precauzioni durante lo stoccaggio.

I tubi o i rotoli vanno posati su superfici libere da oggetti taglienti, pietre o sporgenze. Per la massima altezza di stoccaggio, vedere la norma di riferimento.

Quando si stoccano i tubi in rastrelliere, occorre assicurarsi che ogni bicchiere giaccia alternativamente nella pila e sporga sufficientemente in modo che i tubi siano correttamente supportati.

Quando i tubi sono forniti in rotoli, vanno stoccati verticalmente o appoggiati uno sull'altro, assicurandosi di proteggere i tubi da temperature estreme. Per ulteriori informazioni vedere le relative norme.

Ogni rotolo di tubo di dimensioni nominali maggiori di DN 90 dovrebbe essere stoccato verticalmente. Per ulteriori informazioni vedere le relative norme.

Quando tubi dritti sono stoccati in rastrelliere, queste devono fornire un sufficiente supporto per prevenire deformazioni permanenti.

Non vanno posti tubi o guarnizioni di gomma in prossimità di combustibili, oli, grassi, vernici o sorgenti di calore.

Per il periodo massimo di stoccaggio raccomandato per i tubi al sole, vedere le norme di riferimento.

In condizione climatiche estreme possono essere necessari requisiti particolari di stoccaggio, perciò sono da seguire le indicazioni dei dati tecnici fornite dal fabbricante.

Se i tubi sono forniti in fasci o in altri imballaggi, i legami e/o l'imballaggio dovrebbero essere rimossi il più tardi possibile prima dell'installazione.

INSTALLAZIONE

Tubi in trincea

Comportamento dei tubi flessibili sotto carico

Il comportamento di un tubo quando è soggetto ad un carico dipende dal fatto che esso sia rigido o flessibile. I tubi di materia plastica sono flessibili. Quando caricato, un tubo flessibile deflette e spinge sul materiale circostante: ciò genera una reazione nel materiale circostante che controlla la deflessione del tubo. L'ammontare della deflessione che avviene è limitato dalla cura esercitata nella selezione e nella posa del letto di posa e dai materiali di riporto sui lati. Quindi i tubi flessibili fanno assegnamento per le loro proprietà di sopportare il carico sul letto di posa e sui materiali di riporto sui lati.

Nel caso di tubi rigidi, il carico sul tubo nasce principalmente dalla resistenza insita del materiale del tubo e, quando questo carico è maggiore di un valore limite, il tubo si rompe. Le norme per i tubi rigidi, quindi, usualmente includono la prova per determinare questo valore limite e per determinare così i carichi che possono essere consentiti sopra il tubo installato.

I tubi flessibili d'altro canto deflettono sotto carico e possono essere deflessi in alto grado senza frattura. Il livello della deflessione raggiunto dai tubi dipende dalle proprietà del materiale circostante e, molto meno, dalla rigidità anulare del tubo, ma non dalle sue proprietà di resistenza. Quindi per i tubi flessibili le prove per determinare la resistenza alla rottura e i procedimenti di progetto applicate ai tubi rigidi non sono appropriate.

Un tubo flessibile, quando è installato e interrato, si deflette. Questa viene definita "deflessione iniziale". Il tubo continua lentamente ad avere un incremento della deflessione, ma raggiunge un valore limite in un tempo ragionevole. L'uso dei procedimenti d'installazione dettagliati nella presente norma sperimentale minimizzerà i livelli di ambedue le deflessioni, iniziale e finale. Se la tubazione è in pressione, si avrà una riduzione della deflessione. Una descrizione dettagliata di questo comportamento viene data nell'appendice C della presente normativa.

Limiti della deflessione

Ci sono diversi metodi di progettazione strutturale che sono usati per stimare la deflessione di un tubo sotto carico ma, sebbene possano essere in ragionevole accordo, essi non danno esattamente le stesse risposte per una data condizione. I valori calcolati sono usualmente i valori medi della deflessione attesa.

Tubi costituiti da differenti materiali hanno diversi livelli di deflessione limite. Per la determinazione della massima deflessione iniziale permessa e, se appropriata, quella a lungo termine, vedere la norma di sistema corrispondente. Se questa norma sperimentale d'installazione viene seguita, ci si può aspettare che le deflessioni siano inferiori ai valori limite dati dalle corrispondenti norme di sistema.

Quando ci si aspetta che un prodotto compreso in una norma di sistema possa essere fornito con qualche deformazione (per esempio nei tubi forniti in rotoli), allora questa dovrebbe essere dichiarata. La deflessione media quindi deve essere considerata come in aggiunta a questa deformazione.

Considerazioni di progetto

Generalità

Se è essenziale determinare le condizioni del terreno che si collegano alla costruzione della trincea e all'installazione prima della costruzione, il suolo naturale ed il materiale di

riempimento devono essere classificati secondo l'appendice A. La classificazione deve essere usata per scegliere un'adatta rigidità anulare del tubo secondo le prescrizioni nel seguente paragrafo.

La classificazione indica anche aree di materiali adatti per il rinterro nella zona del tubo, cosicché l'importazione del materiale può essere minimizzata. I materiali naturali conformi al rinterro (trattato in seguito) ed ai gruppi 1, 2, 3 e 4 sono tutti adatti come materiale di riempimento nella zona del tubo. Se il materiale di riempimento deve essere importato, si suggerisce di usare materiali del gruppo 1 o 2.

Scelta della rigidità anulare del tubo

La scelta della rigidità anulare deve essere fatta usando i prospetti della presente norma sperimentale o sulla base di calcoli secondo la EN 1295-1: 1997 o basandosi sull'esperienza precedente.

Quando i calcoli mostrano una rigidità anulare minore di quella data nei prospetti 1 o 2, i tubi con questa rigidità anulare inferiore possono essere usati. Quando si intende usare i tubi in condizioni nelle quali essi, in precedenti esperienze, hanno mostrato di essere soddisfacenti, non è necessario verificare ciò con calcoli dettagliati, anche se la loro rigidità anulare è inferiore al valore appropriato fornito nel prospetto 1 o nel prospetto 2.

Se tale esperienza non è disponibile, allora la rigidità anulare minima deve essere selezionata nel prospetto 1 o nel prospetto 2. Questi prospetti sono stati preparati per coprire le seguenti condizioni:

- a) aree senza traffico con profondità di copertura tra 1 m e 3 m e tra 3 m e 6 m (vedere prospetto 1);
- b) aree con traffico con profondità di copertura tra 1 m e 3 m e tra 3 m e 6 m (vedere prospetto 2).

In assenza di esperienze precedenti, dove i tubi hanno una copertura minore di 1 m o più di 6 m la rigidità anulare e l'installazione devono essere progettate per mezzo del calcolo.

Dove la norma di sistema usa l'SDR, per i fini di classificazione invece della rigidità anulare si deve anche dare il valore di rigidità equivalente in una sua parte significativa.

Generalmente la scelta della rigidità del tubo dipende dal terreno naturale, dal materiale di rinterro nella zona del tubo e della sua compattazione, dall'altezza della copertura, dalle condizioni del carico e dalle proprietà limite dei tubi.

Per poter rendere possibile la scelta della rigidità anulare del tubo, il suolo naturale ed i materiali di rinterro sono stati classificati in sei gruppi principali come descritto nell'appendice A.

Sulla base del suolo naturale, dettagli sul rinterro e altezza di copertura, la rigidità anulare minima è selezionata dai prospetti 1 o 2. Usando un tubo con questa rigidità anulare installata in un'incassatura formata da un appropriato materiale di rinterro compattato allo specifico grado di compattazione, dovrebbe risultare una deflessione non maggiore dei valori limite dati nelle corrispondenti norme di sistema.

Quando un metodo comune di progettazione strutturale per tubi interrati (almeno uno per materiali plastici) è reso disponibile, i prospetti 1 e 2 verranno rivisti.

prospetto 1 **Rigidità anulare minima raccomandata per aree senza traffico**
Valori in newton per metro quadrato

Gruppo di materiale di rinterro ³⁾	Classe di compattazione ²⁾	Rigidità del tubo ¹⁾					
		Per spessore di ricopertura ≥ 1 m e ≤ 3 m					
		Gruppo di suolo naturale non disturbato ³⁾					
		1	2	3	4	5	6
1	W	1 250	1 250	2 000	2 000	4 000	5 000
	M	1 250	2 000	2 000	4 000	5 000	6 300
	N	2 000	2 000	2 000	4 000	8 000	10 000
2	W		2 000	2 000	4 000	5 000	5 000
	M		2 000	4 000	5 000	6 300	6 300
	N		4 000	6 300	8 000	8 000	**)
3	W			4 000	6 300	8 000	8 000
	M			6 300	8 000	10 000	**)
	N			**)	**)	**)	**)
4	W				6 300	8 000	8 000
	M				**)	**)	**)
	N				**)	**)	**)
		Per spessore di ricopertura >3 m e ≤ 6 m					
1	W	2 000	2 000	2 500	4 000	5 000	6 300
	M	2 000	4 000	4 000	5 000	6 300	8 000
2	W		4 000	4 000	5 000	8 000	8 000
	M		5 000	5 000	8 000	10 000	**)
3	W			6 300	8 000	10 000	**)
	M			**)	**)	**)	**)
4	W				**)	**)	**)
	M				**)	**)	**)

1) Rigidità anulare specifica, S , determinata secondo le norme di sistema pertinenti.
2) Vedere prospetto 5.
3) Vedere appendice A.
**) È necessario il progetto strutturale per determinare i dettagli della trincea e la rigidità anulare del tubo.
Nota 1 Se un tubo di una data rigidità anulare è destinato ad essere utilizzato in condizioni di carico più severe (quelle originariamente previste), ciò può essere ottenuto usando una classe superiore di installazione. È essenziale che questo sia verificato da un progetto strutturale.
Nota 2 Si richiama l'attenzione sulle limitazioni che possono applicarsi a causa della pressione negativa in servizio e dai requisiti di compattazione meccanica durante l'installazione per tubi con rigidità fino a SN 2500.
Nota 3 In caso di condizioni di carico combinato (come il carico del terreno più la pressione interna) dovrebbero essere prese speciali considerazioni e possibili precauzioni.

prospetto 2 **Rigidità anulare minima raccomandata per aree con traffico**
Valori in newton per metro quadrato

Gruppo di materiale di riinterro ³⁾	Classe di compattazione ²⁾	Rigidità del tubo ¹⁾					
		Per spessore di ricopertura ≥ 1 m e ≤ 3 m					
		Gruppo di suolo naturale non disturbato ³⁾					
		1	2	3	4	5	6
1	W	4 000	4 000	6 300	8 000	10 000	")
2	W		6 300	8 000	10 000	")	")
3	W			10 000	")	")	")
4	W				")	")	")
		Per spessore di ricopertura > 3 m e ≤ 6 m					
1	W	2 000	2 000	2 500	4 000	5 000	6 300
2	W		4 000	4 000	5 000	8 000	8 000
3	W			6 300	8 000	10 000	")
4	W				")	")	")

1) Rigidità anulare specifica, S , determinata secondo le norme di sistema pertinenti.
2) Vedere prospetto 5.
3) Vedere appendice A.
**) È necessario il progetto strutturale per determinare i dettagli della trincea e la rigidità anulare del tubo.
Nota 1 Se un tubo di una data rigidità anulare è destinato ad essere utilizzato in condizioni di carico più severe (quelle originariamente previste), ciò può essere ottenuto usando una classe superiore di installazione. È essenziale che questo sia verificato da un progetto strutturale.
Nota 2 Si richiama l'attenzione sulle limitazioni che possono applicarsi a causa della pressione negativa in servizio e dai requisiti di compattazione meccanica durante l'installazione per tubi con rigidità fino a SN 2500.
Nota 3 In caso di condizioni di carico combinato (come il carico del terreno più la pressione interna) devono essere prese speciali considerazioni e possibili precauzioni.

Tipi di installazione

I due più comuni metodi usati in pratica per l'installazione dei tubi sono: o l'incassatura attorno al tubo fatta con lo stesso materiale (vedere figura 2) o dividere l'incassatura con due materiali o gradi di consolidamento (vedere figura 3). L'uso di una tale divisione dell'incassatura si trova solo normalmente praticata con tubi di dimensione nominale maggiore di DN 600.

figura 2 Trincea con l'incassatura attorno al tubo omogenea

Legenda

- 1 Zona del tubo
- 2 Letto di posa

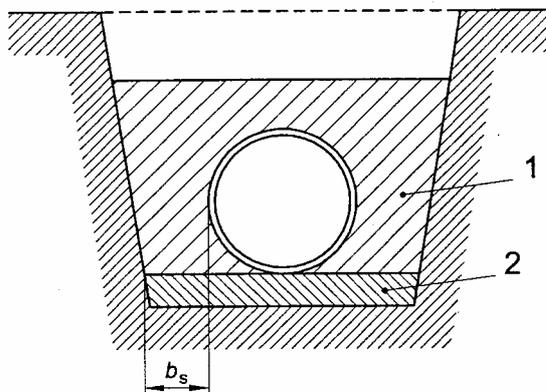
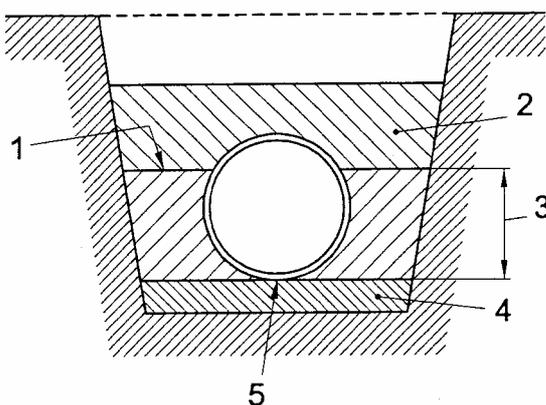


figura 3 Trincea con l'incassatura attorno al tubo divisa

Legenda

- 1 Livello di divisione
- 2 Zona di rinterro del tubo secondaria
- 3 Zona di rinterro del tubo primaria $0,5 d_e \leq \text{altezza} \leq 0,7 d_e$
- 4 Letto di posa
- 5 Arco rovescio



Se viene usata una incassatura divisa, è importante che il livello di divisione tra il materiale inferiore e superiore avvenga tra il 50% ed il 70% del diametro del tubo sopra il letto di posa (vedere figura 3): questo per prevenire la possibilità di generare alti sforzi/allungamenti al livello di divisione quando il tubo si deflette.

Per assicurare che la divisione dell'intorno provveda con lo stesso grado a supportare il tubo come l'intorno intero, devono essere applicate le seguenti regole:

- a) il materiale nella zona del tubo primaria (vedere figura 3) di una incassatura divisa deve essere almeno di un grado più rigido di quello richiesto nella zona del tubo con incassatura intera, dove il grado è una particolare combinazione del gruppo del materiale e della classe di compattazione, una variazione di un passo in ciascuno dei due comprende una variazione di grado. Così la variazione di un grado può essere raggiunta o aumentando la classe di compattazione o usando un gruppo di materiale più alto (vedere prospetto 5). Per esempio, se una applicazione usando una incassatura intera richiede materiale di rinterro di gruppo 2 moderatamente compattato, allora una incassatura divisa richiederà una buona compattazione di materiale del gruppo 2 o un materiale di gruppo 1 con una compattazione moderata;
- b) il materiale della zona del tubo secondaria (vedere figura 3) di un incassatura divisa può essere fino a due gradi meno rigido che quello del materiale della zona del tubo ad incassatura intera. Ma si deve aver cura che la massima differenza totale tra la zona del tubo primaria e secondaria non sia maggiore di due gradi. Questo può essere anche raggiunto variando il gruppo del materiale e/o la classe di compattazione. In ogni caso il terreno con minore rigidità permessa viene ottenuto usando un materiale non compattato del gruppo 4. Per esempio, nel caso descritto nel punto a) i requisiti dovrebbero essere soddisfatti nella zona del tubo secondaria usando materiale di gruppo 2 non compattato (un grado inferiore) o moderatamente compattato di gruppo 3 (anche un grado inferiore) o non compattato di gruppo 3 (tre gradi inferiore). L'ultima opzione non è permessa perché in questo caso la differenza massima di due gradi sarebbe superata.

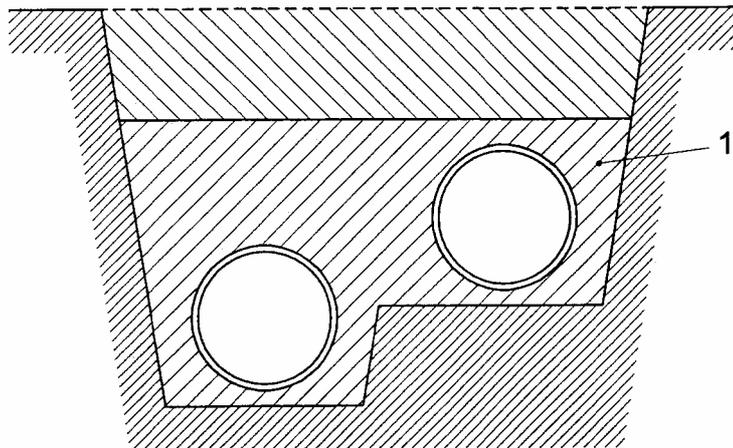
Sistemi di tubazioni paralleli

Sistemi di tubazioni paralleli posati assieme in una trincea comune devono essere separati in modo sufficiente da permettere ad un'eventuale attrezzatura di compattazione di compattare il materiale di ripieno nella zona del tubo tra i tubi. Una distanza maggiore di almeno 150 mm della larghezza del pezzo più largo dell'equipaggiamento di compattazione utilizzato è considerata sufficiente come distanza tra i tubi.

Il materiale di rinterro nella zona del tubo tra i tubi deve essere compattato alla stessa classe di compattazione come il materiale tra il tubo e le pareti della trincea.

Nel caso di sistemi di tubazioni paralleli posati in una trincea a scalini (vedere figura 4), il materiale di rinterro nella zona del tubo deve essere granulare e deve essere con classe di compattazione W.

figura 4 **Tubi paralleli in una trincea a scalini**
Legenda
1 Buona compattazione (classe W)



Costruzione della trincea

Sicurezza

Le operazioni in trincea sono eseguite in condizioni potenzialmente pericolose.

Dove necessario, occorre sostenere le pareti della trincea con puntelli, lastre, palizzate, sostegni o altri supporti per proteggere qualsiasi persona nella trincea. Vanno prese precauzioni per impedire che oggetti cadano nella trincea, o che essa collassi a causa della posizione o dei movimenti dei macchinari o attrezzature adiacenti, mentre la trincea è occupata.

Il materiale di scavo deve essere depositato ad una distanza non minore di 0,5 m dal bordo della trincea, e la prossimità e l'altezza dell'orlo dei detriti non dovrebbero mettere in pericolo la stabilità dello scavo.

Si richiama l'attenzione ai regolamenti di sicurezza locale e/o nazionale.

Larghezza della trincea

La larghezza della trincea dalla linea di mezzo del tubo non deve essere maggiore del necessario a provvedere spazio adeguato per collegare i tubi nella trincea e compattare il rinterro nella zona del tubo sui fianchi. Valori tipici per b_s (vedere figure 1 e 2) sono riportati nel prospetto 3.

Possono essere necessarie trincee larghe per installazioni che comprendono, per esempio, scavi relativamente profondi o terreni naturali instabili. Possono essere utilizzate trincee più strette quando il progetto del sistema lo permette o l'accesso alle persone non è richiesto.

prospetto 3 Valori tipici per b_s

Dimensioni nominali DN	b_s mm
DN ≤ 300	200
300 < DN ≤ 900	300
900 < DN ≤ 1 600	400
1 600 < DN ≤ 2 400	600
2 400 < DN ≤ 3 000	900

Profondità della trincea

Occorre determinare la profondità della trincea con il progetto della tubazione, i servizi previsti, le proprietà e dimensioni del tubo e condizioni locali come le proprietà del terreno e la combinazione dei carichi statici e dinamici.

In generale, la profondità di copertura sopra la generatrice superiore del tubo, per tubi che passano sotto aree con traffico, dovrebbe essere generalmente come minimo di 600 mm; tuttavia profondità inferiori possono essere utilizzate quando l'installazione è progettata per lo scopo. Durante la determinazione della profondità della trincea, dovrebbero essere incorporati spazi aggiuntivi adatti al letto di posa.

Bisogna assicurarsi che la profondità dello scavo sia sufficiente, per evitare che i fluidi convogliati siano interessati al gelo.

Dovrebbe essere prevista sufficiente copertura per prevenire galleggiamenti accidentali del tubo in aree con acque freatiche potenzialmente alte. Generalmente si raccomanda di non scavare le trincee molto prima del tempo della posa del tubo e di rinterrare al più presto dopo la posa del tubo. In condizioni di gelo può essere necessario proteggere il fondo della trincea affinché non siano lasciati strati gelati sotto il tubo.

Base della trincea

Profilo della trincea

La superficie livellata della trincea (vedere figura 1) deve essere continua, uniforme e libera da particelle più grandi di quelle specificate nel prospetto 4 secondo le dimensioni del tubo.

Scavi eccedenti

Quando si incontrano rocce, ciottoli o strati duri, occorre approfondire lo scavo del fondo della trincea. Sabbie mobili o terreni simili, terreni organici o terreni che mostrano variazioni di volume con la variazione del contenuto di umidità possono incontrarsi sul fondo della trincea. In tali casi l'ingegnere può specificare che siano fatti ulteriori scavi e sia prevista una zona di fondazione. Ogni situazione deve essere valutata, caso per caso, durante la costruzione, per determinare la profondità degli scavi eccedenti e il tipo di materiale da utilizzarsi nella fondazione.

Quando è eseguito uno scavo eccedente, inclusi quelli accidentali durante la costruzione, il materiale della zona di fondazione dev'essere lo stesso della zona primaria e deve essere compattato come classe W (vedere il paragrafo sul rinterro nelle pagine seguenti).

Va poi compattato il materiale di fondazione uniformemente secondo le prescrizioni riportate nel paragrafo sul rinterro nelle pagine seguenti.

Condizioni speciali

Quando si prevedono assestamenti del terreno (come, per es., quando il tubo passa attraverso una transizione del suolo), allora l'uso di geotessili, come illustrato nella figura 7, può fornire una soluzione. Tuttavia, quando sono anticipati movimenti del suolo in grande scala, questa soluzione può non essere efficace. In tali casi si raccomanda il parere di un esperto.

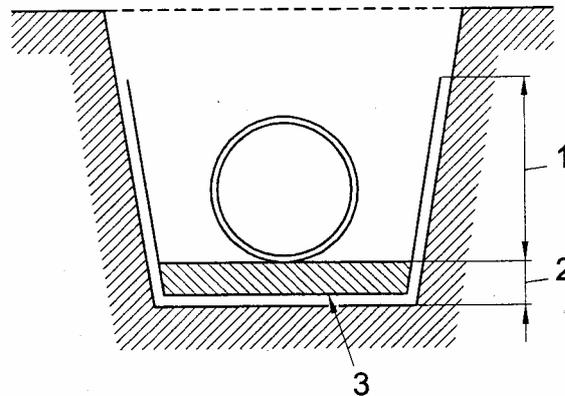
Tra le condizioni speciali che si possono incontrare durante la posa, ci sono vene d'acqua o acqua stazionaria sul fondo della trincea o il fondo della trincea che mostra tendenza all'instabilità. In questi casi occorre rimuovere l'acqua per mezzo di un pozzo filtrante o galleria filtrante fino a che il tubo non sia stato installato e la trincea interrata fino ad una altezza sufficiente a prevenire il galleggiamento della tubazione o il collasso della trincea. La gradazione del materiale di rinterro nella zona del tubo, letto di posa e fondazione deve essere tale che, in condizioni di saturazione, le particelle fini di quest'area non migrino nel terreno adiacente al fondo o nelle pareti della trincea e che il materiale del fondo o delle pareti della

trincea non migri in queste aree. Ogni migrazione o movimento di particelle del terreno da un'area all'altra può condurre alla perdita della necessaria fondazione o del supporto laterale del tubo o di ambedue. La migrazione dei materiali fini può essere prevenuta con l'uso di tessuti filtranti adatti, come illustrato nella figura 5.

figura 5 Protezione contro la migrazione del materiale

Legenda

- 1 \geq Zona del tubo
- 2 Letto di posa
- 3 Tessuto filtrante



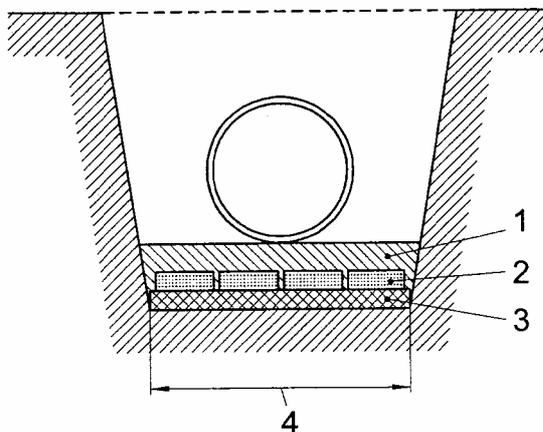
Se i tessuti filtranti sono saldati tra di loro, devono essere stesi con una sovrapposizione di almeno 0,3 m. Tessuti non saldati devono essere sovrapposti per almeno 0,5 m.

Quando il terreno è debole o soffice in modo tale che non è possibile per le persone lavorare in trincea in sicurezza, allora il rinforzo della trincea può essere necessario prima di sistemare il letto di posa. Il rinforzo del fondo della trincea può essere realizzato utilizzando un tavolato di legno (vedere figura 6), calcestruzzo rinforzato o geotessili. Se l'acqua di falda è adiacente al tavolato, sono raccomandati tavolati impregnati con appropriati preservanti (vedere la norma di riferimento).

figura 6 **Fondo della trincea rinforzata con tavolato di legno**

Legenda

- 1 Letto di posa
- 2 Tavolato di legno
- 3 Tavolato di connessione
- 4 Larghezza minima

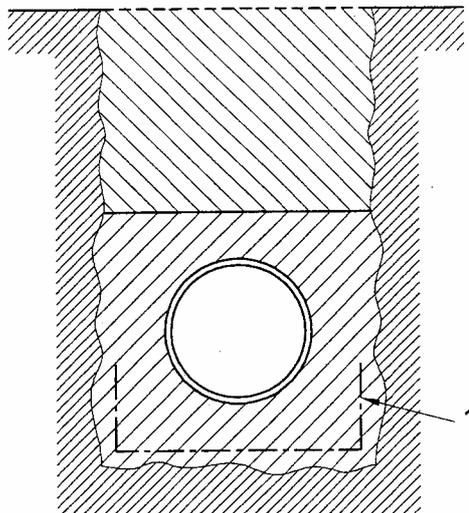


Usi tipici delle membrane geotessili sono illustrati nelle figure da 7 a 10.

figura 7 **Il geotessile riduce un assestamento irregolare nella zona di transizione del suolo**

Legenda

- 1 Geotessile



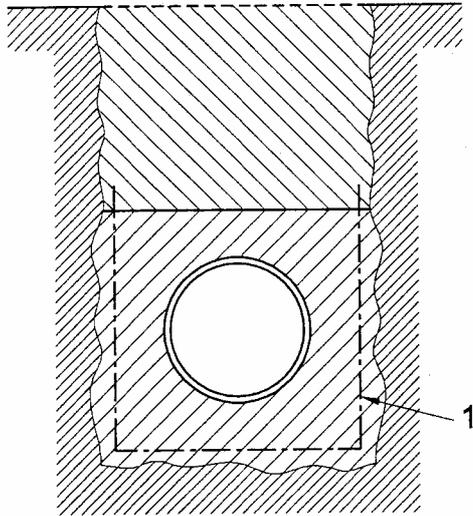
figura

8

Il geotessile forma un contenitore parziale del terreno e supporto

Legenda

1 Geotessile



figura

9

Il geotessile forma un blocco totale di terra di contenimento e supporto

Legenda

1 Geotessile

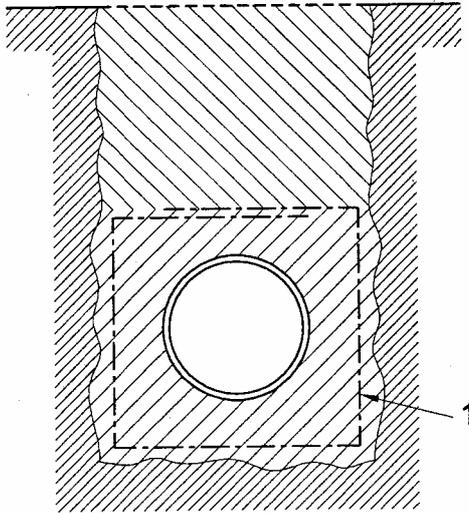
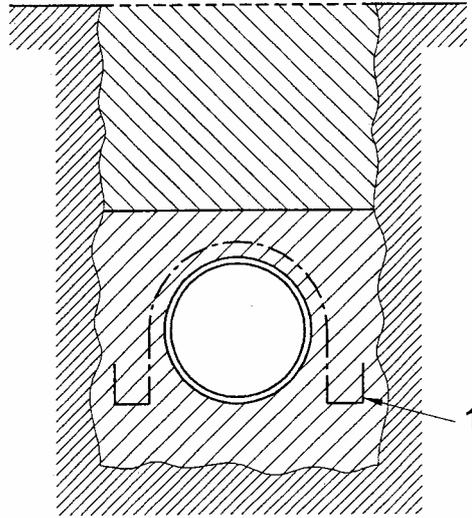


figura 10

Il geotessile agisce come un'ancora che previene il galleggiamento

Legenda

1 Geotessile



Se i tubi di convogliamento d'acqua o fognatura sono installati a basse profondità dove si prevede la penetrazione di gelo, si deve provvedere all'isolamento termico.

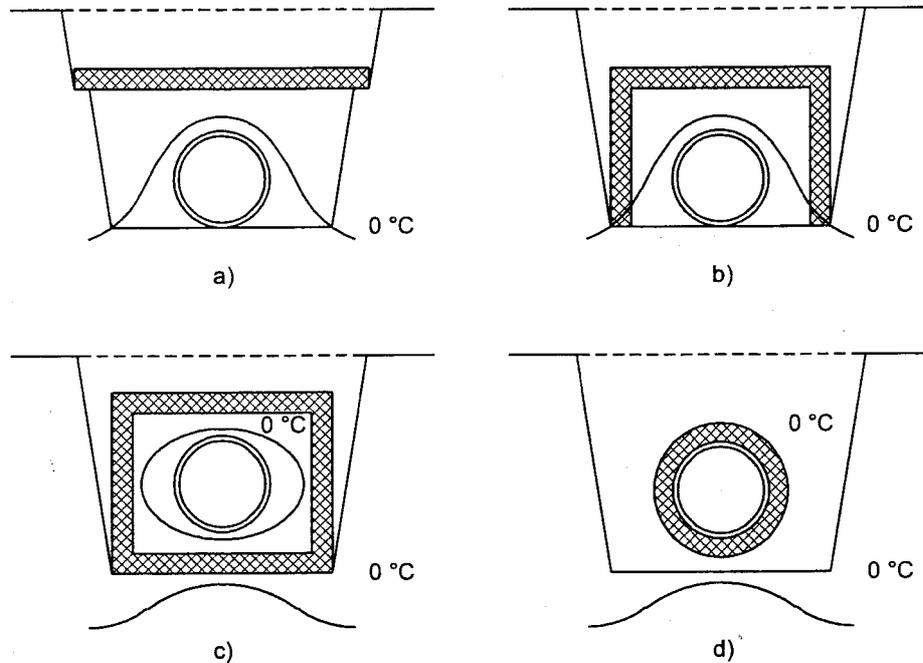
L'isolamento termico dovrebbe essere realizzato con pannelli di polistirolo espanso o con altro materiale isolante adatto a proteggere dalla penetrazione dell'umidità, posato in conformità alla figura 11.

La scelta dell'isolante secondo la figura 11 deve essere fatta tenendo conto della suscettibilità al gelo del terreno naturale e del materiale di rinterro.

Esempi di isolamenti termici di tubi interrati

Legenda

- a) Isolamento termico in terreni argillosi e limosi
- b) Isolamento termico in terreno granulare con possibilità di penetrazione profonda del gelo
- c) Isolamento termico in caso di trincee rocciose poco profonde
- d) Isolamento termico mediante l'uso di guscio di polistirolo espanso

Letto di posa

Un tubo richiede un supporto uniforme per tutta la sua lunghezza e questo è fornito dallo strato del letto di posa. Per fornire questo supporto uniforme, lo strato del letto di posa dovrebbe avere generalmente uno spessore da 100 mm a 150 mm e non essere minore di 50 mm.

Il materiale utilizzato dovrebbe essere granulare, come ghiaia, sabbia o roccia frantumata, ed essere conforme alle prescrizioni riportate nel paragrafo sul rinterro, nelle pagine seguenti.

Il materiale del letto di posa dovrebbe essere distribuito uniformemente su tutta la larghezza della trincea e livellato al gradiente della tubazione ma non compattato.

Su terreni uniformi, relativamente leggeri, finemente granulati, liberi da grandi sassi e altri oggetti pesanti, e dove il fondo può essere facilmente portato ad una finitura che fornisce un supporto uniforme per i tubi su tutta la sua lunghezza, può essere soddisfacente posare tubi con dimensioni nominali fino a DN 700 incluso, direttamente sul fondo assettato della trincea.

Preparazione delle giunzioni

Dove appropriato, per permettere un giusto assemblaggio delle giunzioni o per prevenire il pericolo che il peso del tubo si scarichi sulla giunzione, si provveda a fare uno scavo sotto la giunzione. Lo scavo della giunzione non deve essere più largo di quello necessario per la realizzazione di un corretto assemblaggio della giunzione. Quando la giunzione è stata realizzata, occorre riempire accuratamente e compattare lo scavo della giunzione con materiale per fornire un supporto continuo al tubo su tutta la sua lunghezza.

Installazione dei tubi, procedimenti e controllo

Movimentazione

Stoccare e movimentare il tubo in maniera tale da prevenire il danneggiamento del tubo. Ispezionare con cura ogni tubo, specialmente sulle superfici delle giunzioni per verificare eventuali danneggiamenti precedenti l'installazione. È anche consigliabile controllare il bloccaggio e la possibile contaminazione.

Posa

Posare il tubo nella trincea in maniera tale che esso sia sorretto uniformemente, sul letto di posa, su tutta la sua lunghezza. Provvedere tolleranze per i movimenti termici, particolarmente se la posa è fatta in condizioni climatiche estreme. Realizzare le giunzioni secondo le raccomandazioni del fabbricante.

Deflessione angolare

Durante l'installazione la direzione del tubo può essere variata sul giunto fino un angolo massimo di deflessione dichiarato dal fabbricante.

Quando cambiamenti di direzione sono fatti in questo modo, è essenziale sapere che la capacità della giunzione di tollerare movimenti del terreno è stata ridotta.

Alternativamente, fare variazione di direzione utilizzando raccordi o, se le proprietà dei materiali sono adatte, piegando a freddo secondo il paragrafo sulla curvatura a freddo, trattato nelle pagine seguenti.

Connessioni a strutture rigide

Quando una tubazione entra o esce da una struttura (come un edificio, un pozzetto o un blocco di ancoraggio), si devono fornire dei mezzi che tollerano assestamenti differenziali. Connessioni tipiche con strutture rigide vengono mostrate nelle figure da 12 a 15. Comunque, la loro applicabilità deve essere verificata rispetto alle regolamentazioni locali e/o nazionali. Quando il sistema di tubazione utilizza giunzioni flessibili, esse dovrebbero essere collocate come mostrato nella figura 12 o 13.

Alcuni materiali come il polietilene sono sufficientemente flessibili per tollerare tali movimenti e possono essere connessi come mostrato nella figura 14.

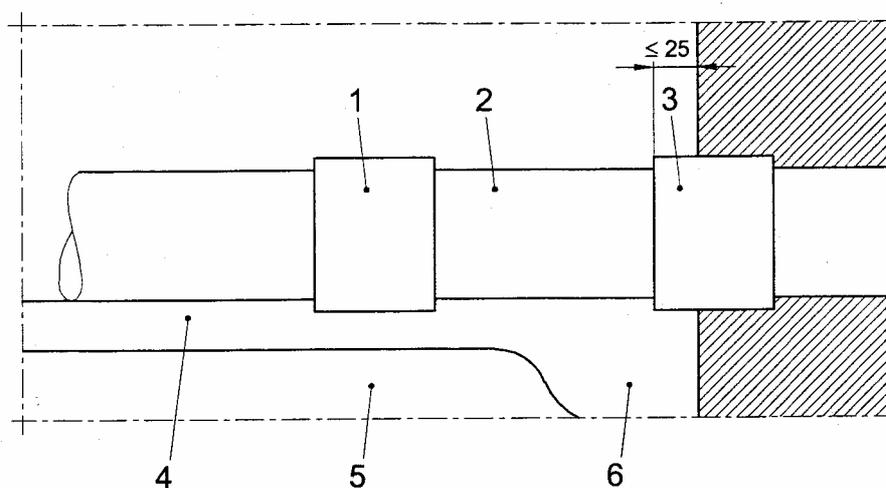
figura 12

Connessione di tipo 1

Legenda

- 1 Giunzione flessibile
- 2 Sezione corta del tubo: max. 2 m; min. 1 m
- 3 Giunzione flessibile nella struttura
- 4 Letto di posa del tubo
- 5 Terreno nativo
- 6 Materiale ben compattato

Dimensioni in mm

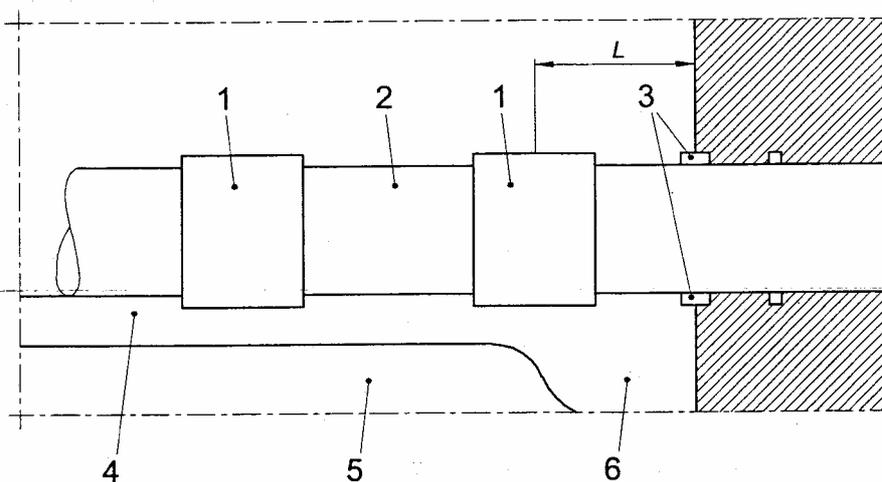


Quando si immerge un raccordo o un bicchiere nel calcestruzzo come mostrato nella figura 12, mantenere la sua rotondità cosicché futuri assemblaggi di giunzioni possano essere eseguiti facilmente.

Connessione di tipo 2

Legenda

- 1 Giunzione flessibile
- 2 Sezione corta del tubo: max. 2 m; min. 1 m
- 3 Gomma o bitume
- 4 Letto di posa del tubo
- 5 Terreno nativo
- 6 Materiale ben compattato



Per connessioni in accordo con la figura 13, porre il primo giunto flessibile entro una distanza L di 400 mm o 0,5 volte d_e , quale dei due è maggiore.

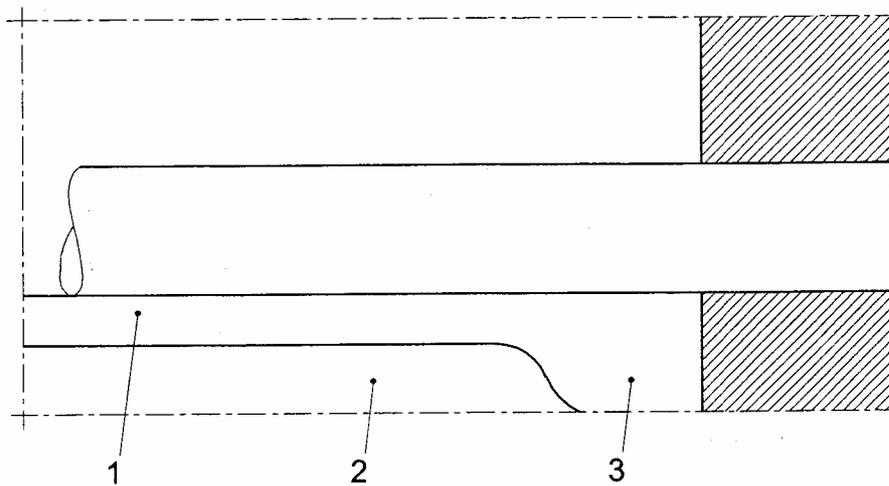
Un nastro di gomma o di bitume sull'interfaccia del calcestruzzo può fornire scarico per l'espansione, deformazione di taglio e/o carichi di flessione. Questo è particolarmente importante per limitare il taglio radiale e sforzi di discontinuità in un tubo in pressione.

Per minimizzare sforzi di taglio e di flessione, è particolarmente necessario un efficace supporto per i tubi che escono dalla struttura.

Connessione di tipo 3

Legenda

- 1 Letto di posa del tubo
- 2 Terreno nativo
- 3 Materiale ben compattato

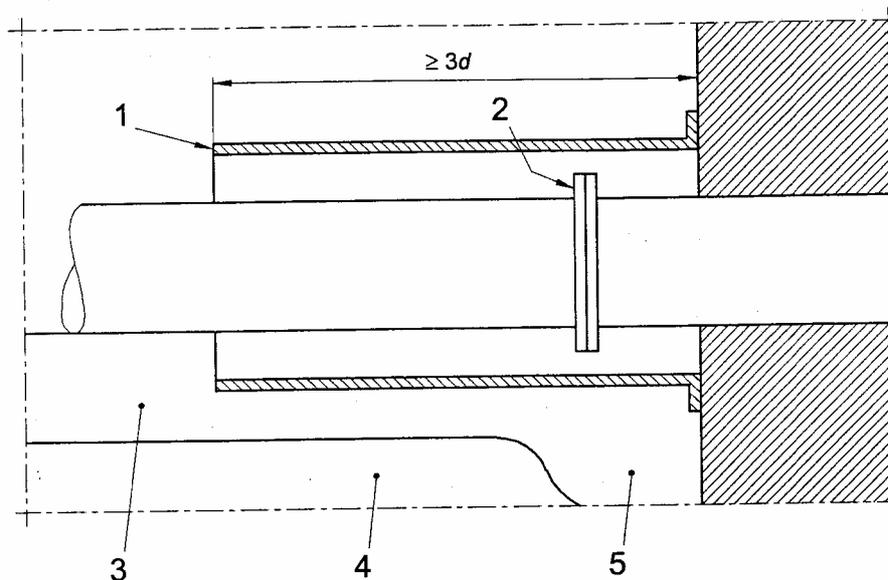


Per sistemi di tubazioni poco flessibili che utilizzano giunzioni rigide, un mezzo per la riduzione dei carichi di flessione e di taglio sul tubo, risultanti da differenze di adattamento del tubo e della struttura, è l'uso di un tubo di schermo (vedere figura 15).

Connessione di tipo 4

Legenda

- 1 Tubo di schermo
- 2 Giunto rigido
- 3 Letto di posa del tubo
- 4 Terreno nativo
- 5 Materiale ben compattato

*Rinterro***Generalità**

Per installazioni in accordo con la figura 2 o la figura 3, prospetto 1 o prospetto 2, come applicabile, il rinterro deve essere completato in accordo con le prescrizioni nei seguenti paragrafi sul rinterro.

Procedimento di base

Porre il materiale di rinterro della zona del tubo in strati da ogni parte del tubo e compattare secondo le prescrizioni nel paragrafo a seguire “Metodi di compattazione raccomandati” ad un grado e altezza specificato nel paragrafo seguente “Incassatura nella zona del tubo”, se non diversamente specificato nella specifica di progetto.

Assicurarsi di compattare il materiale sotto i fianchi del tubo.

La caduta libera di materiale di rinterro sulla generatrice del tubo dovrebbe essere tenuta al minimo.

Il rinterro sopra la zona del tubo dovrebbe essere steso in strati approssimativamente uniformi, se applicabile, e compattato secondo le indicazioni nel seguente paragrafo “Incassatura nella zona del tubo”.

Quando si prevede che l’acqua di falda possa fluire attraverso l’incassatura granulare, si dovrebbe considerare la possibilità di provvedere barriere come sbarramenti d’argilla.

Incassatura nella zona del tubo

L’incassatura è dipendente principalmente da: rigidità anulare, altezza della copertura e natura del terreno nativo.

Quando è utilizzato materiale importato per la zona primaria, si raccomanda che sia utilizzato un materiale granulare ben vagliato con dimensioni massime delle particelle conformi al prospetto 4. Quando è utilizzato materiale a singola pezzatura, si raccomanda che le dimensioni massime delle particelle siano di una grandezza minore di quelle fornite nel prospetto 4.

Il terreno nativo può essere utilizzato come materiale per la zona del tubo se esso è conforme a tutti i seguenti criteri:

- a) senza particelle maggiori dei limiti applicabili forniti nel prospetto 4;
- b) senza grumi maggiori di due volte il massimo delle dimensioni delle particelle fornite nel prospetto 4;
- c) senza materiale ghiacciato;
- d) senza detriti (per esempio asfalto, bottiglie, vasi, legni);
- e) quando è specificata la compattazione, il materiale deve essere compattabile.

prospetto 4

Dimensione massima delle particelle

Dimensione nominale DN	Dimensione massima mm
DN < 100	15
100 ≤ DN < 300	20
300 ≤ DN < 600	30
600 ≤ DN	40

Nota I valori sono quelli utilizzati nei descrittori di granulometria, per esempio 6/14, 8/12, ecc. È riconosciuto che in tali granulometrie possono esserci individuali con dimensioni maggiori dei descrittori.

Terreni finemente granulati con plasticità da medio ad alta e terreni organici (con classificazione di gruppo 5 o gruppo 6; vedere appendice A) sono generalmente considerati non adatti come materiale di rinterro per la zona primaria del tubo, a meno che il tubo e l'installazione non siano progettati per queste condizioni.

Le proprietà strutturali del materiale di ripieno nella zona del tubo sono primariamente dipendenti dal tipo di materiale e dal grado di compattazione raggiunto. Il grado di compattazione può essere utilizzato, variato utilizzando differenti tipi di attrezzature e variando il numero degli strati. Il prospetto 5 fornisce, per gruppi di materiale classificati in accordo con l'appendice A, il grado di compattazione espresso in densità di riferimento Proctor (SDP) per le tre classi di compattazione utilizzate nella presente norma sperimentale, cioè "W", "M" o "N". La densità Proctor è determinata secondo la DIN 18127, norma che non trattiamo in questa sede.

prospetto 5 **Densità Proctor di riferimento per classi di compattazione**

Classe di compattazione	Descrizione ^{*)}			Gruppo di materiale di rinterro (vedere appendice A)			
	Inglese	Francese	Tedesco	4 SPD %	3 SPD %	2 SPD %	1 SPD %
N	Not	Non	Nicht	da 75 a 80	da 79 a 85	da 84 a 89	da 90 a 94
M	Moderate	Modéré	Mäßig	da 81 a 89	da 86 a 92	da 90 a 95	da 95 a 97
W	Well	Soigné	Gut	da 90 a 95	da 93 a 96	da 96 a 100	da 98 a 100
*) Per informazione.							

Metodi di compattazione raccomandati

Il prospetto 6 fornisce gli spessori massimi raccomandati degli strati ed il numero di passi necessari per raggiungere le classi di compattazione per vari tipi di attrezzatura e materiali di rinterro nella zona del tubo. Include anche gli spessori minimi raccomandati di copertura necessaria sopra il tubo prima che corrispondenti pezzi di attrezzatura possano essere utilizzati sopra il tubo.

I dettagli forniti nel prospetto 6 sono una guida e, dove l'installazione è di una dimensione sufficiente, si raccomanda di fare prove utilizzando una varietà sulle combinazioni di cui sopra; così si seleziona in pratica la miglior soluzione a tal fine.

prospetto 6 **Spessori raccomandati degli strati e numero di passi per la compattazione**

Attrezzatura	Numeri di passi per classe di compattazione		Spessore massimo degli strati, in metri, dopo la compattazione per gruppo di terreno (vedere appendice A)				Spessore minimo sopra la generatrice superiore prima della compattazione
	Buono	Moderato	1	2	3	4	m
Piedi o mazza a mano min. 15 kg	3	1	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20
Mazza vibrante min. 70 kg	3	1	0,30	0,25	0,20	0,15	0,30
Vibratore piatto min. 50 kg	4	1	0,10	-	-	-	0,15
min. 100 kg	4	1	0,15	0,10	-	-	0,15
min. 200 kg	4	1	0,20	0,15	0,10	-	0,20
min. 400 kg	4	1	0,30	0,25	0,15	0,10	0,30
min. 600 kg	4	1	0,40	0,30	0,20	0,15	0,50
Rullo vibrante min. 15 kN/m	6	2	0,35	0,25	0,20	-	0,60
min. 30 kN/m	6	2	0,60	0,50	0,30	-	1,20
min. 45 kN/m	6	2	1,00	0,75	0,40	-	1,80
min. 65 kN/m	6	2	1,50	1,10	0,60	-	2,40
Rullo doppio vibrante min. 5 kN/m	6	2	0,15	0,10	-	-	0,20
min. 10 kN/m	6	2	0,25	0,20	0,15	-	0,45
min. 20 kN/m	6	2	0,35	0,30	0,20	-	0,60
min. 30 kN/m	6	2	0,50	0,40	0,30	-	0,85
Rullo triplo vibrante (senza vibrazione) min. 50 kN/m	6	2	0,25	0,20	0,20	-	1,00

Rinterro fuori cassatura

La rimanente parte del rinterro può essere fatta con materiale scavato con un massimo di dimensioni delle particelle fino a 300 mm, purché ci siano almeno 300 mm di copertura sopra il tubo. Se la compattazione è necessaria, il materiale deve essere adatto per la compattazione e si devono avere le particelle con un massimo delle dimensioni non maggiori di 1/3 dello spessore dello strato di compattazione.

Si richiama l'attenzione su tutte le regolamentazioni locali e/o nazionali pertinenti.

Nelle aree senza traffico si ritiene sufficiente utilizzare la classe di compattazione N (vedere prospetto 5); nelle aree con traffico deve essere utilizzata la classe di compattazione W (vedere prospetto 5).

Controllo della qualità della compattazione

La conformità alle assunzioni di progetto dovrebbe essere confermata con uno o più dei metodi seguenti:

- controllo continuo dei procedimenti di rinterro;
- verifica della deflessione iniziale del tubo installato;
- verifica in sito del grado di compattazione.

Dopo la riparazione e altri procedimenti di collegamento aggiuntivi, ci si dovrebbe accertare che quando si sostituisce il materiale di rinterro, sia di lato che sopra, esso abbia una densità approssimativamente uguale a quella immediatamente adiacente alle zone rimpiazzate.

Precauzioni particolari

Durante i procedimenti d'installazione occorre prendere precauzioni per evitare la flottazione del tubo. Evitare lo spostamento del tubo quando è posato il materiale sotto i fianchi.

Prendere precauzioni quando si rimuovono i pannelli, le coperture di sicurezza o altre protezioni della trincea, per evitare la distruzione del materiale compattato. Quando si rimuove la protezione, fare questo in stadi, mentre si procede al riempimento sui fianchi, con il minimo possibile di rottura dello strato laterale compattato. Assicurarsi di riempire i vuoti e ricompattare. Se la possibilità di inficiare la compattazione non può essere esclusa con un sufficiente grado di certezza, utilizzare un tubo progettato per tollerare queste incertezze di installazione.

In alcuni casi, quando si progettano le tubazioni per ridurre, per esempio, la densità nominale Proctor prevista, si rende necessario un tubo con rigidità anulare maggiore.

Nel processo di rinterro della trincea, proteggere il tubo da cadute di oggetti e dall'impatto diretto con le attrezzature per la compattazione o altre sorgenti di danneggiamento potenziale.

Quando il rinterro deve essere compattato fino alla superficie del suolo, non utilizzare attrezzature di compattazione direttamente sopra il tubo fino a che non sia stato posto sufficiente rinterro. Non utilizzare attrezzature a rullo o mazze vibranti per consolidare il rinterro finale, a meno che il loro uso non sia raccomandato dai fabbricanti dei tubi e delle attrezzature.

Assicurare almeno lo spessore minimo sopra la generatrice superiore del tubo fornito nel prospetto 6, o di un ammontare maggiore se raccomandato dai fabbricanti dei tubi e delle attrezzature, prima di utilizzare tale attrezzatura di consolidamento.

Sistemi di tubi paralleli che giacciono nella trincea comune devono essere posti sufficientemente distanti da permettere alle attrezzature di compattazione di compattare il materiale della zona del tubo tra i tubi.

Uno spazio non minore di 150 mm maggiore della larghezza del pezzo più largo dell'attrezzatura utilizzata per la compattazione può essere considerato una distanza sufficiente tra i tubi.

Compattare il materiale di rinterro nella zona del tubo tra i tubi con la stessa densità come il materiale tra il tubo e la parete della trincea.

Tecniche particolari d'installazione

Le proprietà particolari dei tubi in materia plastica hanno avuto come risultato un ampio sviluppo di attrezzature appropriate alla loro installazione che sfrutta le proprietà dei materiali. Tecniche tipiche che sono frequentemente utilizzate sono generalmente dette talpa aratrice o trivelle. Per elementi di dettaglio di queste tecniche vedere le rispettive norme di sistema, se applicabili.

Posa di tubi fuori terra

Determinazione dei supporti

Generalità

L'analisi generale degli sforzi e delle deflessioni per tubi supportati ad intervalli su selle o piedistalli, riempite o parzialmente riempite con liquido, è complicata e richiede tempo.

Per molte installazioni di tubo, gli sforzi assiali e le deflessioni possono però essere valutati separatamente con sufficiente accuratezza applicando la teoria normale delle travi.

La teoria della travi assume che la sezione trasversale del tubo non varia, e che il rapporto della distanza tra i supporti ed il diametro del tubo sia tale che le deformazioni di taglio possano essere trascurate. Per i limiti all'utilizzo della teoria, si dovrebbe consultare la relativa letteratura. Il progettista deve anche considerare l'importante differenza tra un tubo ed una trave ordinaria, cioè l'influenza della componente assiale del carico che agisce nella colonna liquida all'interno del tubo.

Il progettista di un sistema di tubazione fuori terra deve considerare le seguenti implicazioni di questa componente del carico:

- quando un componente in una tubazione in pressione ha una variazione di sezione trasversale o direzione, essa induce un certo carico risultante. Da qui componenti come curve, riduzioni o derivazioni devono essere ancorate o la tubazione deve essere progettata per sostenere tali carichi;

- ogni tubazione, se però accuratamente fatta e installata, ha minori variazioni nella sezione trasversale e involontarie deviazioni dall'allineamento. Anche queste deviazioni inducono carichi, come mostrato nel paragrafo precedente.

Mentre per le tubazioni interrato una resistenza adeguata è fornita dall'incassatura del tubo, tale resistenza non può essere fornita sui supporti delle tubazioni fuori terra.

Si deve esercitare molta attenzione per minimizzare tali deviazioni e si deve fornire alle componenti tutto il necessario supporto per assicurare la stabilità della tubazione;

- tutti i tubi supportati ad intervalli fuori terra deflettono a causa delle varie componenti del carico agenti sui tubi. Quando il liquido nel tubo è in pressione, la curvatura, determinata dalla deflessione, causa un carico di reazione. Questo è identico a quanto succede alle curve del tubo. Il carico di reazione generalmente si aggiunge agli altri carichi agenti sul tubo, aumentando gli sforzi assiali e le deflessioni. Questo implica che il carico assiale, agendo nella colonna liquida, deve essere trattato nella stessa maniera e aggiunto ai carichi agenti sullo stesso tubo quando sono analizzate le combinazioni di carichi assiali e laterali: cioè deve essere utilizzata la teoria della trave pressoinflessa.

Il significato di questo fenomeno è dipendente dal rapporto tra la somma dei carichi assiali, trasmessi al tubo e alla colonna liquida, e la forza assiale critica per il tubo considerato come trave. Anche le condizioni al contorno sono importanti.

Generalmente il carico assiale è più significativo per piccoli diametri che operano sotto pressione. Il diametro limite del tubo e la pressione critica per l'instabilità sono dipendenti dal materiale.

È importante essere consci del fatto che i materiali plastici hanno proprietà dipendenti dal tempo, cioè scorrimento plastico (creep). Per carichi assiali a lungo termine, causanti scorrimento plastico, il carico assiale è ovviamente ridotto.

L'analisi dei grandi sistemi di tubi fuori terra è spesso complicata. Per tali analisi sono stati sviluppati diversi programmi di calcolo, ma è incerto se tutti incorporano la teoria della trave

pressoinflessa. Procedure applicabili per analizzare semplici installazioni di tubazioni fuori terra sono presentate nell'appendice E della presente norma sperimentale. L'appendice E può essere utilizzata come guida per determinare se la teoria della trave pressoinflessa può essere applicata o meno.

Spaziatura tra i supporti

Assumendo che il modulo elastico longitudinale E e le dimensioni necessarie per calcolare il momento d'inerzia lineare siano disponibili nelle norme individuali di sistema o fornite dal fabbricante, le distanze tra i supporti devono essere tali che la deflessione della parte centrale, δ , non sia maggiore di $1/200$ della distanza tra i supporti. La deflessione massima deve essere calcolata secondo l'appendice E.

Il fabbricante del tubo deve assicurare che il movimento angolare massimo sulle giunzioni sia maggiore del movimento angolare calcolato utilizzando i procedimenti descritti nell'appendice E.

La rigidità anulare deve essere tale per assicurare che ci sia un fattore di sicurezza minimo di 2,5 per l'instabilità a causa della pressione interna negativa.

Tipi di supporti

Supporti continui

I supporti continui possono essere fatti con diversi materiali come calcestruzzo, acciaio o legno, purché siano sufficientemente robusti e comprendano una sella o una forma a V per contenere il tubo. Un esempio di tale supporto continuo è fornito nella figura 16.

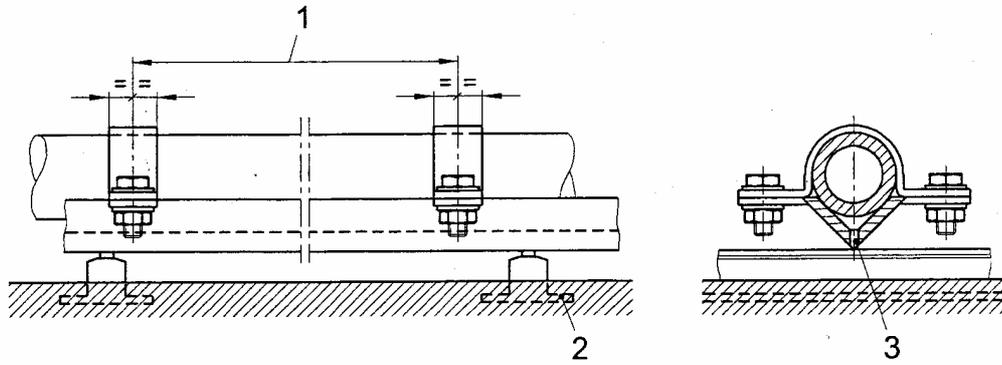
Il tubo deve essere fissato sul supporto per mezzo di graffe o morsetti che gli devono permettere di scorrere liberamente. Il supporto deve avere una superficie liscia per prevenire l'usura del tubo e, se applicabile, si deve fornire ulteriore solidità alle variazioni di direzione per resistere alla spinta.

figura 16

Tipico supporto continuo

Legenda

- 1 Indicazione di distanza
- 2 Ancoraggio
- 3 Scolo



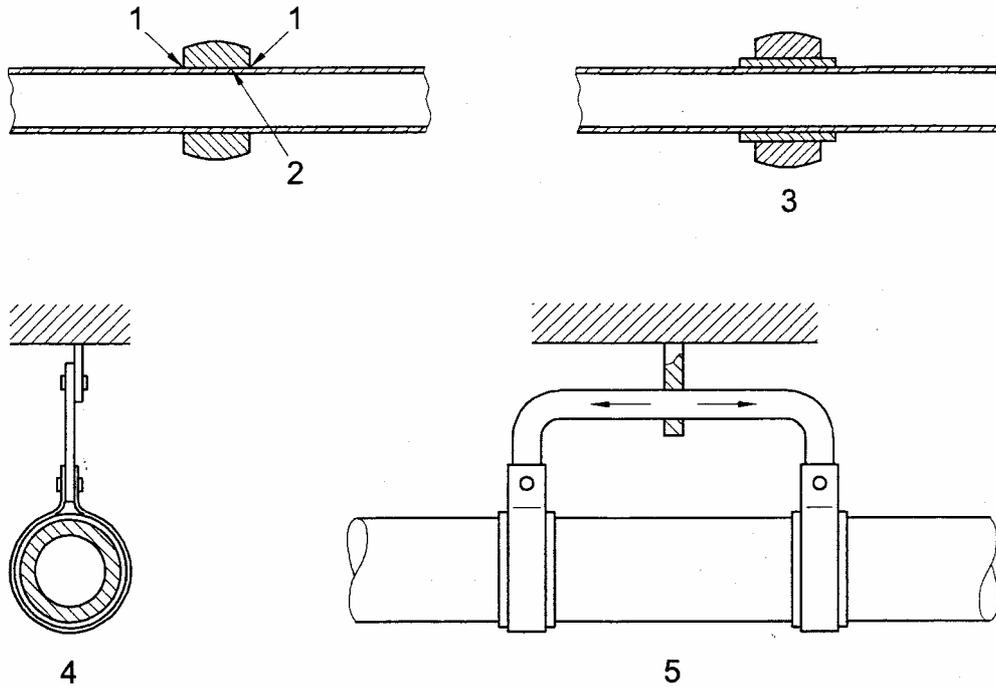
Supporti isolati

Possono essere utilizzati supporti isolati, esempi dei quali sono forniti nella figura 17. Devono essere presi provvedimenti per i movimenti.

figura 17 **Tipici supporti isolati**

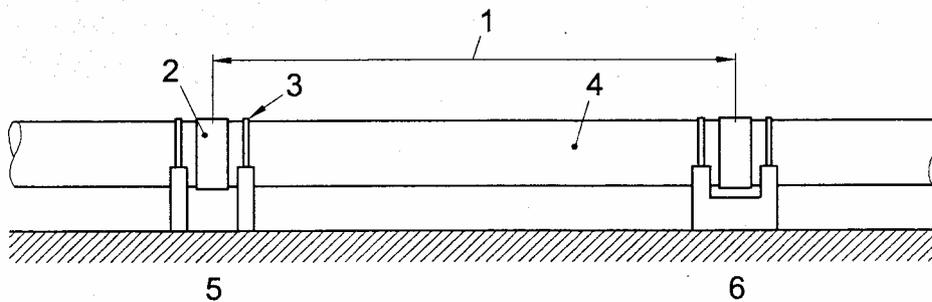
Legenda

- 1 Angolo arrotondato
- 2 Superficie liscia
- 3 È preferito il manicotto
- 4 Per piccole espansioni
- 5 Per grandi espansioni



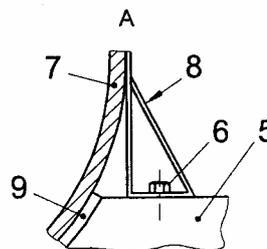
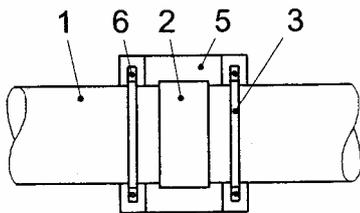
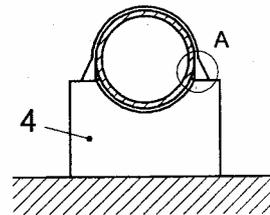
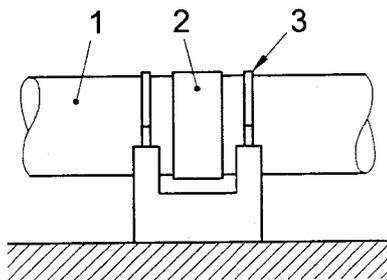
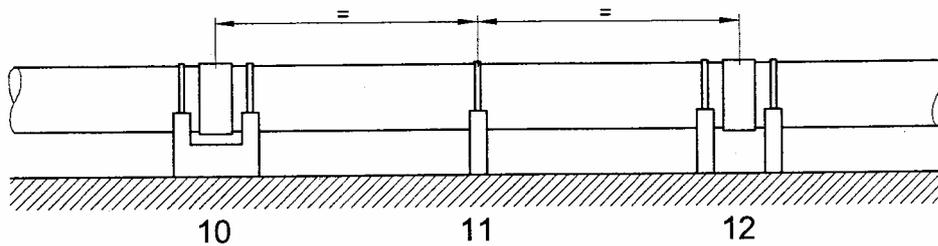
Legenda

- 1 Distanza
- 2 Giunto
- 3 Nastro
- 4 Tubo
- 5 Supporti individuali
- 6 Supporti appaiati



Legenda

- 1 Tubo
- 2 Giunzione
- 3 Nastri galvanizzati
- 4 Supporto
- 5 Sostegno di calcestruzzo
- 6 Dado
- 7 Parete del tubo
- 8 Ancoraggio a strappo
- 9 Materiale comprimibile
- 10 Supporti individuali o appaiati
- 11 Supporto singolo
- 12 Supporti individuali o appaiati



Determinazione dei supporti per i dispositivi di controllo

Tutti i dispositivi di controllo (come le valvole) devono essere supportati individualmente in modo che il tubo non sia soggetto a nessun carico aggiuntivo.

Considerazioni termiche

Si raccomanda che i sistemi di tubi in materia plastica e i sistemi di conduzione installati fuori terra siano progettati in modo tale che l'espansione termica o contrazione sia favorita; altrimenti occorre verificare che gli sforzi termici siano nell'interno dei limiti di progettazione dei rispettivi materiali.

Il coefficiente lineare di espansione termica, α_L , dei materiali plastici varia approssimativamente da $20 \cdot 10^{-6}$ per grado Celsius e $200 \cdot 10^{-6}$ per grado Celsius.

Il coefficiente lineare di espansione termica, α_L , è una proprietà del materiale. Per i valori applicabili, vedere le norme di sistema corrispondenti.

Informazioni dettagliate sulle considerazioni sulla espansione/contrazione termica sono fornite nell'appendice B della presente norma sperimentale.

Alcuni tubi di materia plastica non possono resistere alla solidificazione dei fluidi che essi contengono; in tali casi devono essere prese misure per drenare e/o isolare le sezioni che si prevede possano gelare.

I tubi di materia plastica devono essere posati ad una distanza adeguata da oggetti caldi, per evitare che il materiale sia danneggiato dal calore.

Una guida dovrebbe essere suggerita dal fabbricante dei tubi.

Esposizione al sole

Se così specificato nella norma di sistema, i tubi non devono essere installati in aree esposte alla luce diretta del sole.

METODI DI ASSEMBLAGGIO (GIUNZIONE)

Generalità

Una varietà di tecniche per la giunzione è disponibile per tubi di materia plastica che possono fornire giunti rigidi o flessibili.

I metodi utilizzati per assemblare la giunzione devono seguire i procedimenti raccomandati dal fabbricante.

Tutte le tecniche di giunzione richiedono personale qualificato per ottenere giunti soddisfacenti. Per l'applicabilità di ogni particolare sistema di giunzione, vedere la corrispondente norma di sistema.

I giunti sono divisi in due categorie come segue:

- *categoria A*: Giunti in grado di resistere agli sforzi di testa. *Esempio*: giunti a fusione, giunti meccanici, per esempio con flange;

- *categoria B*: Giunti non in grado di resistere agli sforzi di testa. *Esempio*: giunti con bicchieri e codoli con guarnizioni elastomeriche, alcuni tipi di giunti meccanici con guarnizione sigillante. Ambedue le categorie di giunti possono formare parte unica con bicchieri già forniti sul tubo stesso; in questo caso essi sono detti “giunti preformati”. Come alternativa, due giunti possono essere combinati al fine di avere un doppio bicchiere per accoppiare tubi con terminali lisci; in questo caso essi sono detti “accoppiatori”.

I giunti di categoria B non sono fatti per resistere alle spinte di testa che avvengono durante le variazioni di direzione o alle valvole. Conseguentemente il tubo o il raccordo dev'essere adeguatamente ancorato se sono utilizzati tali giunti.

Se si rendesse necessario in un certo momento smantellare il sistema di tubazione, la selezione del giunto dovrebbe tenere conto di questo fatto.

Giunti mediante l'utilizzo di una guarnizione elastomerica

La guarnizione può essere collocata nel bicchiere o sul codolo, come indicato nella figura 18. I dettagli della guarnizione e del giunto dipendono dal progetto del fabbricante. Le guarnizioni da utilizzare devono essere quelle fornite dal fabbricante per il proprio sistema di assemblaggio. Se la guarnizione non è al suo posto al momento della consegna, bisogna pulire l'incavo e quindi collocare la guarnizione correttamente.

Le guarnizioni devono essere conformi alla pertinente norma europea.

I giunti trattati dalla categoria B non sono adatti a sopportare sforzi di testa. Particolare attenzione deve essere fatta ad un corretto ancoraggio degli elementi.

L'assemblaggio di alcuni giunti richiede la loro lubrificazione prima della giunzione in accordo con le istruzioni del fabbricante. Va utilizzato un lubrificante, privo di effetti dannosi sul tubo, sul raccordo o sulla guarnizione. Se il tubo porta acqua destinata al consumo umano, il lubrificante deve essere conforme ai requisiti della norma di sistema pertinente.

Dopo la lubrificazione il codolo deve essere allineato e introdotto nel bicchiere facendo attenzione ad evitare ogni rischio di contaminazione. Il codolo deve essere inserito nel bicchiere fino al segno di riferimento, se presente.

Le guarnizioni che scivolano fuori dall'incavo e lo sporco al di sotto delle guarnizioni sono le più frequenti cause di perdita. Ambedue i problemi possono essere evitati con un corretto procedimento di giunzione.

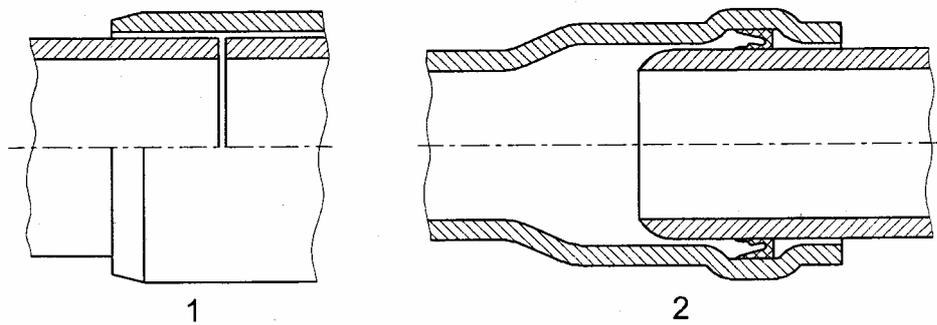
I tubi possono essere tagliati in sito, ma il taglio deve essere perpendicolare e le estremità smussate come è appropriato per il giunto.

figura 18

Giunti tipici flessibili

Legenda

- 1 Profilo continuo
- 2 Anello di gomma nel bicchiere



Giunti a compressione meccanica

Questi sono simili ai giunti automatici; la differenza maggiore è che l'anello elastomerico è compresso mediante un sistema esterno di serraggio. Esempi di questi giunti sono mostrati nelle figure 19 e 20. I giunti a compressione meccanica sono utili per collegare tubi di differenti materiali, utilizzando adattatori, se necessario.

Si dovrebbe fare attenzione a non comprimere troppo la guarnizione che è in contatto con il tubo di plastica, altrimenti c'è il rischio che il tubo si deformi e la tenuta del giunto sia indebolita. Per alcuni tubi può essere utilizzato un manicotto interno rigido per aumentare la loro rigidità.

figura 19 **Giunti a compressione tipici per grandi diametri**

Legenda

- 1 Tubo
- 2 Profilo della gomma
- 3 Custodia di acciaio
- 4 Dado
- 5 Giunto
- 6 Guarnizione

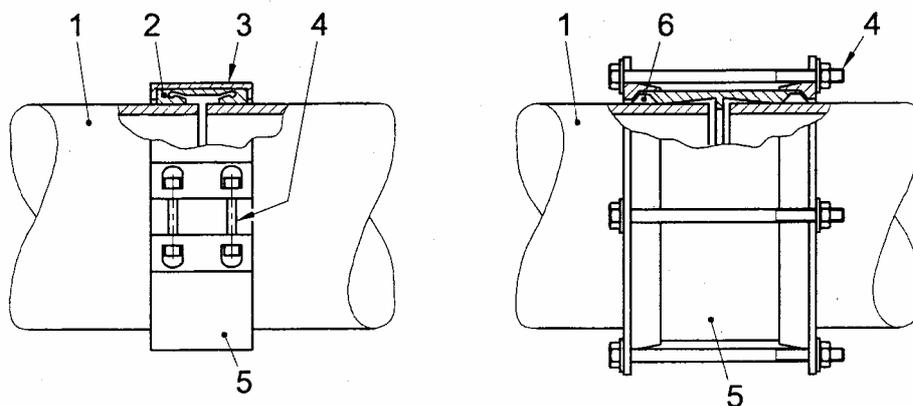
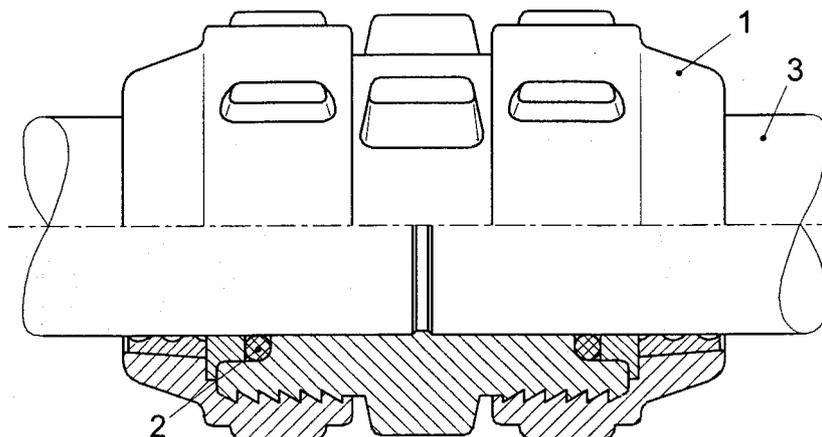


figura 20 **Giunti a compressione tipici**

Legenda

- 1 Raccordo a compressione
- 2 Anello a compressione
- 3 Tubo di materia plastica



Altri giunti e metodi di giunzione

Altri giunti ed esempi di metodi di giunzione sono forniti nell'appendice D. Questi non sono generalmente utilizzati per tutti i sistemi di tubazioni in materia plastica; per la loro applicabilità vedere le norme di sistema pertinenti.

CURVE

Curvatura a freddo

I tubi di materia termoplastica hanno un grado di flessibilità e possono seguire le ondulazioni del terreno. I raggi di curvatura permessi variano con il diametro del tubo e del tipo di materiale. Quando un materiale è adatto ad essere curvato a freddo in sito per fare una variazione di direzione, vedere la norma di sistema applicabile per i raggi di curvatura raccomandati per le varie dimensioni dei tubi.

Curvatura a caldo

Con la maggior parte dei tubi termoplastici si possono fare delle curve utilizzando le proprietà termoplastiche del materiale. Però questa è una operazione specializzata e deve essere fatta solamente all'interno della fabbrica di produzione del tubo.

ISPEZIONI E PROVE

Ispezioni

Ispezione al ricevimento

I tubi dovrebbero essere ispezionati dagli acquirenti o dai loro rappresentanti al momento della spedizione.

Le marcature sui tubi devono essere controllate per assicurarsi che essi corrispondano con i dettagli specificati nel progetto.

I tubi danneggiati devono essere isolati sia per rettificazione sia per la loro restituzione al fornitore, se applicabile.

Ispezione in sito

La marcatura sui componenti deve essere controllata durante e/o dopo l'installazione per assicurarsi che ci sia corrispondenza con i dettagli specificati per l'installazione.

Prove

Prove di pressione

Prima di eseguire una prova di pressione, fare un controllo per assicurarsi che la tubazione nel suo complesso e in particolare le curve, i supporti reggispinta, e altri raccordi siano stati progettati per resistere alle forze esercitate dalla pressione di prova.

Eeguire la prova di pressione in accordo con la(e) norma(e) europea(e) pertinente(i).

Per la velocità di perdita d'acqua permessa e/o pressione, la quale deve tenere in considerazione il comportamento del (i) tubo(i) di plastica sotto pressione interna, vedere le norme di sistema pertinenti.

Flessione ammessa

Il lavoro di posa del tubo può essere controllato, particolarmente rispetto alla compattazione e all'uso del corretto materiale del letto di posa, misurando la deflessione verticale.

Le deflessioni massime permesse sono dipendenti dal materiale e, se applicabile, dai valori limite specificati nelle norme di sistema pertinenti.

La deflessione del tubo non deve essere maggiore del livello ammesso fornito nella(e) norma(e) di sistema pertinente(i).

Nel caso in cui uno o più tubi siano maggiori del limite, dovrebbe essere fornita la dovuta considerazione per le azioni necessarie.

APPENDICE A (normativa): **CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI**

Nella presente norma sperimentale sono considerati tre tipi di terreno: granulare, coesivo, organico. Ognuno di questi tipi presenta sottogruppi, i quali per il materiale granulare sono basati sulla dimensione delle particelle e la granulazione, mentre per il materiale coesivo sono basati sul livello di plasticità. Il prospetto A.1 mostra i criteri e l'adattabilità per l'utilizzo come materiale di rinterro.

Gruppi di terreno

Gruppo di terreno	Tipo di terreno					Da utilizzarsi come terreno di rinterro
	#	Nome tipico	Simbolo	Tratti caratteristici	Esempio/i	
Granulare	1	Ghiaia a singola pezzatura	(GE) [GU]	Linea di granulazione stretta, predominanza di una zona a singola pezzatura	Roccia frantumata, ghiaia di fiume o di costa, ghiaia morenica, ceneri vulcaniche	Si
		Ghiaia ben vagliata, mescole di ghiaia e sabbia	[GW]	Linea di granulazione continua, pezzatura a più zone		
		Mescole di ghiaia e sabbia poco vagliata	(GI) [GP]	Linea di granulazione a scalini, una o più zone di pezzatura assenti		
	2	Sabbia di unica dimensione	(SE) [SU]	Linea di granulazione stretta, predominanza di una zona a singola pezzatura	Sabbia da dune e depositi alluvionali, sabbia di vallata, sabbia di bacino	Si
		Ghiaia ben vagliata, mescole di ghiaia e sabbia	[SW]	Linea di granulazione continua, pezzatura a più zone		
		Mescole di ghiaia e sabbia poco vagliata	(SI) [SP]	Linea di granulazione a scalini, una o più zone di pezzatura assenti		
Granulare	3	Ghiaia con limo, mescole poco vagliate di limo, ghiaia e sabbia	[GM] (GU)	Linea di granulazione larga/intermittente con limo finemente granulato	Ghiaia degradata, detriti da riporto, ghiaia con argilla	Si
		Ghiaia con argilla, miscele poco vagliate di ghiaia, limo e sabbia	[GC] (GT)	Linea di granulazione larga/intermittente con argilla finemente granulata		
		Sabbia con limo, mescole poco vagliate di sabbia e limo	[SM] (SU)	Linea di granulazione larga/intermittente con argilla finemente granulata	Sabbia liquida, terriccio, sabbia loess	
		Sabbia con argilla, miscele poco vagliate di sabbia e limo	[SC] (ST)	Linea di granulazione larga/intermittente con argilla finemente granulata	Sabbia con terriccio, argilla alluvionale, marna alluvionale	
Coesivo	4	Limo inorganico, sabbia molto fine, farina di roccia, sabbia fine con limo o argilla	[ML] (UL)	Poca stabilità, reazione rapida, da poca a niente plasticità	Loess, terriccio	Si
		Argilla inorganica, argilla particolarmente plastica	[CL] (TA) (TL) (TM)	Da media a molto alta stabilità, da bassa a nulla reazione, da bassa a media plasticità	Marna alluvionale, argilla	

Gruppo di terreno	Tipo di terreno					Da utilizzarsi come terreno di rinterro
	#	Nome tipico	Simbolo	Tratti caratteristici	Esempio/i	
Organico	5	Terreno granulato misto con mescole di humus e calcare	[OK]	Mescole di vegetali e non vegetali, odore di putrefatto, basso peso, molta porosità	Strato superficiale, sabbia calcarea, sabbia da tufo	No
		Limo organico e limo organico argilloso	[OL] (OU)	Stabilità media, reazione da lenta a molto veloce, plasticità da bassa a media	Calcare marino, terreno superficiale	
		Argilla organica, argilla con mescole organiche	[OH] (OT)	Alta stabilità, senza reazione, plasticità da media ad alta	Fango, terriccio	
	6	Torba, altri terreni altamente organici	[Pt] (HN) (HZ)	Torba decomposta, fibre, colore da marrone a nero	Torba	No
		Fanghi	[F]	Fanghiglie depositate sotto acqua spesso con dispersione di sabbia/argilla/calcare, molto leggere	Fanghi	
Nota I simboli utilizzati provengono da due fonti. Quelli tra parentesi quadre [...] dalla norma inglese BS 5930. Quelli tra parentesi tonde (...) dalla norma tedesca DIN 18196.						

Quando un terreno è una miscela di tipi, allora qualunque sia il tipo dominante presente, esso può essere utilizzato per la classificazione.

Frequentemente è indicata per il terreno la densità o il grado di consolidamento. Questo può essere sotto forma di parole o numeri. Il prospetto A.2 fornisce una relazione approssimata tra le varie descrizioni utilizzate.

prospetto A.2 **Terminologia delle classi di consolidamento**

Descrizione	Grado di consolidamento			
	Proctor standard ¹⁾	≤80	da 81 a 90	da 91 a 94
Conto dei colpi	da 0 a 10	da 11 a 30	da 31 a 50	>50
Gradi di consolidamento attesi ottenuti dalle classi di compattazione nella presente norma sperimentale	NO (N)			
	MODERATO (M)			
	BUONO (W)			
Terreno granulare	sciolto	mediamente denso	denso	molto denso
Terreno coesivo e organico	morbido	fermo	rigido	duro
1)	Determinato in conformità alla DIN 18127.			
Nota	Il prospetto A.2 intende essere un aiuto per l'interpretazione delle descrizioni utilizzate in varie fonti nei termini utilizzati per gradi di consolidamento nella presente norma sperimentale.			

Dove non sono disponibili informazioni dettagliate del terreno nativo non disturbato, generalmente si assume che esso abbia un consolidamento equivalente tra il 91 % ed il 97% della Densità Proctor Standard (SPD).

APPENDICE B (normativa): CONSIDERAZIONI TERMICHE NELLA POSA DI TUBI FUORI TERRA

Generalità

Le variazioni in lunghezza, Δl , devono essere calcolate (in millimetri) utilizzando l'equazione seguente:

$$\Delta l = \alpha_L \times L \times \Delta T$$

dove:

α_L è il coefficiente di espansione termica lineare (x 10⁻⁶ per grado Celsius);

L è la lunghezza iniziale, in millimetri;

ΔT è la differenza di temperatura, in gradi Celsius.

Nel nostro caso, avendo a che fare con tubazioni in materiali plastici, il coefficiente di espansione termica lineare è elevato, soprattutto per il polietilene: lo vediamo dai dati evidenziati nella tabella seguente:

<i>materiale</i>		α_L ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	<i>punto di fusione</i> ($^{\circ}\text{C}$)
Acciaio al carbonio	0,000012	$1,2 \times 10^{-5}$	1450-1530
Acciaio inox	0,000017	$1,7 \times 10^{-5}$	-
Alluminio	0,000024	$2,4 \times 10^{-5}$	658,7
Alluminio leghe	0,000023	$2,3 \times 10^{-5}$	550-650
Antimonio	0,000011	$1,1 \times 10^{-5}$	630
Argento	0,000019	$1,9 \times 10^{-5}$	960,5
Bismuto	0,000013	$1,3 \times 10^{-5}$	271
Bronzo (7,9%)	0,000018	$1,8 \times 10^{-5}$	900
Bronzo (14%)	0,000018	$1,8 \times 10^{-5}$	900
Bronzo fosforoso	0,000018	$1,8 \times 10^{-5}$	900
Cadmio	0,000031	$3,1 \times 10^{-5}$	231
Cobalto	0,000018	$1,8 \times 10^{-5}$	1490
Conglomerato cementizio	0,000012	$1,2 \times 10^{-5}$	-
Cromo	0,000008	$0,8 \times 10^{-5}$	1510
Ferro	0,000012	$1,2 \times 10^{-5}$	1450-1530
Ghisa comune	0,000011	$1,1 \times 10^{-5}$	1160-1300
Granito	0,000009	$0,9 \times 10^{-5}$	-
Legname fibra dolce	0,000004	$0,4 \times 10^{-5}$	-
Legname forte	0,000058	$5,8 \times 10^{-5}$	-
Magnesio	0,000022	$2,2 \times 10^{-5}$	650
Marmi	0,000007	$0,7 \times 10^{-5}$	-
Mattoni	0,000006	$0,6 \times 10^{-5}$	-
Mercurio	0,000181	$18,1 \times 10^{-5}$	-38,9
Molibdeno	0,000005	$0,5 \times 10^{-5}$	2500
Nichel	0,000013	$1,3 \times 10^{-5}$	1452
Oro	0,000015	$1,5 \times 10^{-5}$	1064
Ottone	0,000019	$1,9 \times 10^{-5}$	900
Piombo	0,000029	$2,9 \times 10^{-5}$	327,4
Platino	0,000009	$0,9 \times 10^{-5}$	1755
<u>Polietilene AD</u>	<u>0,00020</u>	<u>20×10^{-5}</u>	-
<u>Polietilene BD</u>	<u>0,00020</u>	<u>20×10^{-5}</u>	-
Polipropilene	0,00012	12×10^{-5}	-
<u>PVC</u>	<u>0,00007</u>	<u>7×10^{-5}</u>	-
Rame	0,000017	$1,7 \times 10^{-5}$	1083
Silicio	0,000008	$0,8 \times 10^{-5}$	1460
Stagno	0,000027	$2,7 \times 10^{-5}$	232

Tungsteno	0,000005	$0,5 \times 10^{-5}$	-
Vetro	0,000008	$0,8 \times 10^{-5}$	-
Vetro Pyrex	0,000003	$0,3 \times 10^{-5}$	-
Vetro temperato	0,000009	$0,9 \times 10^{-5}$	-
Volframio	0,000005	$0,5 \times 10^{-5}$	3000
Zinco	0,000031	$3,1 \times 10^{-5}$	419,4

Se consideriamo un tubo in PVC lungo 6 m e una variazione di temperatura di +1 °C, possiamo stimare l'allungamento del tubo dovuto a tale incremento di temperatura:

$$\Delta l = 7 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 1 = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ m,}$$

cioè 0,42 mm.

Se avessimo preso in considerazione lo stesso tubo, ma in PEAD, la dilatazione sarebbe stata di 1,2 mm (cioè circa tre volte maggiore), mentre, se avessimo considerato lo stesso tubo, però in PRFV, tale allungamento risulterebbe di 0,18 mm (molto inferiore, dato che il coefficiente di dilatazione longitudinale del PRFV è di $3 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Nei casi in cui la variazione di lunghezza a causa della espansione/contrazione è impedita dalla costruzione, la forza di reazione, F_T , in Newton, sul supporto fisso è calcolata come segue:

$$F_T = \pi \times d_e \times e \times E_x \times \alpha_L \times \Delta T$$

dove:

d_e è il diametro esterno del tubo, in millimetri;

e è lo spessore della parete del tubo, in millimetri;

E_x è il modulo elastico del materiale del tubo nella direzione longitudinale, in Newton per millimetro quadrato.

Nel nostro caso, se consideriamo ad esempio un tubo in PEAD con un diametro esterno di 500 mm, PN 10, un SDR di 17, una variazione di temperatura di +1 °C e un modulo di elasticità longitudinale di 10 N/mm², possiamo stimare la forza di reazione F_T servendoci della precedente formula come segue:

$$F_T = \pi \cdot 500 \cdot (500/17) \cdot 10 \cdot 20 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 92,4 \text{ N.}$$

Allo stesso modo, se prendiamo in considerazione un tubo in PVC di diametro esterno 500 mm, PN 10, un SDR di 20, un innalzamento della temperatura di 1 °C e un modulo di elasticità longitudinale di 30 N/mm², la stima della forza di reazione risulta:

$$F_T = \pi \cdot 500 \cdot (500/20) \cdot 30 \cdot 7 \cdot 10^{-5} \cdot 1 = 82,5 \text{ N.}$$

Infine, considerando un tubo in PRFV, di diametro esterno di 500 mm, PN 10, SDR di 50, con un innalzamento della temperatura di 1 °C e un modulo di elasticità longitudinale di 23 N/mm², otteniamo:

$$F_T = \pi * 500 * (500/50) * 23 * 3 * 10^{-5} * 1 = 10,8 \text{ N.}$$

In quest'ultimo caso la forza di reazione è molto bassa perché, avendo un SDR elevato rispetto a quello degli altri tubi presi ad esempio, lo spessore della tubazione in PRFV è notevolmente inferiore rispetto a quelle in PVC e PEAD.

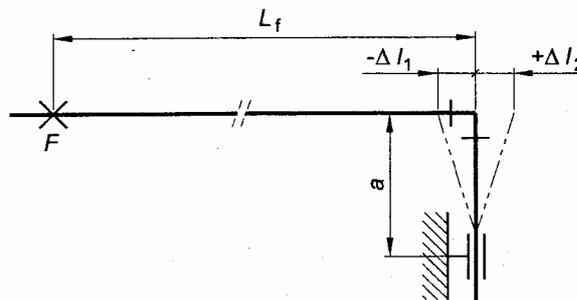
La figura B.1 illustra le possibili reazioni dei tubi in materia plastica a causa della espansione termica (+ Δl_2) o contrazione (- Δl_1).

figura B.1 **Espansione o contrazione termica**

Legenda

× È il punto fisso

|| È una guida assiale

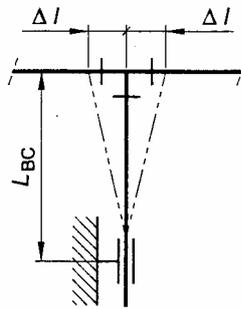


La figura B.2 illustra la lunghezza, L_{BC} , cioè la parte di compensazione del gambo di un tubo di derivazione.

figura B.2 Compensazioni di variazioni di lunghezza

Legenda

|| È una guida assiale



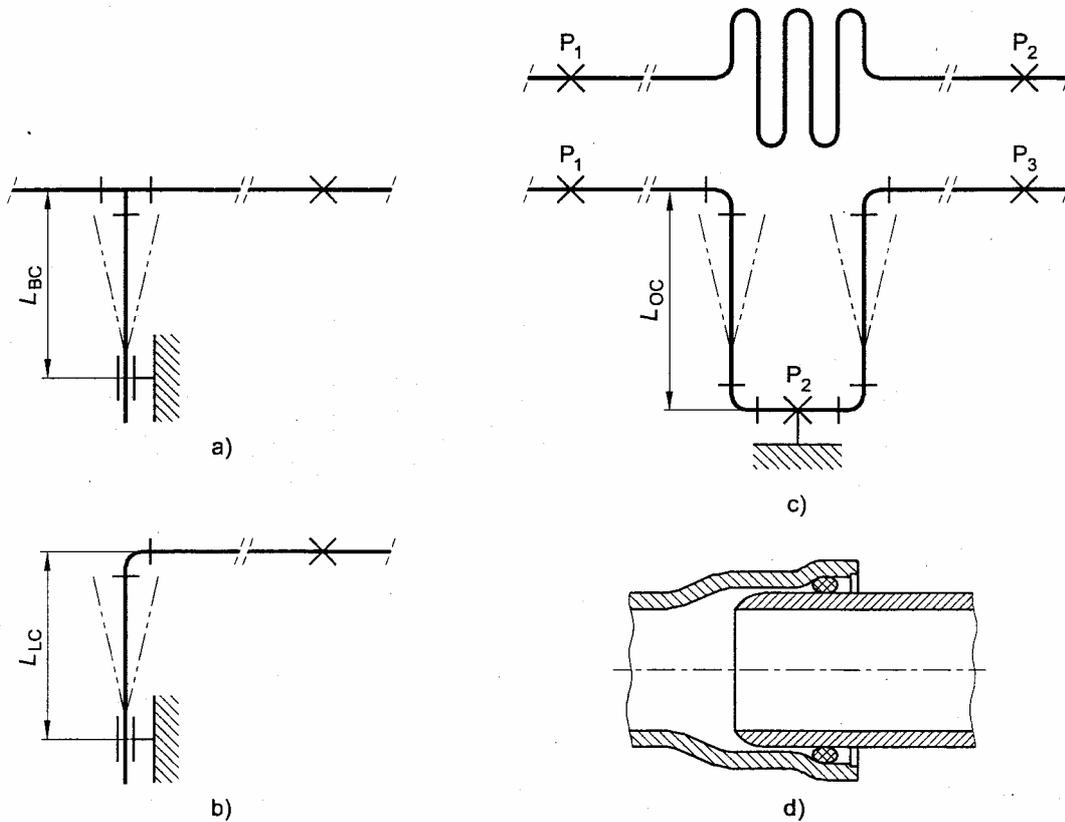
Il tubo dovrebbe essere posato in modo da minimizzare gli sforzi nel sistema. Una soluzione è quella di collocare giunti ad espansione tra punti fissi. Esempi di arrangiamento corretto sono illustrati nella figura B.3.

figura B.3 Esempi di modi di sistemare le espansioni

Legenda

× È il punto fisso

|| È una guida assiale



APPENDICE C (informativa): COMPORTAMENTO DEI TUBI FLESSIBILI INTERRATI

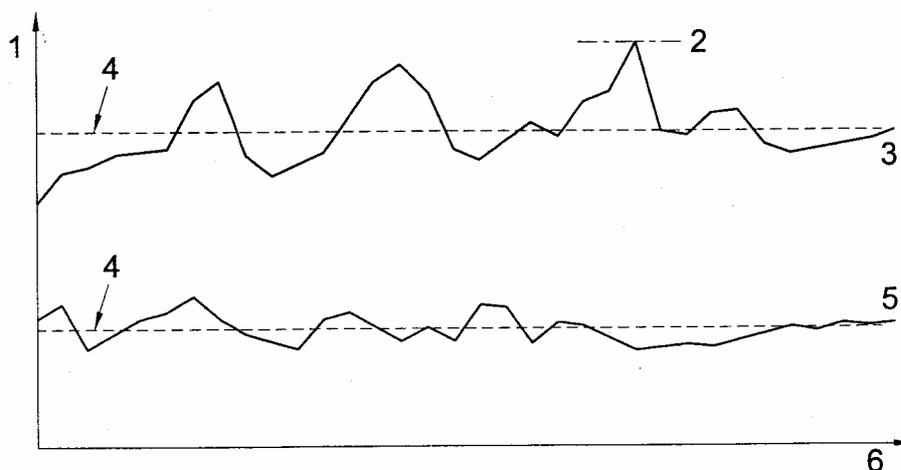
Un tubo interrato è soggetto ai carichi del terreno e ai carichi dovuti al traffico. Nel caso di tubi flessibili interrati, la capacità del sistema di sopportare il carico dipende sia dalla rigidità anulare del tubo sia dalle rigidità del terreno circostante. Anche quando l'installazione è eseguita ai massimi livelli si sa dall'esperienza che la deflessione varia lungo la tubazione. La variazione della deflessione riflette differenze di supporto e variazioni del carico esterno che agiscono sui tubi. (Variazione del carico esterno avviene anche sui tubi rigidi, ma gli effetti non possono

essere visti come si possono vedere sui tubi flessibili). La deflessione dovuta dal carico esterno sulle tubazioni flessibili interrate è in principio come illustrato nella figura C.1.

figura C.1 **Tipiche variazioni nella deflessione lungo una tubazione per due livelli di qualità d'installazione**

Legenda

- 1 Deflessione del tubo
- 2 Deflessione massima dopo l'installazione
- 3 Installazione normale del tubo
- 4 Deflessione media dopo l'installazione
- 5 Alta classe d'installazione del tubo
- 6 Lunghezza della tubazione



Questo fenomeno è stato verificato da numerose misurazioni di deflessione su tubi flessibili in molti Paesi. La differenza tra la media iniziale e la deflessione massima varia ed è maggiore se i tubi sono di rigidità anulare inferiore anziché di rigidità anulare maggiore. Una buona, ben supervisionata installazione fornisce differenze inferiori rispetto ad una installazione mediocre. Per tubi di classe di rigidità di 8000 N/m² o meno non è inusuale che la massima deflessione iniziale sia dall'1 % al 2% maggiore della deflessione iniziale media.

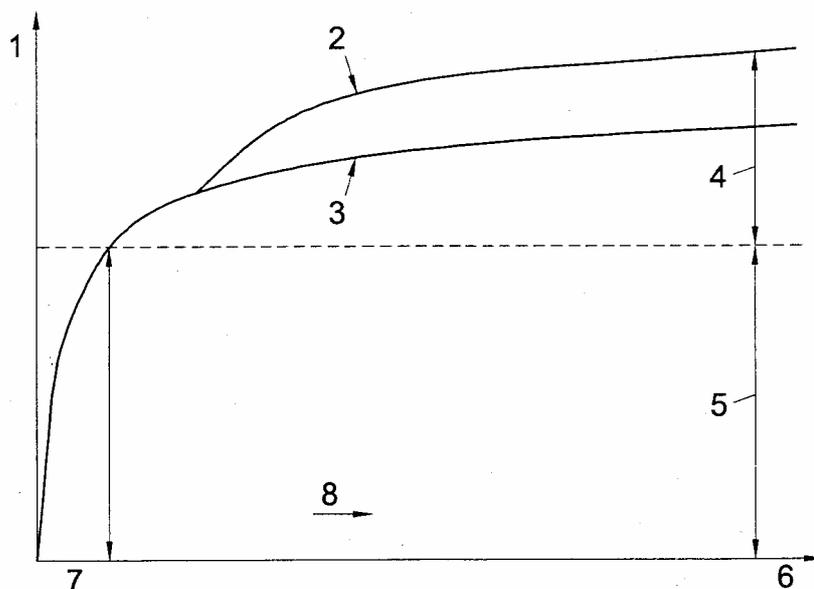
Poiché la deflessione iniziale media dei tubi flessibili è spesso nell'intervallo dal 2% al 4%, è evidente che le variazioni del carico esterno e la qualità dell'installazione sono piuttosto considerevoli.

La deflessione dei tubi flessibili interrati aumenta nel corso del tempo. Quasi tutti gli incrementi nella deflessione avvengono durante il primo o il secondo anno dopo l'installazione; poi la deflessione si stabilizza come indicato nella figura C.2.

figura C.2 Deflessione tipica di tubo interrato in funzione del tempo

Legenda

- 1 Deflessione del tubo
- 2 Con traffico
- 3 Senza traffico
- 4 Deflessione da assestamento
- 5 Deflessione da installazione
- 6 Tempo dopo installazione
- 7 Fase 1
- 8 Fase 2



La deflessione finale è raggiunta più velocemente se il tubo è soggetto ai carichi del traffico. La variazione nella deflessione dopo l'installazione dipende soprattutto dall'assestamento e consolidamento del terreno circostante.

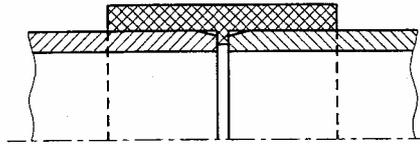
APPENDICE D (normativa): ESEMPI DI GIUNTI E GIUNZIONI

Giunti capaci di resistere allo sforzo di testa

Giunti che utilizzano adesivi

Le dimensioni dei bicchieri e codoli devono essere conformi alla corrispondente norma di sistema. Un tipico giunto è illustrato nella figura D.1.

figura D.1 Esempio di giunto incollato



Gli adesivi devono essere idonei all'utilizzo con materiali che devono essere giuntati ed i requisiti necessari devono essere adeguati alla corrispondente norma di sistema.

Quando utilizzati in linee di tubi per la conduzione di acqua potabile, gli adesivi non devono contenere alcuna sostanza che abbia qualche possibilità di influire sul gusto o sull'odore dell'acqua, o avere effetti tossici o favorire la crescita di batteri.

Tubi appena posati devono essere sciacquati.

In funzione della natura dell'adesivo e delle tolleranze della luce tra l'estremità del codolo ed il bicchiere, ci sono differenti metodi di incollaggio. Occorre seguire perciò le indicazioni del fabbricante e stare attenti ai seguenti punti, che sono comuni per tutte le giunzioni che utilizzano adesivi:

- a) gli adesivi sono infiammabili e tossici. Non fumare nell'area nella quale essi sono utilizzati. Applicare l'adesivo in uno spazio ben ventilato;
- b) utilizzare un adesivo che abbia la necessaria viscosità e non diluirlo;
- c) assicurarsi che il tubo sia tagliato perpendicolarmente al suo asse;
- d) quando le istruzioni del fabbricante lo richiedono, smussare le estremità del tubo con un appropriato strumento.

Lo smusso sul codolo e sul bicchiere dovrebbero essere approssimativamente gli stessi.

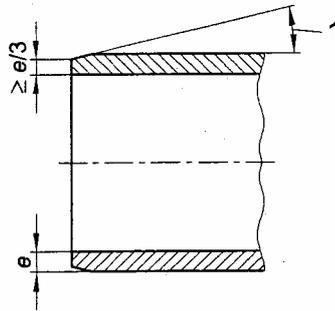
L'angolo deve essere tra 15° e 45° , in accordo con le istruzioni del fabbricante. Lo spessore minimo della parete rimanente dovrebbe essere almeno un terzo dello spessore della parete, come illustrato nella figura D.2;

figura D.2

Smusso dei tubi

Legenda

1 Da 15° a 45°



- e) assicurarsi che le superfici del giunto siano pulite, asciutte e sgrassate;
- f) prendere particolari precauzioni quando la giunzione è eseguita a temperature vicine allo zero;
- g) applicare l'adesivo in strati uniformi nella direzione longitudinale, ma con uno spessore maggiore verso l'estremità del codolo;
- h) se non diversamente specificato dal fabbricante, eseguire la giunzione velocemente;
- i) possono essere necessarie due persone per applicare l'adesivo al codolo e al bicchiere simultaneamente;
- j) rimuovere le sbavature di adesivo non appena il giunto è stato realizzato, quindi lasciarlo asciugare senza toccarlo per almeno 5 min;
- k) poiché i giunti che utilizzano adesivi diventano resistenti alla pressione solamente dopo un periodo addizionale, che dipende da:
 - il tipo di adesivo (vedere le istruzioni del fabbricante),
 - la luce tra il codolo ed il bicchiere,
 - la temperatura ambiente,
 - la pressione di prova,aver cura di non sottoporre il giunto alla pressione troppo presto;
- l) per diametri di 200 mm e maggiori, verificare se è necessario utilizzare tecniche di incollaggio particolari e quindi procedere di conseguenza.

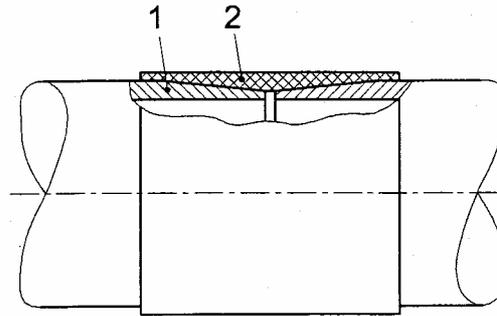
Giunzione a nastro e di testa

I materiali utilizzati per questo tipo di giunto (vedere figura D.3) sono generalmente tessuti di vetro e resina termoindurente. Il progetto e la fabbricazione del presente giunto dovrebbero essere eseguiti secondo la ISO/DTR 7512.

figura D.3 **Giunzione a nastro e di testa**

Legenda

- 1 Parete del tubo
- 2 Nastro GPR



Giunti a flangia

Le flange possono essere utilizzate per giuntare tubi in materia plastica tra di loro e per giuntarli a flange metalliche, valvole e raccordi flangiati. La tenuta è realizzata per compressione di una guarnizione o di un anello posto contro la flangia. Le flange possono essere assemblate utilizzando una varietà di tecniche. Tipici esempi sono illustrati nelle figure D.4 e D.5.

figura D.4 **Esempi di flangia e collare**

Legenda

- 1 Flangia sciolta
- 2 Collare per guarnizione piatta
- 3 Collare per anello ad O
- 4 Flangia con giunto a compressione

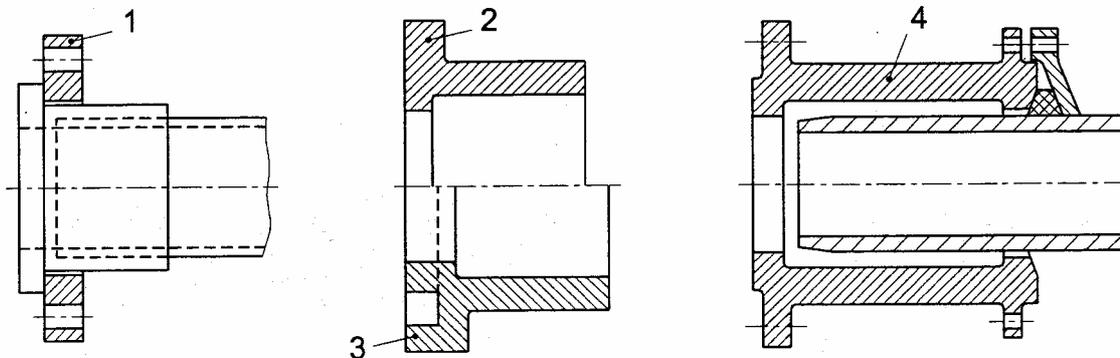
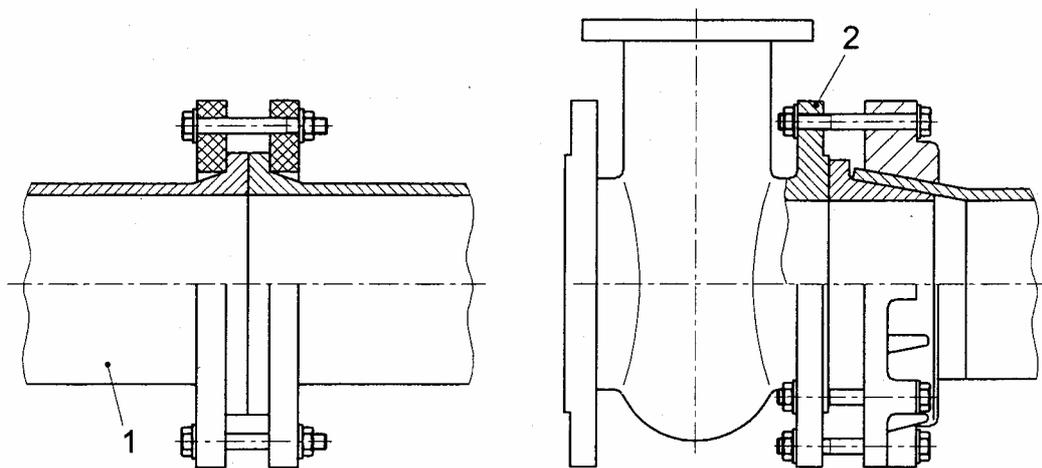


figura D.5 **Esempi di giunto a compressione**

Legenda

- 1 Flangia formata o saldata di testa sul tubo
- 2 Flangia fissata al giunto anulare



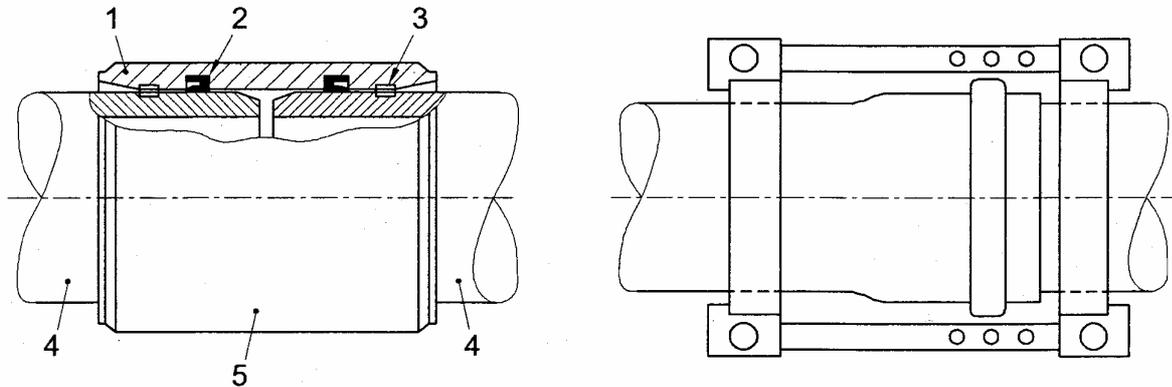
Giunti fissati

Su molti sistemi di tubazioni sono disponibili particolari giunti adatti a resistere a movimenti o sforzi di testa. Tali giunti sono illustrati nella figura D.6. Devono essere seguiti i procedimenti dettagliati del fabbricante per assicurare la prestazione richiesta del giunto.

figura D.6 **Bicchieri/codolo con ancoraggio resistente allo sforzo di testa**

Legenda

- 1 Manicotto
- 2 Guarnizione di gomma
- 3 Chiave di chiusura
- 4 Tubo
- 5 Giunto



Assemblaggi per la saldatura

Generalità

Questo metodo utilizza il riscaldamento per fondere ambedue le superfici contemporaneamente ed è applicato a raccordi a bicchiere stampati specificamente progettati e ai raccordi per saldatura di testa. I metodi della saldatura nel bicchiere, della saldatura di testa e l'elettrofusione differiscono l'uno dall'altro.

Una breve descrizione di questi metodi è riportata nei paragrafi seguenti, ma in tutti i casi devono essere seguite le istruzioni del fabbricante.

Saldatura nel bicchiere

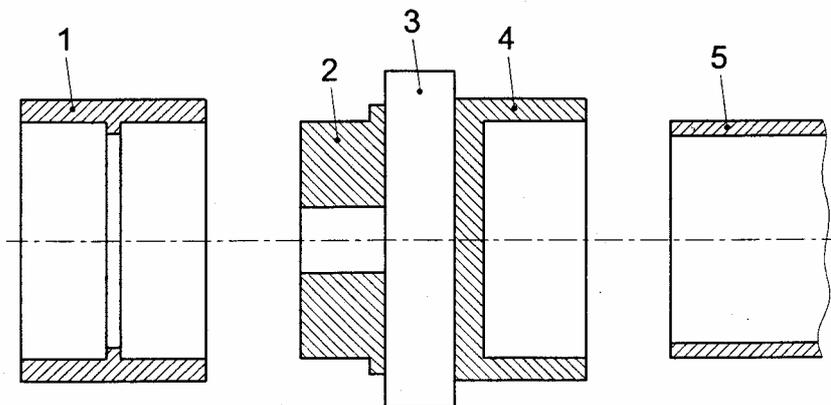
Questo metodo coinvolge l'utilizzo dei raccordi a stampaggio con giunti di tipo codolo e bicchiere.

È utilizzato un utensile di metallo particolare (vedere figura D.7).

figura D.7 Utensile per la saldatura del bicchiere

Legenda

- 1 Giunto
- 2 Estremità del maschio riscaldante
- 3 Elemento riscaldante
- 4 Bicchiere riscaldato
- 5 Tubo



Quando l'utensile è caldo, una delle sue estremità è fissata fermamente sul tubo, mentre l'altra estremità aderisce fermamente nel bicchiere del raccordo.

L'utensile è riscaldato alla temperatura richiesta in accordo con le istruzioni del fabbricante; a questo punto l'estremità del tubo ed il bicchiere del raccordo sono portati in contatto con l'utensile fino a che le loro superfici sono allo stato fuso. L'utensile è quindi ritirato e l'estremità del tubo è inserita nel bicchiere del raccordo, premendo uno contro l'altro, secondo le istruzioni del fabbricante, fino a che essi si siano raffreddati sufficientemente in modo da rimanere attaccati.

Con tubi di grande diametro si raccomanda che una forza circonferenziale sia applicata attorno al bicchiere durante il raffreddamento, per esempio per mezzo di una molla.

Si deve aver cura che l'utensile riscaldante sia pulito prima dell'utilizzo, per garantire che particelle ossidate non siano incluse nella saldatura, in quanto questo potrebbe renderle fragili. Si dovrebbe anche prestare attenzione a non surriscaldare le parti per l'assemblaggio, non premere su di loro troppo forte, perché ambedue i trattamenti possono comprimere l'interno del tubo.

Saldatura di testa

Anche questa tecnica può essere utilizzata solamente con materiali fusibili, ma non necessariamente richiede l'utilizzo dei raccordi. Questi sono comunque disponibili e possono essere utilizzati.

Il giunto è realizzato riscaldando le superfici per l'assemblaggio su una piastra piana calda, generalmente ricoperta con politetrafluoroetilene (PTFE), e quindi portando queste superfici in contatto tra di loro sotto una pressione controllata, in accordo con le istruzioni del fabbricante. Questo metodo può essere utilizzato per tubi di ogni diametro, ma è necessaria un'attrezzatura ausiliaria sia per un corretto allineamento dei tubi più grandi, sia per premerli tra di loro.

Tale metodo comprende tre stadi separati, come segue:

- a) Preparazione della superficie: controllare che le superfici da assemblare, siano tagliate perpendicolarmente ed esenti da difetti fisici o materiali.
- b) Riscaldare le superfici: assicurarsi che la superficie della piastra calda sia pulita e sia tenuta alla temperatura richiesta per tutto il tempo di riscaldamento secondo le istruzioni del fabbricante. Mantenere le superfici da riscaldare premute contro la piastra calda fino a che si forma un sottile cordone di materiale fuso. Quindi ridurre la pressione in modo che il cordone non cresca più, mentre il riscaldamento continua.
- c) Assemblaggio della saldatura: rimuovere la piastra calda e premere assieme le superfici riscaldate in accordo con le istruzioni del fabbricante. Mantenere la pressione fino a che le zone fuse non si siano raffreddate.

Questo metodo produce un cordone dentro e fuori il tubo.

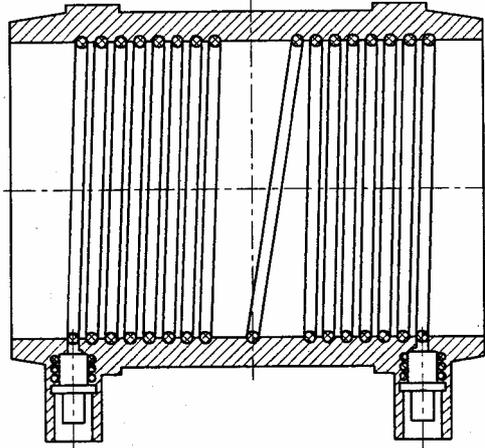
Elettrofusione

In questo metodo il processo comprende tre stadi, come segue:

- a) Preparazione della superficie del tubo: misurare la zona di saldatura, marcare la profondità di inserzione, rimuovere lo strato ossidato utilizzando un raschietto o uno strumento raschiatore. Pulire la superficie da saldare.
- b) Assemblare il raccordo di elettrofusione: inserire le estremità del tubo nel raccordo di elettrofusione (vedere figura D.8). Utilizzare un morsetto rotondo per correggere i tubi ovalizzati. Durante l'assemblaggio devono essere seguite le istruzioni operative del fabbricante. Connettere il sistema di controllo della saldatura con le pinze di contatto.

c) *Elettrofusione*: azionare il sistema di controllo della saldatura, iniziare il processo di saldatura. Dopo la saldatura, raffreddare l'assemblaggio per almeno il tempo di raffreddamento raccomandato dal fabbricante prima di pressurizzare la tubazione.

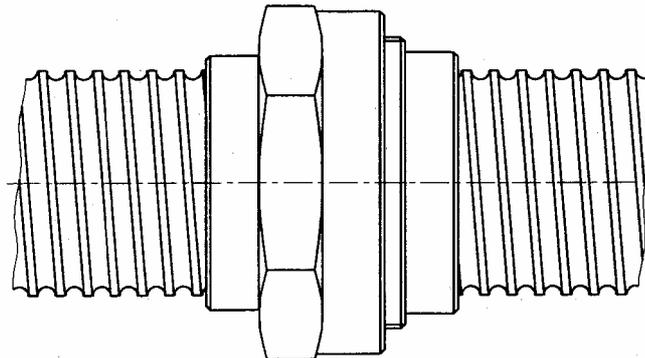
figura D.8 **Tipico manicotto per l'elettrofusione**



Giunti meccanici filettati

Alcuni materiali plastici possono essere filettati, come, per esempio, quello indicato nella figura D.9. Esiste una gamma di tali tipi di giunti per l'assemblaggio con altri tubi filettati. Questi spesso richiedono l'utilizzo di raccordi di connessione.

figura D.9 **Giunto filettato**



APPENDICE E (normativa): **TEORIA DELLE TRAVI PRESSOINFLESSE**

Scopo e procedimento per la progettazione

I procedimenti trattati dalla presente appendice considerano le condizioni che si incontrano più comunemente nelle installazioni di tubazioni fuori terra. Sono fornite le formule per la determinazione di deflessioni, sforzi e resistenza all'instabilità per installazioni con campata singola o multipla. Gli effetti della colonna d'acqua sono trattati in dettaglio, perché questa è stata identificata come una condizione di carico significativa per le installazioni di tubi fuori terra. I calcoli possono essere applicati alla progettazione per tubazioni sia non in pressione che in pressione.

I calcoli nel presente documento non sono validi per tubi con diametro molto grande con corta campata (travi corte/profonde). Per tali tubi le deflessioni di taglio possono essere significative e influenzano la distribuzione degli sforzi, per cui può essere necessario applicare una teoria delle travi corte.

Per tubi a grande diametro senza pressione o a pressione molto bassa la sezione trasversale può essere ovalizzata; questo porta ad un decremento della rigidità di flessione assiale e induce sforzi tangenziali di flessione. Queste condizioni non sono trattate nel documento.

Il carico critico assiale, Q_{crit} per un tubo come colonna può essere calcolato utilizzando la seguente equazione purché le fondazioni non riducano la rotazione del tubo:

$$Q_{crit} = \frac{\pi^2 \times E_x \times I}{l_b}$$

dove:

Q_{crit} è il carico dell'instabilità critico per il tubo come colonna;

E_x è il modulo di elasticità del materiale del tubo nella direzione longitudinale;

I è il momento d'inerzia;

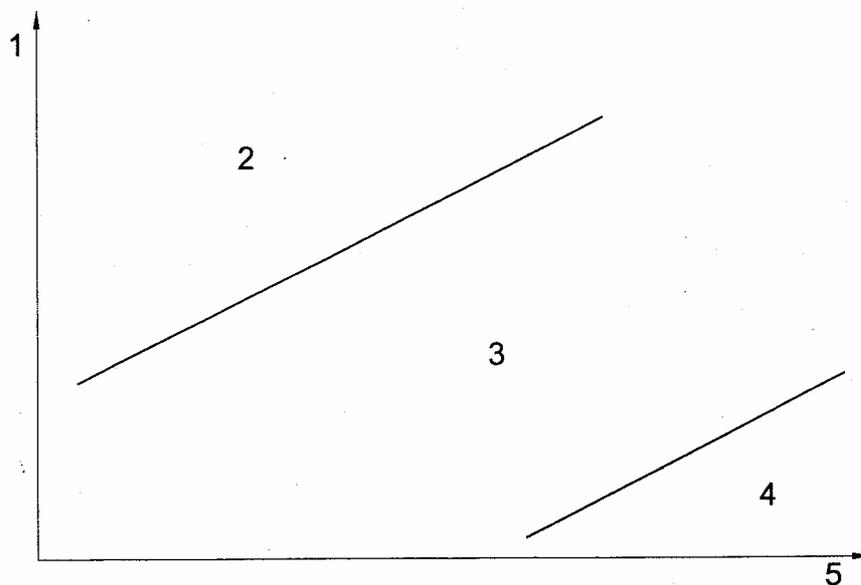
l_b è la lunghezza d'instabilità.

Per tubi semplicemente supportati alle estremità l'influenza della forza assiale sui momenti e sulle deflessioni può essere approssimata dal fattore di amplificazione nell'equazione seguente:

$$\frac{1}{1 - Q/Q_{crit}}$$

dove Q è la somma netta di tutti i carichi assiali agenti sul tubo e sulla colonna di liquido. Per tubi dove l'influenza della forza assiale è significativa, sia l'instabilità che il rapporto carico/allungamento e la deflessione devono essere controllati. Nella figura E.1 sono illustrate le limitazioni tipiche che dipendono dal diametro del tubo e la pressione per installazioni a campata singola e a campata multipla.

figura E.1 **Limitazioni tipiche**
 Legenda
 1 Pressione
 2 Instabilità
 3 Sforzo
 4 Movimento angolare
 5 Diametro



È importante essere consapevoli del fatto che i materiali plastici hanno proprietà dipendenti dal tempo, cioè scorrimento plastico (creep). È ovvio che questo influenzi il fenomeno sopra menzionato e che vengano utilizzate le proprietà del materiale alla corrispondente durata del carico. Queste proprietà dovrebbero essere verificate dal fabbricante.

Carichi

Generalità

Le condizioni di carico sono state divise in due classi:

- a) i carichi agenti nella direzione assiale, per esempio termici, di Poisson, pressione, ecc.;
- b) quelli agenti perpendicolarmente all'asse del tubo, per esempio peso del tubo, contenuto, neve, vento, ecc.

I carichi assiali applicabili variano con il tipo di installazione e il tipo di sistema di giunzione utilizzato.

I carichi termici e di Poisson sono generati quando giunti rigidi (come a flange, giunti incollati o fissati) sono utilizzati in un sistema vincolato. Queste forze possono anche essere generate quando sono utilizzati fissaggi a morsetto, che sviluppano nel sistema vincoli con alta forza di attrito.

Carichi termici

Per un tubo dritto e vincolato soggetto ad una variazione della temperatura:

$$F_{\theta} = \pi \times \alpha_L \times \Delta T \times E_x \times (d_e - e) \times e$$

dove:

F_{θ} è il carico termico;

α è il coefficiente dell'espansione termica;

ΔT è la differenza della temperatura che crea carico termico;

e è lo spessore della parete del tubo.

Per altre disposizioni o considerazioni più dettagliate sulla espansione/contrazione termica, vedere appendice B.

Il carico può essere sia di trazione che di compressione, a seconda che la variazione di temperatura sia positiva o negativa.

Carichi di Poisson

Per un pezzo di tubo dritto che è vincolato e soggetto alla pressione interna:

$$F_v = 0,5 \times p \times (d_e - e)^2 \times v \times p \times \frac{E_x}{E_H}$$

dove:

F_v è il carico di Poisson;

v è il coefficiente di Poisson;

p è la pressione interna nel tubo;

E_H è il modulo di elasticità della trazione circonferenziale. Il carico è di trazione.

Carico dovuto alla pressione

In sistemi di tubi dove la forza di reazione della pressione dell'acqua è sopportata dal tubo stesso, per esempio pressione biassiale, la forza può essere calcolata utilizzando l'equazione seguente:

$$F_p = 0,25 \times \pi \times d_i^2 \times p$$

dove:

F_p è il carico dovuto alla pressione;

d_i è il diametro interno del tubo.

Il carico è di trazione.

In sistemi dove anche le estremità dei tubi sono esposte alla pressione dell'acqua (per esempio, giunti flessibili) la forza agente nel tubo può essere calcolata utilizzando l'equazione seguente:

$$F_p = \pi \times (d_e - e) \times e \times p$$

Il carico è di compressione.

Peso stesso del tubo

Il carico uniformemente distribuito, q_0 , dovuto alla massa del tubo vuoto può essere calcolato utilizzando l'equazione seguente:

$$q_0 = \pi \times \gamma_0 \times (d_e - e) \times e$$

dove:

q_0 è il peso del tubo vuoto per metro;

γ_0 è il peso specifico apparente del tubo.

Peso del liquido

Il carico uniformemente distribuito, q_l , dovuto alla massa di liquido contenuto, quando il tubo è pieno, può essere calcolato utilizzando l'equazione seguente:

$$q_l = 0,25 \times \pi \times \gamma_l \times d_i^2$$

dove:

q_l è il peso del fluido per unità di lunghezza;

γ_l è il peso specifico del fluido.

Carichi ambientali

I più comuni carichi ambientali incontrati sono la neve e il vento, ma in alcune aree sono da tener presenti altri carichi, come la formazione di ghiaccio, effetti sismici, di marea, ecc.

Neve

In condizioni in cui un liquido, a temperatura sopra lo zero, fluisce nel tubo, il carico della neve generalmente non è applicabile.

In molte aree dove il carico dovuto alla neve è significativo, i codici di pratica nazionali possono fornire il modo di gestire il problema.

Le condizioni di carico risultanti dalla neve possono variare dal semplice carico uniformemente distribuito sulla parte superiore del tubo ad una copertura totale che produce condizioni di carico simili al terrapieno.

Nel caso in cui il carico distribuito uniformemente possa essere preso come condizione di carico, si ha:

$$q_s = \gamma_s \times d_e \times h_s$$

dove:

q_s è il peso della neve per lunghezza unitaria del tubo;

γ_s è il peso specifico della neve;

h_s è la profondità della neve.

Vento

Generalmente carichi dovuti al vento non hanno importanza per la progettazione del tubo, ma possono essere significativi per la progettazione dei supporti. Però, tali carichi possono essere molto complessi e la loro considerazione è fuori dallo scopo della presente appendice. Rapporti specializzati e guide di progettazione sono comunque disponibili per molte condizioni comunemente incontrate.

Compressione della colonna d'acqua

In ogni sistema di tubazioni in pressione la colonna d'acqua è vincolata dal tubo. Per questo motivo si deve tener conto nel sistema della forza di compressione assiale.

Per tubi supportati come una trave, la deflessione nel punto di mezzo della campata dovuta ai carichi laterali (per esempio, il peso stesso del tubo e del liquido in esso contenuto) produce un momento con il carico assiale nel sistema; questo aumenta ulteriormente il momento e la

deflessione, in funzione della pressione, dell'area della sezione trasversale della colonna di liquido e del raggio di curvatura del tubo deflesso.

A causa del relativamente basso modulo di elasticità, E , della maggior parte dei tubi di materia plastica, il fenomeno ha in molti casi una significativa influenza sulle deflessioni. Questo si applica ai sistemi di tubazioni dove la spinta della pressione assiale non è, o è solo parzialmente, sopportata dal tubo stesso.

Questo stesso fenomeno deve anche essere considerato quando i tubi sono giuntati con doppio bicchiere o "manicotti". Una leggera inclinazione dell'accoppiamento conduce ad una deviazione angolare tra l'accoppiamento e i tubi. La forza di pressione assiale e la deviazione angolare tra l'accoppiamento e i tubi danno luogo a una coppia di forze di reazione agenti sulle estremità del tubo. Se i tubi sono installati con le estremità su lunghe travi a sbalzo, queste forze di reazione causano deflessione delle estremità del tubo, che a sua volta determina un'addizionale inclinazione dell'accoppiamento. Se la giunzione è distante dai supporti del tubo, questa situazione può essere instabile, a meno che l'accoppiamento non sia bloccato.

Deflessioni

Deflessione nel centro della campata

La deflessione nel centro della campata non è in dipendenza solamente dai carichi applicati al tubo, ma anche dalla condizione di supporto (a campata semplice o a campata multipla). Il prospetto E.1 fornisce le necessarie equazioni e i fattori moltiplicativi per tenere conto del carico aggiunto dalla pressione interna per vari rapporti di Q/Q_{crit} per varie condizioni di supporto.

prospetto E.1 **Deflessioni**

	Campata singola	Campata doppia	Campata singola	Campata multipla	Campata singola/ multipla
	Supporto semplice	Supporto semplice	Supporto semplice e fisso	Supporto semplice	Supporti fissi
Q_{crit}	$\pi^2 \frac{EI}{f^2}$			$\pi^2 \frac{EI}{f^2}$	$\pi^2 \frac{EI}{f^2}$
Deflessione massima	$\frac{5f_1 \times qf^4}{384 \times EI}$			$\frac{f_1 \times qf^4}{384 \times EI}$	$\frac{f_1 \times qf^4}{384 \times EI}$
Q/Q_{crit}	Fattore moltiplicativo della deflessione, f_1				
0,1	1,11			1,03	1,11
0,2	1,25			1,05	1,25
0,3	1,43			1,08	1,42
0,4	1,67			1,11	1,66
0,5	2,00			1,14	1,99

Movimento angolare sul giunto dovuto al piegamento

Il presente punto è applicabile solamente ai tubi giuntati in maniera flessibile.

Il movimento angolare sul giunto non è in dipendenza solo dai carichi applicati al tubo, ma anche dalle condizioni di supporto (a campata semplice o multipla simile alla deflessione nel punto di mezzo della campata). Il prospetto E.2 fornisce le necessarie equazioni ed i fattori moltiplicativi per tener conto del carico aggiunto dalla pressione interna per vari rapporti di Q/Q_{crit} nelle diverse condizioni di supporto.

prospetto E.2 **Rotazioni della estremità**

	Campata singola	Campata doppia	Campata singola	Campata multipla	Campata singola/ multipla
	Supporto semplice	Supporto semplice	Supporto semplice e fisso	Supporto semplice	Supporti fissi
Q_{crit}	$\pi^2 \frac{EI}{f^2}$	$\pi^2 \frac{EI}{f^2}$	$2,05 \pi^2 \frac{EI}{f^2}$		
Rotazioni della estremità	$\frac{f_2 \times qf^4}{24 \times EI}$	$\frac{f_2 \times qf^4}{48 \times EI}$	$\frac{f_2 \times qf^4}{48 \times EI}$		
Q/Q_{crit}	Fattore moltiplicativo della deflessione, f_2				
0,1	1,11	1,05	1,11		
0,2	1,25	1,11	1,25		
0,3	1,42	1,17	1,43		
0,4	1,66	1,25	1,68		
0,5	1,99	1,33	2,02		

Sforzi

Quando si confrontano gli sforzi calcolati utilizzando le seguenti equazioni con gli sforzi ammissibili per il tubo, è importante sapere che le proprietà del materiale dipendono dal tempo, come per esempio lo scorrimento plastico (creep), l'invecchiamento, ecc.

Sforzi locali ai supporti

Per un tubo supportato ad intervalli sulle selle o piedistalli riempiti o parzialmente riempiti d'acqua, l'analisi degli sforzi è difficile ed i risultati sono resi incerti dalle condizioni al contorno dubbie. Per queste ragioni l'analisi degli sforzi localizzati non è inclusa nella presente appendice.

Sforzi assiali

Per la somma netta dei carichi assiali, determinata in E.2, gli sforzi assiali normali possono essere determinati utilizzando tutta l'area trasversale del tubo:

$$\sigma_n = \frac{F}{A_p}$$

dove:

σ_n è lo sforzo normale assiale;

F è la somma netta dei carichi assiali;

A_p è l'area della sezione trasversale del tubo, $\pi \cdot (d_e - e) \cdot e$.

Gli sforzi di flessione possono essere determinati utilizzando l'equazione seguente:

$$\sigma_b = \frac{M_b \times d_e}{2 \times I}$$

dove:

σ_b è lo sforzo assiale di flessione;

M_b è il momento di flessione.

Le corrispondenti equazioni dei momenti sono fornite nei prospetti E.3 e E.4.

prospetto E.3 **Momento massimo**

	Campata singola	Campata doppia	Campata singola	Campata multipla	Campata singola/ multipla
	Supporto semplice	Supporto semplice	Supporto semplice e fisso	Supporto semplice	Supporti fissi
Q_{crit}	$\pi^2 \frac{EI}{l^2}$	$\pi^2 \frac{EI}{l^2}$	$2,05 \pi^2 \frac{EI}{l^2}$	$\pi^2 \frac{EI}{l^2}$	$4 \pi^2 \frac{EI}{l^2}$
Momento massimo	$\frac{f_3 \times q^A}{8 \times EI}$	$\frac{9 f_3 \times q^A}{128 \times EI}$	$\frac{9 f_3 \times q^A}{128 \times EI}$	$\frac{f_3 \times q^A}{24 \times EI}$	$\frac{f_3 \times q^A}{24 \times EI}$
Q/Q_{crit}	Fattore moltiplicativo della deflessione, f_3				
0,1	1,11	1,03	1,07	1,02	1,07
0,2	1,26	1,07	1,17	1,03	1,16
0,3	1,44	1,11	1,28	1,05	1,28
0,4	1,69	1,16	1,44	1,07	1,43
0,5	2,03	1,21	1,65	1,09	1,64

prospetto E.4 **Momento minimo**

	Campata singola	Campata doppia	Campata singola	Campata multipla	Campata singola/ multipla
	Supporto semplice	Supporto semplice	Supporto semplice e fisso	Supporto semplice	Supporti fissi
Q_{crit}		$\pi^2 \frac{EI}{l^2}$	$2,05 \pi^2 \frac{EI}{l^2}$	$\pi^2 \frac{EI}{l^2}$	$4 \pi^2 \frac{EI}{l^2}$
Momento minimo		$\frac{-f_3 \times q^A}{8 \times EI}$	$\frac{-f_3 \times q^A}{8 \times EI}$	$\frac{-f_3 \times q^A}{12 \times EI}$	$\frac{-f_3 \times q^A}{12 \times EI}$
Q/Q_{crit}	Fattore moltiplicativo della deflessione, f_3				
0,1		1,03	1,07	1,02	1,07
0,2		1,07	1,17	1,03	1,16
0,3		1,11	1,28	1,05	1,28
0,4		1,16	1,44	1,07	1,43
0,5		1,21	1,65	1,09	1,64

Instabilità

L'instabilità della parete di un tubo si ha se la parete del tubo diventa instabile a causa degli alti carichi esterni generati da uno o più dei seguenti fattori:

- carico del terreno;
- falda freatica;
- carico dovuto al traffico;
- carico sovrapposto.

L'instabilità può avvenire in due differenti modi, per esempio:

- instabilità a lungo termine o instabilità a scorrimento plastico (creep) come risultato di una pressione esterna o pressione negativa interna su un periodo di tempo;
- instabilità a breve termine o instabilità elastica come risultato di una rapida pressione esterna transeunte o una pressione interna negativa.

I tubi soggetti a carichi esterni prolungati, come carichi del terreno, falda freatica e/o carico sovrapposto in congiunzione con carichi prolungati esterni, possono mostrare l'instabilità a scorrimento plastico (creep).

I tubi soggetti a carichi esterni rapidi intermittenti, come carico dovuto al traffico o pressione negativa interna in congiunzione con prolungati carichi esterni, possono mostrare l'instabilità elastica.

Instabilità globale

Dovuta alla pressione negativa

Un tubo installato fuori terra può subire una rottura da instabilità globale a causa di due differenti condizioni di carico. Il tubo può rompersi a causa di un'alta pressione negativa o può rompersi come una colonna a causa di forze di compressione assiale troppo elevate.

L'instabilità globale dovuta ad alta pressione negativa può essere calcolata utilizzando l'equazione seguente:

$$p_{crit} = 2,283 \times \frac{E_H \times e^2}{L_s \times (d_e - e)} \times \left[\left(\frac{1}{1 - \nu^2} \right)^3 \times \frac{e^2}{(d_e - e)^2} \right]^{0,25}$$

dove:

p_{crit} è la pressione critica negativa che crea l'instabilità globale;

L_s è la lunghezza della campata del tubo tra i centri dei supporti.

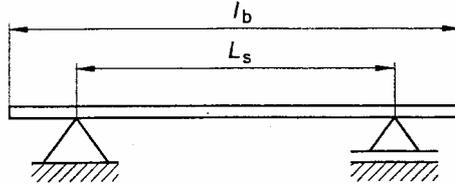
Dovuta agli sforzi assiali di compressione

L'instabilità globale dovuta alle forze assiali di compressione elevate può essere determinata utilizzando l'equazione seguente:

$$Q_{crit} = \frac{\pi^2 \times E_x \times I}{l_b^2}$$

Le lunghezze, l_b , per varie condizioni al contorno sono illustrate nelle seguenti figure.

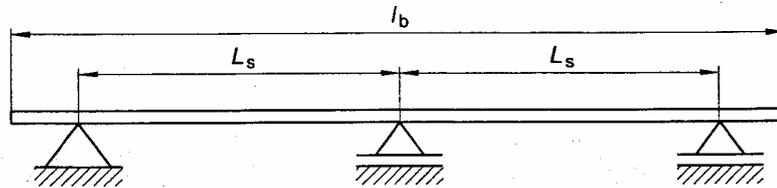
figura E.2 Installazione di tubo a campata singola semplicemente supportato



La lunghezza dell'instabilità per una installazione a singola campata semplicemente supportata è uguale alla lunghezza totale del tubo (vedere figura E.2).

Si assume che il giunto non resista alla rotazione, cioè il giunto agisce come cerniera.

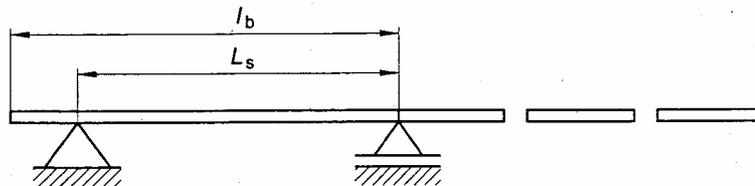
figura E.3 Installazione di un tubo a campata doppia semplicemente supportato



La lunghezza dell'instabilità per una installazione a doppia campata semplicemente supportata è uguale alla lunghezza totale del tubo (vedere figura E.3).

Si assume che il giunto non resista alla rotazione, cioè il giunto agisce come cerniera.

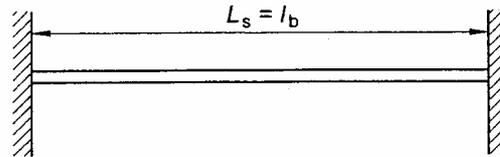
figura E.4 Installazione di un tubo a campata multipla semplicemente supportato



La lunghezza dell'instabilità per una installazione a campata multipla semplicemente supportata può essere presa uguale alla distanza dell'estremità del tubo al secondo supporto (vedere figura E.4).

Si assume che il giunto non resista alla rotazione, cioè il giunto agisce come cerniera.

figura E.5 Installazione di un tubo a campata singolo/multipla con supporti fissi



La lunghezza dell'instabilità per una installazione fissa a campata singola/multipla è uguale alla distanza tra i supporti (vedere figura E.5).

Instabilità locale

Elevati sforzi di compressione possono creare situazioni localmente instabili e si produce l'instabilità. L'instabilità locale può essere verificata utilizzando le seguenti equazioni:

Sforzo massimo di compressione:

$$\sigma_{c,max} = \sigma_{c,n} + \sigma_{c,b}$$

dove:

$\sigma_{c,max}$ è lo sforzo assiale di compressione massimo;

$\sigma_{c,n}$ è lo sforzo assiale di compressione normale;

$\sigma_{c,b}$ è lo sforzo assiale di compressione di flessione.

Lo sforzo critico di compressione:

$$\sigma_{c,crit} = \frac{2 \times \gamma \times E_H \times e}{(d_e - e) \times [3 \times (1 - \nu^2)]^{0,5}}$$

dove:

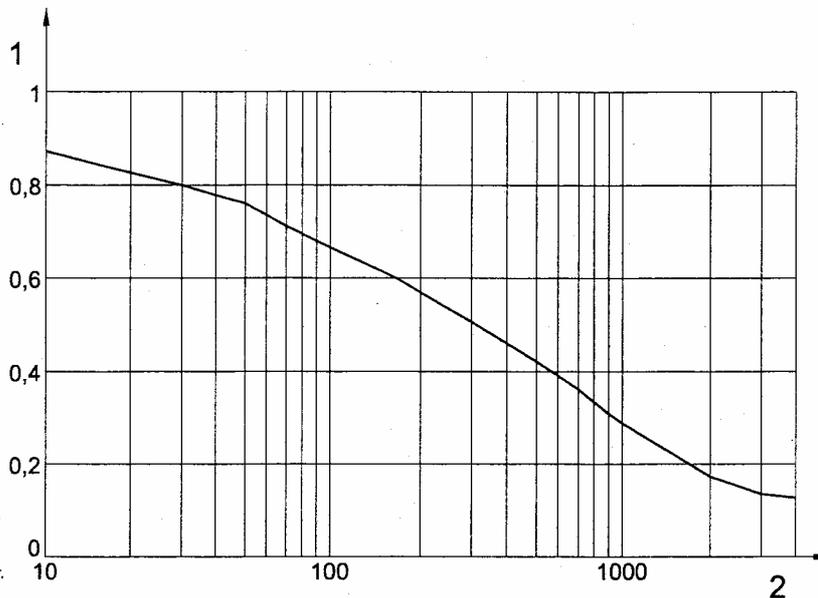
$\sigma_{c,crit}$ è lo sforzo assiale di compressione critico;

γ è il fattore di correzione secondo la figura E.6.

Legenda

1 Fattore di correzione

2 $(d_e - e)/2e$



***Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica -
Parte 4: Silos, serbatoi e condotte
(UNI ENV 1998-4)***

Gli Eurocodici strutturali costituiscono un gruppo di norme relative alla progettazione strutturale e geotecnica degli edifici e delle opere di ingegneria civile.

Essi trattano esecuzione e controllo solo nella misura atta a definire la qualità dei prodotti adoperati nella costruzione ed il livello di preparazione professionale necessario per soddisfare le ipotesi assunte nella progettazione.

Fin quando non sarà disponibile la necessaria serie delle norme tecniche sui prodotti e sui metodi di prova delle loro prestazioni, alcuni degli Eurocodici strutturali tratteranno taluni di questi aspetti in specifiche appendici informative.

La Commissione della Comunità Europea (CEC) assunse l'iniziativa di redigere un insieme di norme tecniche per la progettazione di edifici ed opere di ingegneria civile che fosse inizialmente un'alternativa ai diversi regolamenti in vigore nei vari Paesi membri, per sostituirli successivamente. Queste norme tecniche sono state designate Eurocodici strutturali.

GENERALITÀ

Scopo

L'intento della presente norma sperimentale è di fornire principi e regole di applicazione per la progettazione antisismica degli aspetti strutturali di complessi integrati composti da sistemi di tubature e da serbatoi di riserva di diversi tipi e con diverse destinazioni, come anche da singoli elementi, come per esempio singoli serbatoi idrici a torre, utilizzati per scopi specifici, o gruppi di sili contenenti materiale granulare, ecc. La presente norma sperimentale può essere anche utilizzata come base per valutare l'entità di rinforzo necessaria per strutture già esistenti per portarle alla conformità con le presenti norme.

La presente norma sperimentale comprende criteri aggiuntivi e regole necessarie per la progettazione antisismica di queste strutture senza restrizione sulle loro dimensioni, tipologie strutturali ed altre caratteristiche funzionali. Per alcuni tipi di serbatoi e sili, tuttavia, fornisce anche metodi dettagliati di valutazione e verifica.

La natura di sistemi di importanza per la vita umana che spesso caratterizza le costruzioni trattate dalla presente norma sperimentale richiede concetti, modelli e metodi che possono risultare molto diversi da quelli di uso corrente per i tipi più comuni di strutture. Inoltre, la risposta e la stabilità di serbatoi sottoposti a forti azioni sismiche può coinvolgere fenomeni piuttosto complessi di interazione terreno-struttura-fluido, non facilmente riconducibili a procedure semplificate di progettazione. Ugualmente impegnativo può essere il progetto di un sistema di tubazione che attraversi zone con terreno scarsamente resistente e eventualmente instabile. Per i suddetti motivi, l'organizzazione della presente norma sperimentale è in parte differente dalle altre parti della ENV 1998. La presente norma sperimentale è in generale ristretta a principi di base e approcci metodologici, mentre procedure dettagliate di analisi sono date nelle appendici per alcune situazioni tipiche.

Per poter formulare dei requisiti generali e per poterli implementare, viene fatta una distinzione tra le strutture trattate nella presente parte 4, per esempio: strutture indipendenti e reti ridondanti.

Una struttura può essere considerata indipendente quando il suo comportamento durante e dopo un evento sismico non è influenzato da quello di altre strutture e se le conseguenze del suo collasso sono in relazione solamente alle funzioni ad essa richieste.

Requisiti di sicurezza

Generalità

La presente norma sperimentale tratta strutture che possono essere estremamente diverse in aspetti di base quali:

- la natura e la quantità del prodotto immagazzinato ed il pericolo potenzialmente associato;
- i requisiti funzionali durante e dopo un evento sismico;
- le condizioni ambientali.

A seconda delle combinazioni specifiche degli aspetti indicati, deve essere appropriata una diversa formulazione dei requisiti generali. Per motivi di coerenza con la struttura generale degli Eurocodici, è mantenuta l'indicazione di due stati limite, con una definizione adattata in modo consono.

Stato limite di servizio

A seconda delle caratteristiche e delle finalità delle strutture prese in considerazione, uno solo o entrambi gli stati limite di servizio seguenti devono essere soddisfatti:

- piena integrità;
- livello operativo minimo.

Il requisito di “piena integrità” implica che il sistema preso in considerazione, con un insieme specificato di elementi accessori integrati con esso, rimanga in piena efficienza e privo di perdite sottoposto ad un evento sismico con una probabilità annuale di superamento, il cui valore deve essere stabilito sulla base delle conseguenze della sua perdita di funzionalità e/o delle perdite del suo contenuto.

Il requisito di “livello operativo minimo” implica che il sistema preso in considerazione possa subire un certo livello di danneggiamento in alcuni suoi componenti, fino al punto però che, dopo le operazioni di controllo del danneggiamento, la capacità del sistema possa essere ripristinata ad un livello prefissato di operatività. L'evento sismico per cui questo stato limite non deve essere superato avrà una probabilità annuale di superamento il cui valore deve essere

stabilito basandosi sulle perdite relative alla ridotta capacità del sistema e alle riparazioni necessarie.

Stato limite ultimo

Lo stato limite ultimo del sistema è definito in corrispondenza alla perdita di capacità operativa del sistema, con la possibilità di un recupero parziale (nella misura definita dall'autorità responsabile) condizionato ad una quantità accettabile di riparazioni.

Per elementi particolari di una rete, come anche per strutture indipendenti il cui collasso totale comporterebbe dei grossi rischi, lo stato limite ultimo viene definito come quello stato di danneggiamento che, quantunque possa essere grave, esclude tuttavia tipi di collasso fragile e permette un rilascio controllato del contenuto. Quando il collasso dei suddetti elementi non comporta rischi apprezzabili per vite umane o beni, lo stato limite ultimo può essere definito come quello corrispondente al collasso completo.

L'evento sismico di riferimento per il quale lo stato limite ultimo non deve essere superato deve essere stabilito sulla base delle perdite indirette e dirette causate dal collasso del sistema.

Differenziazione di affidabilità

Reti di tubature e strutture indipendenti, sia serbatoi che silos, devono essere corredati di un livello di protezione in proporzione al numero di persone esposte al rischio e alle perdite ambientali ed economiche associate al mancato raggiungimento del loro livello di funzionalità. La differenziazione di affidabilità deve essere ottenuta mettendo a punto in modo opportuno la probabilità annuale di superamento dell'azione sismica di progetto.

Questa messa a punto dovrebbe essere implementata applicando un fattore di importanza γ_I all'azione sismica di riferimento, seguendo la definizione data dalla ENV 1998-1-1:1994 in 2.1 (3). Valori specifici del fattore γ_I , necessari per modificare gli effetti dell'azione in modo che corrispondano all'evento sismico col periodo di ritorno prescelto, dipendono dalla sismicità di ciascuna regione e devono essere quindi forniti dal Documento di Applicazione Nazionale.

Per le strutture comprese nei fini della presente norma sperimentale è appropriato considerare tre diversi livelli di protezione. Il prospetto 1.1 (a seguire) fornisce uno schema per stabilire livelli differenziati di protezione. Nella colonna a sinistra è data una classificazione degli utilizzi più comuni di queste strutture, mentre le tre colonne a destra contengono gli appropriati livelli di protezione in termini dei valori del fattore di importanza γ_I per tre classi di affidabilità.

Utilizzo della struttura/impianto	Classe		
	1	2	3
Riserva di acqua potabile Materiale non tossico, non infiammabile	1,2	1,0	0,8
Acqua antincendio Materiale tossico non volatile Sostanze petrolchimiche a bassa infiammabilità	1,4	1,2	1,0
Sostanze chimiche volatili Liquidi esplosivi e ad alta infiammabilità	1,6	1,4	1,2

La classe 1 si riferisce a situazioni ad alto rischio per le vite umane e forti conseguenze ambientali, economiche e sociali.

Situazioni con un rischio medio per le vite e considerevoli conseguenze ambientali, economiche e sociali appartengono alla classe 2.

La classe 3 si riferisce a situazioni dove il rischio per le vite umane è basso e le conseguenze ambientali, economiche e sociali del collasso sono piccole o trascurabili.

Una definizione più dettagliata delle classi, specifica per i sistemi di tubature, è data in seguito.

Affidabilità del sistema e degli elementi

I requisiti di affidabilità descritti nei precedenti paragrafi si riferiscono all'intero sistema preso in considerazione, sia che comprenda un singolo componente o un insieme di componenti collegati in vario modo per adempiere alle funzioni richieste.

Sebbene un approccio formale all'analisi di affidabilità del sistema sia estraneo allo scopo della presente norma sperimentale, il progettista deve prendere in considerazione esplicitamente il ruolo dei vari elementi nell'assicurare la funzionalità continuativa del sistema, specialmente quando non è ridondante. Nel caso di sistemi molto complessi, il progetto deve essere basato su delle analisi di sensitività.

Elementi della rete, o di una struttura nella rete, i quali si rivelano essere critici rispetto al collasso del sistema, verranno corredati di un adeguato ulteriore margine di protezione, commisurato alle conseguenze del collasso. Laddove non esista un'esperienza precedente, quegli elementi critici dovrebbero essere studiati sperimentalmente per verificare l'accettabilità delle ipotesi di progetto.

Se non vengono eseguite delle analisi più rigorose, il margine di protezione aggiuntivo per elementi critici può essere ottenuto assegnandoli ad una classe di affidabilità più elevata di un livello di quella dell'intero sistema.

Il progettista deve tenere in considerazione che, in alcuni casi, l'aumento della resistenza di un elemento di una struttura può diminuire l'affidabilità globale della struttura.

REGOLE SPECIFICHE PER LE TUBAZIONI

Generalità

Questo punto è finalizzato a fornire principi e regole di applicazione per il progetto sismico degli aspetti strutturali di sistemi di tubature. Questo punto può anche essere utilizzato come una base per valutare la quantità di rinforzo o di incrementata iperstaticità richiesta da impianti esistenti per adeguarli alle normative attuali.

I sistemi di tubature abitualmente comprendono vari impianti associati quali stazioni di pompaggio, centri operativi, stazioni di manutenzione, ecc., ciascuno sede di diversi tipi di attrezzature meccaniche ed elettriche. Poiché questi impianti hanno un'influenza considerevole sull'operatività continuativa del sistema, è necessario prestarvi un'adeguata considerazione nel processo di progettazione mirato a soddisfare i requisiti globali di affidabilità. Una trattazione esplicita riguardante queste attrezzature non è tuttavia inclusa negli scopi della presente norma sperimentale; infatti alcuni di questi impianti sono già trattati nelle ENV 1998-1-1 e ENV 1998-1-2, mentre la progettazione antisismica di attrezzature meccaniche ed elettriche richiede specifici criteri aggiuntivi che sono al di là degli scopi dell'Eurocodice 8.

Quantunque le tubature di grande diametro rientrino fra gli obiettivi della presente norma sperimentale, i corrispondenti criteri di progetto non dovrebbero essere utilizzati per sistemi apparentemente simili quali gallerie ferroviarie e grandi serbatoi sotterranei di gas.

Per la formulazione di requisiti generali da seguire, come per la loro implementazione, è necessario distinguere fra i sistemi di tubature trattati dalla presente norma sperimentale, per esempio: linee singole e reti ridondanti.

A questo scopo, una tubatura può essere considerata come una linea singola quando il suo comportamento durante e dopo un evento sismico non è influenzato da quello di altre tubature e se le conseguenze della sua rottura sono relative solo alle funzioni richieste ad essa.

Una rete di tubature, per esempio reti per carburante, acqua, gas e infrastrutture sanitarie, in generale è un sistema ridondante richiesto per soddisfare un insieme di utenze e i cui stati di rottura corrispondono all'inabilità del sistema a fornire specificati livelli di funzionamento. Le reti sono spesso troppo ampie e complesse per essere trattate come un unico sistema ed è sia possibile che conveniente identificare reti separate all'interno di quella globale. L'identificazione può risultare dalla separazione della parte del sistema di maggiore scala (per esempio distribuzione regionale) da quella di dimensioni minori (per esempio distribuzione urbana), oppure distinguendo tra funzioni separate compiute dallo stesso sistema. Come esempio di quest'ultima situazione, un sistema urbano di distribuzione dell'acqua può essere diviso in una rete che serve pompe stradali per lo spegnimento di incendi ed un'altra che serve utenti privati. La separazione permetterebbe l'attribuzione di diversi livelli di affidabilità ai due sistemi. Si deve notare che la separazione è messa in relazione a delle funzioni e che quindi non è necessariamente fisica: due diverse reti possono avere vari elementi in comune. Il progetto di reti di tubature coinvolge requisiti di affidabilità e approcci progettuali supplementari rispetto a quelli forniti nella presente norma sperimentale.

Requisiti

Differenziazione dell'affidabilità

Un sistema di tubature che attraversi un'ampia regione geografica incontra un'ampia varietà di rischi sismici e condizioni del terreno. Oltre a ciò, un gran numero di sottosistemi possono essere posizionati lungo il sistema di trasmissione di una tubatura, quali impianti associati (serbatoi, cisterne di riserva, ecc.), oppure attrezzature della tubatura (valvole, pompe, ecc.). In queste circostanze, in cui la resistenza sismica è supposta essere importante, le componenti critiche (pompe, compressori, attrezzature di controllo, ecc.) devono essere progettate con criteri che provvedono ad eliminare quasi completamente il loro danneggiamento nel caso di un sisma di severa entità. Altre componenti, che sono meno essenziali e possono fronteggiare danneggiamenti di maggiore entità, non devono necessariamente essere progettate secondo criteri così stringenti.

Per gli scopi di differenziazione dell'affidabilità, le diverse componenti di un sistema di tubature devono essere classificate come segue.

Classe 1: Strutture e attrezzature che svolgono funzioni vitali che devono rimanere quasi elastiche. Elementi che sono essenziali per l'operazione in condizioni di sicurezza della tubatura o di qualsiasi impianto, o componenti che potrebbero causare grandi perdite di vite umane o un impatto di grande peso sull'ambiente in caso di danneggiamento. Altri elementi, che devono rimanere in funzione per evitare danni che causerebbero una duratura chiusura dell'impianto (sistemi di comunicazione di emergenza, individuazione delle perdite, controllo su incendi, ecc.).

Classe 2: Elementi che devono rimanere operativi dopo un terremoto, ma non devono necessariamente operare durante l'evento; strutture che si possono deformare leggermente all'interno del campo non elastico; impianti che sono vitali, ma il cui esercizio può essere interrotto finché non vengano fatte riparazioni di minore entità. È improbabile che la rottura della componente causi perdite di vite in grande numero.

Classe 3: Edifici, impianti e attrezzature che si possono deformare in campo non elastico sino ad un livello non eccessivo senza inaccettabili perdite di funzione (strutture di supporto di tubature non critiche, edifici che racchiudono operazioni di processo, ecc.), È improbabile che la rottura della componente causi perdite di vite in gran numero.

I valori dei fattori di importanza appropriati per ciascuna classe e come funzioni dell'uso dell'impianto sono dati nel prospetto 1.1 visto in precedenza.

Requisiti di esercizio

I sistemi di tubature devono essere costruiti in modo tale da essere in grado di mantenere il più a lungo possibile la capacità di rifornimento come sistema globale in esercizio, anche nel caso di considerevole danno locale dovuto a terremoti di intensità elevata.

Requisiti di sicurezza

Nel caso di un evento sismico i principali pericoli per la sicurezza direttamente associati alla rottura della tubatura sono l'esplosione e l'incendio, in particolare nel caso di tubature per il gas. Nello stabilire il livello di protezione devono essere considerate la distanza della locazione e le dimensioni della popolazione che è esposta all'impatto della rottura.

Per sistemi di tubature in zone sensibili dal punto di vista ambientale anche il danno all'ambiente causato dalla rottura delle tubature rientrerà nella definizione del rischio accettabile.

Azione sismica

Generalità

I seguenti tipi di rischio sismico diretto ed indiretto hanno rilievo per la progettazione antisismica di sistemi di tubature:

a) propagazione di onde sismiche in terreno compatto che produce:

- diverse vibrazioni del terreno in diversi punti della superficie;
- distribuzioni spaziali delle deformazioni del terreno all'interno dello stesso mezzo;

b) collassi del terreno causati dal terremoto quali:

- frane;
- liquefazione;

c) deformazioni permanenti; spostamenti di faglia sismica.

I due requisiti generali riguardo agli stati limite di servizio ed ultimo in linea di principio devono essere soddisfatti per tutti i tipi di rischio elencati in precedenza. Per i rischi dei tipi b) e c), tuttavia è possibile ritenere in generale che il rispetto dello stato limite ultimo fornisca automaticamente il livello di affidabilità richiesto nei confronti dello stato limite di servizio, cosicché è necessario effettuare solamente un controllo.

Il fatto che i sistemi di tubature attraversino o si estendano attraverso ampie aree geografiche, e la necessità di collegare determinati punti, non permettono sempre le scelte più favorevoli riguardo alla qualità dei terreni di sostegno. Inoltre, può non essere possibile evitare l'attraversamento di faglie potenzialmente attive, o evitare di porre in opera le tubature in terreni suscettibili di fenomeni di liquefazione, come anche in zone che possono essere interessate da frane causate dal sisma e da grandi deformazioni permanenti del terreno. Questa situazione è chiaramente diversa da quella di altre strutture, per le quali un requisito per la stessa possibilità di costruire è che la probabilità di collassi del terreno di qualsiasi tipo sia trascurabile. È riconosciuto che lo stato dell'arte in geofisica (rischi del tipo c) e in geotecnica (rischi del tipo b) non permette in generale di fornire predizioni quantitative, sia deterministiche che probabilistiche, di questi rischi in funzione dell'entità del terremoto e di altre caratteristiche.

Nella maggior parte dei casi, il verificarsi dei rischi b) e c) non può essere semplicemente ricondotto ad una regola. Sulla base dei dati disponibili e dell'esperienza, ipotesi motivate possono essere usate per definire un modello del rischio.

Vibrazioni sismiche

La quantificazione di una componente orizzontale delle oscillazioni sismiche deve essere effettuata in termini di spettro di risposta, oppure uno spettro di potenza, o una rappresentazione nel dominio del tempo (mutuamente compatibili) come presentato nella ENV 1998-1-1: 1994 punto 4, che deve essere considerato come contenente le definizioni di base.

Solo le tre componenti di traslazione dell'azione sismica possono essere considerate (per esempio le componenti rotazionali possono essere trascurate).

Modellazione delle onde sismiche

Deve essere stabilito un modello per le onde sismiche, dal quale devono essere derivate le deformazioni e curvature del terreno che interessano la tubatura.

Le oscillazioni del terreno nei terremoti sono causate da un misto di onde di taglio, di compressione, di Love e di Rayleigh, e le velocità delle onde sono funzione del loro percorso attraverso il materiale che consente maggiore o minore velocità di propagazione. Diversi movimenti delle particelle associati a questi tipi di onde rendono le deformazioni e le curvature anche dipendenti dall'angolo di incidenza delle onde. Una regola generale è ipotizzare che i siti collocati in prossimità dell'epicentro del terremoto sono maggiormente interessati da onde di taglio e di compressione (onde di volume), mentre per siti a maggiore distanza, tendono ad essere più significative onde di Love e Rayleigh (onde di superficie).

La scelta delle onde da considerare e delle corrispondenti velocità di propagazione delle onde deve essere basata fin dove sia possibile su considerazioni di carattere geofisico.

Movimenti permanenti del terreno

Le disposizioni delle rotture del terreno associate ai movimenti del terreno indotti dal terremoto, sia causate da faglie di superficie che da frane, sono abitualmente complesse, con sostanziali variazioni degli spostamenti in funzione della situazione geologica, del tipo di terreno e della

severità e durata del terremoto. La possibilità che questi fenomeni abbiano luogo in siti predeterminati deve essere stabilita e devono essere definiti modelli appropriati.

Metodi di analisi

Tubazioni interrato

Un metodo di analisi accettabile per tubature interrato in terreno stabile, basato su ipotesi approssimate riguardo alle caratteristiche del moto del terreno, è dato nell'appendice B a seguire.

È accettabile trarre vantaggio dalle deformazioni oltre il limite elastico delle tubature. La capacità di deformazione di una tubatura deve essere adeguatamente valutata.

Tubature in superficie

Modellazione

Il modello di una tubatura deve essere in grado di rappresentare le proprietà di massa e rigidità, come anche i gradi di libertà dinamici del sistema, considerando esplicitamente i seguenti aspetti, come opportuno:

- cedevolezza del terreno di fondazione e del sistema di fondazione;
- tipo di collegamento fra la tubatura e la struttura di supporto;
- giunzioni lungo la tubatura e fra i supporti.

Analisi

Le tubature in superficie devono essere analizzate attraverso l'analisi multimodale con lo spettro di risposta di progetto associato come dato nel punto 4.2.4 della ENV 1998-1-1:1994. È anche ammessa l'analisi nel dominio del tempo con accelerogrammi compatibili con lo spettro secondo il punto 4.3.2 della ENV 1998-1-1: 1994.

L'azione sismica deve essere applicata separatamente secondo due direzioni ortogonali (trasversale e longitudinale, per tubature diritte) e la massima risposta combinata deve essere ottenuta, qualora

sia utilizzato l'approccio dello spettro di risposta, usando le regole SRSS oppure CQC, scegliendo quella appropriata.

Indicazioni sulla scelta fra i due metodi sono fornite nel punto 4.2.1.3 della ENV 1998-2:1994. La variabilità spaziale del moto deve essere considerata ogni qual volta la lunghezza della tubatura ecceda i 600 m o quando sono presenti discontinuità geologiche o forti cambiamenti topografici.

Modelli appropriati per tenere in conto la variabilità spaziale del moto sono dati nell'appendice D della ENV 1998-2: 1994.

Fattori di struttura

La capacità di dissipazione di una tubatura in superficie, qualora sia presente, è ristretta alla sua struttura di supporto, poiché sarebbe sia difficile che non conveniente estrarre energia dissipata dalle tubature appoggiate. D'altra parte, forme e materiali usati per i supporti variano ampiamente e questo non permette di stabilire valori dei fattori di struttura di applicabilità generale.

Valori appropriati di q possono essere presi dalle ENV 1998-1-3:1995 e

ENV 1998-2: 1994, sulla base di disposizione, materiale e livello di dettaglio specifici.

Per le strutture considerate nella presente norma sperimentale non è prevista la dissipazione di apprezzabili quantità di energia attraverso il loro comportamento anelastico. Di conseguenza, il valore del fattore di struttura q deve essere generalmente considerato $q = 1$. L'utilizzo di fattori $q > 1$ è permesso solamente a condizione che le fonti di dissipazione di energia siano esplicitamente identificate e quantificate e sia dimostrata la capacità della struttura di sfruttarle attraverso opportuni dettagli costruttivi.

Per il progetto pienamente elastico ($q = 1$) l'azione sismica di progetto è definita dallo spettro elastico. Se vengono adottati valori di $q > 1$, deve essere utilizzato lo spettro di progetto per l'analisi lineare.

Anche se viene adottato un valore $q = 1$ per la risposta globale, gli elementi strutturali devono essere progettati con una certa duttilità locale e costruiti con materiali duttili.

Verifiche

Generalità

Le tubature interrate in terreno stabile e sufficientemente omogeneo devono essere verificate unicamente per le deformazioni del terreno dovute al passaggio delle onde.

Le tubature interrato che attraversino zone dove si possono verificare collassi del terreno o distorsioni concentrate, quali diffusioni laterali, liquefazioni, frane e movimenti di faglia, devono essere verificate per la resistenza a questi fenomeni.

Tubature interrato su terreno stabile (stato limite ultimo)

Le quantità di risposta ottenute dall'analisi sono i valori massimi della deformazione assiale e della curvatura e, per giunzioni non saldate (tubi di calcestruzzo armato o tubi precompressi), le rotazioni e le deformazioni assiali delle giunzioni.

a) Tubature di acciaio

La combinazione di deformazioni assiali e di curvature deve essere compatibile con la duttilità disponibile del materiale in trazione e con la resistenza locale e globale all'instabilità in compressione.

- deformazione ammissibile in trazione 0,05;
- deformazione ammissibile in compressione $0,4 t/R \leq 0,05$,

dove t e R sono rispettivamente lo spessore ed il raggio del tubo.

L'instabilità del tubo verso l'alto secondo il modo di comportarsi di una trave deve essere evitata attraverso un adeguato ricoprimento di terreno o con altri sistemi di vincolo.

b) Tubature di calcestruzzo

Sotto la combinazione più sfavorevole di deformazioni assiali e di curvatura, la sezione del tubo:

- non deve superare la deformazione ultima di compressione;
- non deve superare una deformazione di trazione dell'acciaio tale da produrre fessure permanenti incompatibili con i requisiti specificati.

Sotto la combinazione più sfavorevole di deformazioni assiali e curvature, le giunzioni non soffriranno danni incompatibili con i requisiti specificati.

Tubature interrato sottoposte a spostamenti differenziali del terreno (tubi di acciaio saldati) (stato limite ultimo)

Il segmento di tubazione deformato dallo spostamento del terreno, dovuto a movimenti di faglia oppure causato da una frana o una diffusione laterale, dovrebbe essere controllato rispetto al superamento della duttilità disponibile del materiale in trazione e rispetto all'instabilità locale o

globale in compressione. Le deformazioni limite sono quelle delle tubazioni in acciaio del paragrafo precedente.

In tutte le aree di potenziale rottura del terreno le tubature dovrebbero essere fornite di valvole di chiusura automatica.

Tubature sopraelevate su terreno stabile

Gli effetti dei carichi indotti negli elementi di sostegno (pali, telai, ecc.) dall'azione sismica di progetto considerata per la tubatura deve essere minore o uguale alla capacità di resistenza ultima calcolata come per condizioni non sismiche.

Sotto la combinazione più sfavorevole di deformazioni assiali e curvature, le giunzioni non devono subire danni incompatibili con i requisiti di esercizio specificati.

Per la tubatura stessa si applicano i provvedimenti contenuti nel precedente paragrafo "Tubature interrato su terreno stabile (stato limite ultimo)".

Misure progettuali per l'attraversamento di faglie

La decisione di applicare progetti speciali per l'attraversamento di faglie per tubature che attraversino zone di faglie potenzialmente attive dipende dai costi, dall'attività della faglia, dalle conseguenze della rottura, dall'impatto ambientale e dalla possibile esposizione ad altri pericoli durante il tempo di vita della tubatura.

Nel progetto di una tubatura per l'attraversamento di una faglia, le seguenti considerazioni miglioreranno in genere la capacità della tubatura di far fronte a spostamenti differenziali lungo la faglia:

- a) laddove sia pratico, una tubatura che attraversi una faglia trascorrente deve essere orientata in modo tale da porre la tubatura in trazione;
- b) faglie inverse dovrebbero essere intersecate con un angolo obliquo, che dovrebbe essere il più piccolo possibile, per minimizzare le deformazioni di compressione. Se sono anche previsti spostamenti trascorrenti significativi, l'angolo di attraversamento della faglia dovrebbe essere scelto per determinare un allungamento in trazione della tubatura.

La profondità dell'interramento della tubatura dovrebbe essere minimizzata nelle zone di faglia in modo da ridurre il vincolo del terreno sulla tubatura durante il movimento della faglia.

Un aumento dello spessore della parete del tubo aumenterà la capacità della tubatura nei confronti dello spostamento della faglia, per un dato livello di massima deformazione di

trazione. Sarebbe appropriato utilizzare un tubo con una parete relativamente spessa entro un tratto di 300 m da ciascun lato della faglia. Dovrebbe essere tenuto in conto, tuttavia, che l'integrità delle saldature si può ridurre in corrispondenza di spessori elevati delle pareti. Anche una riduzione dell'angolo di attrito all'interfaccia tra la tubatura ed il terreno aumenta la capacità della tubatura nei confronti dello spostamento della faglia, per un dato livello di massima deformazione di trazione. Un modo per ottenere questo, è utilizzare un rivestimento duro e liscio, come un rivestimento in resina epossidica, nella prossimità dell'attraversamento della faglia.

Uno stretto controllo dovrebbe essere esercitato sul materiale di riempimento attorno alla tubatura lungo un tratto di 300 m su ciascun lato della faglia. In generale, un terreno granulare fra sciolto e mediamente addensato senza ciottoli o blocchi di roccia deve essere un materiale adatto al riempimento. Qualora il terreno presente differisca in modo sostanziale dal questo, si devono scavare dei fossati laterali per un tratto di approssimativamente 15 m su entrambi i lati della faglia.

Per tubature di acciaio saldate, il modo più comune per accomodare i movimenti di faglia è lo sfruttamento della capacità della tubatura di deformarsi ampiamente all'interno del campo non elastico in trazione in modo da conformarsi senza rotture agli spostamenti impressi del terreno. Dove sia possibile, l'allineamento della tubatura all'attraversamento di una faglia deve essere scelto in modo che la tubatura sia soggetta a trazione e ad una lieve flessione. Allineamenti che pongano la tubatura in compressione devono essere evitati per quanto possibile poiché la capacità della tubatura a sostenere deformazioni di compressione senza rottura è significativamente inferiore di quella per deformazioni di trazione. Quando sono presenti deformazioni di compressione, dovrebbero essere limitate a quella deformazione che determina imbozzamento o instabilità locale della tubatura.

In tutte le zone di potenziale rottura del terreno, le tubature devono essere poste in opera all'interno di sezioni relativamente diritte curando di evitare bruschi cambiamenti di direzione ed altezza. Per quanto possibile, le tubature dovrebbero essere costruite senza curve, gomiti e flange che tendano ad ancorare la tubatura al terreno.

APPENDICE B (informativa): **TUBATURE INTERRATE**

Considerazioni generali di progetto

Di regola, le tubature dovrebbero essere appoggiate su terreni la cui stabilità è stata verificata sotto l'azione sismica di progetto. Qualora questa condizione non possa essere soddisfatta, la natura e l'entità dei fenomeni avversi dovrebbero essere valutate esplicitamente, e si dovrebbero adottare appropriate contromisure di progetto.

Due casi estremi: la liquefazione del terreno ed i movimenti di faglia devono essere menzionati, poiché richiedono in genere soluzioni di progetto specifiche per ciascun caso particolare.

La liquefazione del terreno, ogni qualvolta si sia verificata in terremoti passati, ha dato un contributo di primaria importanza al danneggiamento delle tubature.

A seconda delle circostanze, la soluzione può consistere in un aumento della profondità di interrimento, eventualmente anche inserendo i tubi in condutture rigide di dimensioni maggiori, oppure posizionando la tubatura al di sopra del terreno, appoggiandola a distanze abbastanza elevate su pali con buone fondazioni. Nel secondo caso, devono essere considerati anche dei giunti flessibili per permettere spostamenti relativi fra gli appoggi.

Il progetto in corrispondenza dei movimenti di faglia richiede di stimare, talvolta postulandoli, alcuni parametri tra i quali: posizione, dimensione dell'area interessata, tipo e misura dello spostamento di faglia. Dati questi parametri, il modo più semplice di modellare questo fenomeno consiste nel considerare uno spostamento rigido fra le masse di terreno che si interfacciano alla faglia.

Il criterio generale per minimizzare l'effetto di uno spostamento imposto è quello di introdurre il massimo della cedevolezza nel sistema che vi è sottoposto.

Nel caso in considerazione questo si può fare:

- diminuendo la profondità di interrimento in modo da ridurre la reazione di vincolo dato dal terreno;
- predisponendo un grande scavo per i tubi, da riempire con materiale soffice;
- posizionando la tubatura al di sopra del terreno, introducendo elementi di tubatura flessibili ed estensibili.

Azioni sismiche su tubature sotterranee

Il moto del terreno che si propaga sotto la sua superficie è composto di un misto di onde di volume (compressione, taglio) e di superficie (Rayleigh, Love, ecc.), la cui effettiva

composizione dipende molto significativamente dalla profondità della sorgente e dalla distanza tra la sorgente e il sito.

I diversi tipi di onda hanno diverse velocità di propagazione, e diversi moti delle particelle (per esempio parallelamente alla direzione di propagazione delle onde, ortogonalmente ad esse, in modo ellittico, ecc.), Quantunque studi geofisici e sismologici possano fornire una comprensione parziale, sono in genere incapaci di predire l'effettiva distribuzione delle onde, cosicché devono essere assunte delle ipotesi di tipo conservativo.

Un'ipotesi frequentemente formulata è quella di considerare la distribuzione delle onde composta a turno di un solo tipo di onda, quale che sia la più sfavorevole per un determinato effetto sulla tubatura.

I treni di onde possono essere in questo caso facilmente costruiti sulla base del contenuto in frequenza sottostante lo spettro di risposta elastico appropriato per il sito, assegnando a ciascuna componente di frequenza un valore stimato della velocità di propagazione.

Argomenti di tipo teorico e numerose simulazioni numeriche indicano che le forze di inerzia che nascono dall'interazione tra il tubo ed il terreno sono molto più piccole delle forze indotte dalla deformazione del terreno: questo fatto permette di ridurre l'interazione terreno-tubatura ad un problema statico, per esempio, con la tubatura deformata dal passaggio di un'onda di spostamento, senza considerare gli effetti dinamici.

Le forze sulla tubatura possono essere quindi ottenute da un'analisi nel dominio del tempo, in cui il tempo è un parametro la cui funzione è quella di spostare l'onda lungo o attraverso la struttura, quest'ultima connessa al terreno attraverso molle radiali e longitudinali.

Un metodo molto più semplice viene spesso utilizzato, la cui precisione è stata dimostrata essere paragonabile con approccio più rigoroso descritto in precedenza, e che dà in ogni caso una stima di limite superiore delle deformazioni nella tubatura, poiché la considera essere abbastanza flessibile da seguire senza scorrimenti, né interazioni la deformazione del terreno.

Seguendo questo metodo, dovuto a Newmark, il moto del terreno è rappresentato con una singola onda sinusoidale:

$$u(x, t) = d \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

dove d è l'ampiezza dello spostamento totale, e c è la velocità dell'onda apparente.

Il moto delle particelle è assunto essere a turno lungo la direzione di propagazione (onde di compressione), e normale ad essa (onde di taglio) e, per semplicità e per considerare il caso peggiore, l'asse della tubatura e la direzione di propagazione coincidono.

Il moto longitudinale delle particelle produce deformazioni nel terreno e nella tubatura date dall'espressione:

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\omega d}{c} \cos \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

il cui valore massimo è:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{v}{c}$$

con $v = \omega d$ il valore di picco della velocità del terreno.

Il movimento trasversale delle particelle produce un curvatura χ nel terreno e nel tubo data dall'espressione:

$$\chi = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -\frac{\omega^2 d}{c^2} \sin \omega \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

il cui valore massimo è:

$$\chi_{\max} = \frac{a}{c^2}$$

con $a = \omega^2 d$ il valore di picco dell'accelerazione del terreno.

Se le direzioni della tubatura e della propagazione non coincidono, in entrambi i casi di tipo di onda si producono deformazioni longitudinali e curvature, che sono in funzione dell'angolo θ formato dalle due direzioni. Le deformazioni longitudinali in questo caso sono date da:

$$\varepsilon(\vartheta) = \frac{v}{c} \cdot f_1(\vartheta) + \frac{a}{c^2} \cdot f_2(\vartheta) \cdot R$$

dove R è il diametro del tubo. Poiché il secondo termine è in genere piccolo confrontato con il primo, il massimo della somma si verifica quando il primo termine è al proprio massimo, vale a dire con un valore: v/c .

Per soddisfare la condizione di perfetta aderenza fra il tubo ed il terreno, la forza di attrito disponibile per unità di lunghezza deve equilibrare la variazione della forza longitudinale, il che porta a:

$$\tau_{av} = s E \frac{a}{c^2}$$

dove E e s sono rispettivamente il modulo di elasticità e lo spessore del tubo, e τ_{av} è lo sforzo di taglio medio tra il tubo ed il terreno che dipende dal coefficiente di attrito tra il terreno ed il tubo e dalla profondità di interrimento.

Capitolo VII

NORMATIVA TECNICA

SU

TUBAZIONI IN PRFV PER ACQUEDOTTI E FOGNATURE

Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua o scarico e fognatura - Materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) a base di resina poliestere insatura (UP) - Procedure raccomandate per l'installazione (UNI CEN/TS 14578)

La presente norma di specificazione tecnica CEN/TS spiega la prassi raccomandata per l'installazione di sistemi di tubazioni per acquedotti e fognature in materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro a base di resina poliestere insatura, sia in caso di

pressione che di non pressione. La presente norma è applicabile ai diametri che vanno da DN 100 a DN 3000, a temperature non superiori a 50 °C e a pressioni di almeno 0,5 bar.

PROCEDURE

Generalità

Viene prestata attenzione alle limitazioni da rispettare nel caso di applicazione di una pressione negativa del servizio, in particolare se nella zona di riempimento viene rimosso del materiale, e ai requisiti di compattazione meccanica durante l'installazione per tubi con una rigidezza non superiore a SN 5000.

Condizioni speciali per tubi con rigidità nominale minore di SN 1250

Le tubazioni aventi rigidità nominale inferiore a SN 1250 non sono adatte alla posa direttamente sopra il terreno. Se esse sono installate interrate, dovranno essere ricoperte da calcestruzzo.

INFORMAZIONI SPECIFICHE E RACCOMANDAZIONI

Massima altezza di stoccaggio in sito

Il numero di strati nell'accatastamento non dovrebbe superare i valori riportati nella Tabella 1, tranne che nei casi di tubi con una rigidità nominale maggiore di 2500, che possono essere accatastati ad un'altezza superiore se vengono prese delle precauzioni che assicurino la stabilità dell'accatastamento.

Table 1 — Maximum number of layers in a stack

Nominal size DN	Maximum number of layers
100 ≤ DN ≤ 300	5
300 < DN ≤ 600	4
600 < DN ≤ 900	3
900 < DN ≤ 1400	2
1400 < DN	1

Massimo periodo di stoccaggio con esposizione diretta al sole

Quando vengono aggiunti alla tubazione materiali come inibitori ai raggi ultravioletti, o quando viene usato un altro tubo protettivo attorno a quello in PRFV, le tubazioni e le attrezzature possono essere stoccate direttamente alla luce del sole per la loro durata di progetto.

Se invece tubazioni e attrezzature non sono protette in questo modo, esse non dovrebbero essere esposte alla luce del sole per più di due anni.

Si dovrebbe inoltre porre attenzione alla protezione delle guarnizioni in gomma dalla prolungata esposizione al sole.

Limiti di deflessione

In nessun caso il diametro verticale dovrà aumentare più dell' 1,5 % del diametro medio, né l'ovalizzazione iniziale relativa dovrà superare l'1,5 %. Questo può essere verificato con misurazioni quando è terminata la fase di riempimento della zona attorno alla tubazione.

I tubi non in pressione conformi alla norma UNI EN 1796 "Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua con o senza pressione - Materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) a base di resina poliestere insatura (UP)" o alla norma UNI EN 14364 "Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi con o senza pressione - Materie plastiche termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) a base di resina poliestere insatura (UP) - Specifiche per tubi, raccordi e giunzioni", di solito hanno una deflessione ammissibile di lungo termine del 6 % e, in ambo i casi di pressione e non pressione, i tubi hanno una deflessione iniziale massima ammissibile del 3 % ai fini della progettazione.

Può essere necessario permettere deflessioni iniziali minori del 3 %, a seconda della natura del suolo nativo indisturbato, del materiale di riempimento e del grado di compattazione.

La deflessione iniziale dovrebbe essere determinata e monitorata per favorire il raggiungimento di una soddisfacente installazione.

Coefficiente di espansione lineare

Il coefficiente di espansione lineare α si muove entro una gamma di valori compresi tra $2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e $5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. questa proprietà varia con la natura e la quantità di rinforzo in ogni

particolare tubazione. Il fabbricante dovrà fornire le relative informazioni se richieste dal compratore.

Curvatura a freddo

Le tubazioni in PRFV non sono adatte alla curvatura a freddo. I cambi di direzione dovrebbero essere realizzati o utilizzando attrezzature conformi alla norma UNI eN 1796 o alla norma UNI EN 14364 precedentemente citate due paragrafi sopra, oppure sfruttando la flessibilità dei giunti.

Capitolo VIII

NORMATIVA TECNICA
SU TUBAZIONI
IN PVC
PER ACQUEDOTTI

Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione d'acqua - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) – Generalità (UNI EN 1452-1)

Questa parte della norma UNI EN 1452 specifica gli aspetti generali dei sistemi di tubazioni in PVC per acquedotti e fognature. Unitamente alle successive parti di essa che presenteremo in seguito, questa parte è applicabile ai tubi e sistemi di tubazioni in PVC e ai loro giunti e componenti vari.

La temperatura dell'acqua in acquedotto in pressione è all'incirca di 20 °C, comunque sempre inferiore ai 45 °C.

Definizioni riferite alle caratteristiche del materiale

Limite minimo di confidenza (LCL)

Quantità espressa in megapascals (Mpa) (che può essere considerata proprietà del materiale) che rappresenta il 97,5 % del limite minimo di confidenza dello sforzo idrostatico a lungo termine previsto, per acqua a 20 °C per 50 anni.

Resistenza minima richiesto (MRS)

Valore di LCL, approssimato per difetto al valore più vicino della serie R10 quando LCL è inferiore a 10 Mpa, o della serie R20 quando LCL è maggiore o uguale a 10 Mpa.

Le serie R10 e R20 sono le serie di Renard: una serie di Rénard di ordine k è una successione numerica di k elementi, iniziante con il numero 1 e in cui il $(k+1)$ simo elemento è il numero 10; nella successione l' n -simo termine differisce dal precedente $(n-1)$ esimo per un fattore pari alla radice k -sima di 10. In termini matematici:

$$R(i, k) = 10^{\frac{i}{k}}$$

Dove $R(i,k)$ sta per i -esimo termine della serie di Rénard di ordine k . Ad esempio, la serie di Rénard R_{10} ($k=10$) è costituita dai seguenti elementi :

R10: 1.00, 1.25, 1.60, 2.00, 2.50, 3.15, 4.00, 5.00, 6.30, 8.00

e quindi $R_{(0,10)}$ vale quindi 1.00, $R_{(1,10)}$ vale 1.25 e così via.

Coefficiente globale di impiego (di progetto)

Esso ha un valore maggiore di 1 e prende in considerazione le condizioni di impiego come proprietà delle componenti del sistema di tubazioni, proprietà diverse da quelle rappresentate da LCL.

Sforzo di progetto (σ_s)

Sforzo ammissibile, espresso in megapascals, in una data applicazione. Esso dipende dallo sforzo minimo richiesto MRS e da un coefficiente C.

Il valore (o i valori) di C a 20 °C dovranno essere uguali o, se opportuno, più grandi del valore minimo dato in tabella 2 (a seguire), valore stabilito per la pressione statica dovuta all'acqua a 20 °C per 50 anni, tenendo conto delle seguenti considerazioni:

- requisiti specifici per i prodotti, come sforzi addizionali ed altri effetti non quantificabili che possono presentarsi nell'applicazione, come ad esempio i carichi dinamici;
- influenza della temperatura, del tempo e dell'ambiente interno ed esterno alla tubazione, se diversi da 20 °C, 50 anni;
- standards relativi al minimo sforzo richiesto, per temperature diverse da 20 °C.

Il valore minimo di C per vari materiali è riportato nella tabella 2:

Table 2 — Minimum values of C

Material	C min.
ABS	1,6
PB	1,25
PE (all types)	1,25
PE-X	1,25
PP copolymer	1,25
PP homopolymer	1,6
PVC-C	1,6
PVC-HI	1,4
PVC-U	1,6
PVDF copolymer	1,4
PVDF homopolymer	1,6

La relazione per il calcolo di $\underline{\sigma}_s$ è la seguente:

$$\underline{\sigma}_s = MRS / C .$$

Definizioni riferite alle condizioni di impiego

Pressione nominale (PN)

Essa è un'indicazione numerica di una componente di un sistema di tubazioni, relativa alle caratteristiche meccaniche di questa componente utilizzata per gli scopi di riferimento. Per i sistemi di tubazioni in materiali plastici essa corrisponde alla pressione di servizio ammissibile, misurata in bar (1 bar = $10^5 \text{N/m}^2 = 0,1 \text{ Mpa}$), con trasporto di acqua a 20 °C in un periodo di 50 anni.

Pressione di servizio ammissibile (PFA)

Massima pressione idrostatica che una componente è in grado di sopportare in periodo di servizio continuo (esclusi i colpi d'ariete).

Per acqua con temperatura fino a 25 °C

$$PFA = PN,$$

mentre per temperature maggiori

$$PFA = f_T * PN,$$

dove f_T è il fattore di degradazione, che dipende dalla temperatura dell'acqua. Nei casi in cui vi sia un ulteriore fattore di peggioramento (o di miglioramento) si adotta la seguente relazione:

$$PFA = f_A * f_T * PN,$$

dove f_A è un fattore dipendente dall'applicazione.

Pressione ammissibile nel test in sito (PEA)

Massima pressione idrostatica che un componente installato da poco è in grado di sopportare per una durata relativamente breve, al fine di assicurare l'integrità e l'ermeticità della condotta.

Viene usata la seguente regola:

$$PEA = 1,5 PFA ,$$

con un valore massimo di $PEA = PFA + 5 \text{ bar}$.

Sforzo idrostatico (σ)

Sforzo esercitato sulla parete della tubazione, espresso in megapascals, quando viene applicata la pressione utilizzando l'acqua come mezzo. Lo sforzo idrostatico è relativo alla pressione applicata p , in bar, allo spessore della tubazione in ogni punto, e , e al diametro esterno medio, d_{em} delle tubazione. Esso viene calcolato con la seguente formula:

$$\sigma = \frac{10p(d_{em} - e)}{2e} .$$

Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) – Tubi (UNI EN 1452-2)

La Norma di Sistema di cui la presente costituisce la parte 2, specifica i requisiti per un sistema di tubazioni e suoi componenti fatti di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U). Il sistema di tubazioni è destinato all'uso per adduzione d'acqua.

Per ciò che riguarda i potenziali effetti sfavorevoli sulla qualità dell'acqua destinata al consumo umano, causata dai prodotti trattati nella presente norma:

1) la presente norma non fornisce alcuna informazione sulle possibili restrizioni di utilizzo dei prodotti in ogni stato membro dell'UE o dell'EFTA (European free trade Association).

2) Si dovrebbe ricordare che nell'attesa dell'adozione di criteri europei verificabili, i regolamenti nazionali esistenti che riguardano l'uso e/o le caratteristiche di questi prodotti restano in vigore.

Per il materiale e i componenti diversi dai tubi, i requisiti ed i metodi di prova sono specificati nelle parti 1,3 e 4 della EN 1452. Le caratteristiche per l'idoneità all'impiego (principalmente per giunti) sono trattate nella parte 5. Una guida per l'installazione è data nella ENV 1452-6. La ENV 1452-7 è una guida per la valutazione della conformità.

La presente parte della EN 1452 specifica le caratteristiche dei tubi fatti di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) per i sistemi di tubazioni nel campo dell'adduzione d'acqua.

Essa specifica anche i parametri di prova per i metodi di prova che fanno riferimento alla presente norma.

Insieme alle parti da 1 a 5 della EN 1452 e della ENV 1452-7, essa si applica ai tubi estrusi di PVC-U senza bicchiere ed a tubi con bicchiere (integrale o no) che possono essere utilizzati per gli impieghi seguenti:

- a) condotte principali e diramazioni interrate;
- b) trasporto d'acqua sopra terra sia all'esterno che all'interno degli edifici;

per la fornitura d'acqua sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) destinata al consumo umano per usi generali.

La presente norma è anche applicabile a tubazioni per l'adduzione d'acqua fino 45 °C compresi. Per temperature tra 25°C e 45°C si applica la figura A.1 dell'appendice A.

La presente norma copre un gruppo di dimensione di tubi e di classi di pressioni e dà i requisiti relativi ai colori.

Ai fini della presente norma si applicano i simboli dati nella EN 1452-1, insieme alle seguenti:

L: lunghezza del bicchiere;

m: profondità dell'inserzione.

MATERIALE

Materiale per i tubi

Il materiale da utilizzare deve essere conforme alla EN 1452-1 ed ai requisiti dati nei prossimi due paragrafi.

Massa volumica

La massa volumica, ρ , a 23°C del tubo, se misurata in conformità con la ISO 1183, deve essere compresa nei limiti seguenti:

$$1350 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 1460 \text{ kg/m}^3 .$$

Valore MRS

Il materiale per i tubi deve avere una resistenza minima richiesta MRS, come definita nella EN 1452-1, di almeno 25 MPa.

Il materiale del tubo deve essere valutato secondo l'ISO/TR 9080, metodo II, in cui una prova di pressione interna si effettua secondo la EN 921:1995 per trovare l'LCL. La valutazione deve essere effettuata con una chiusura di estremità del tipo a) o b) secondo la EN 921:1995, utilizzando un tubo di serie $S \leq 12,5$. Ricordiamo che la serie del tubo è legata allo "standard dimension ratio" SDR dalla formula seguente:

$$S = (SDR - 1) / 2 ,$$

e che:

$$SDR = d_e / e_n ,$$

dove d_e è il diametro esterno nominale e e_n è lo spessore nominale della parete del tubo. Nel caso del nostro tubo in PVC in esame, ricordiamo che l'SDR è 20, pertanto S sarà di 9,5.

Il valore MRS deve essere ricavato dall'LCL, ed il materiale del tubo deve essere classificato dal fabbricante della composizione in conformità con la EN ISO 12162.

Dove è disponibile un'esperienza di lungo termine a seguito di un cambiamento nel materiale/composizione (compound), non è necessario rivalutare l'MRS. In questo caso i valori determinati con 5 provette a 20 °C e 60 °C da 1000 h a 5000 h, devono essere collocati su o sopra il 97,5% dell'LCL della curva caratteristica a lungo termine stabilita prima di un cambiamento del (della) materiale/composizione (compound).

CARATTERISTICHE GENERALI

Aspetto

All'esame visivo senza ingrandimento, le superfici interne ed esterne dei tubi devono essere lisce, pulite ed esenti da screpolature, cavità e altri difetti superficiali suscettibili di impedire la conformità alla presente norma. Il materiale non deve contenere alcuna impurità visibile senza ingrandimento. Le estremità dei tubi devono essere tagliate nettamente, perpendicolarmente all'asse del tubo.

Colore

I tubi devono essere di colore grigio, blu o crema. Il colore dei tubi deve essere uniforme per tutto lo spessore. Per le applicazioni sopra terra non devono essere impiegati tubi di colore crema.

Opacità

La parete del tubo deve essere opaca e non deve trasmettere più dello 0,2% della luce visibile, misurata secondo la EN 57S. Questo requisito non è applicabile ai tubi di colore crema.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Misurazione delle dimensioni

Le dimensioni devono essere misurate secondo il prEN 496.

Diametri esterni nominali

Il diametro esterno nominale, d_n , di un tubo deve essere conforme al prospetto 1 a seguire.

Diametri esterni medi e loro tolleranze

Il diametro esterno medio, d_{em} di un tubo deve essere conforme al relativo diametro esterno nominale, d_n , entro le tolleranze date nel prospetto 1.

Le tolleranze per lo scostamento della circolarità devono essere conformi al prospetto 1.

Diametri esterni nominali e tolleranze

Dimensioni in mm

Diametro esterno nominale d_n	Tolleranza per il diametro esterno medio $d_{em}^{1)}$ x	Tolleranza per lo scostamento dalla circolarità (ovalizzazione) ²⁾	
		da S 20 a S 16 ³⁾	da S 12,5 ad S 5 ⁴⁾
12	0,2	-	0,5
16	0,2	-	0,5
20	0,2	-	0,5
25	0,2	-	0,5
32	0,2	-	0,5
40	0,2	1,4	0,5
50	0,2	1,4	0,6
63	0,3	1,5	0,8
75	0,3	1,6	0,9
90	0,3	1,8	1,1
110	0,4	2,2	1,4
125	0,4	2,5	1,5
140	0,5	2,8	1,7
160	0,5	3,2	2,0
180	0,6	3,6	2,2
200	0,6	4,0	2,4
225	0,7	4,5	2,7
250	0,8	5,0	3,0
280	0,9	6,8	3,4
315	1,0	7,6	3,8
355	1,1	8,6	4,3
400	1,2	9,6	4,8
450	1,4	10,8	5,4
500	1,5	12,0	6,0
560	1,7	13,5	6,8
630	1,9	15,2	7,6
710	2,0	17,1	8,6
800	2,0	19,2	9,6
900	2,0	21,6	-
1 000	2,0	24,0	-

1) La tolleranza è conforme al grado D della ISO 11922-1:1997 per $d_n \leq 50$ e al grado C per $d_n > 50$.
La tolleranza è espressa nella forma $\begin{matrix} +x \\ 0 \end{matrix}$ mm dove x è il valore della tolleranza.

2) La tolleranza è espressa come differenza tra il massimo ed il minimo diametro esterno in una sezione trasversale del tubo (ossia $d_{e,max} - d_{e,min}$).

3) Per un $d_n \leq 250$, la tolleranza è conforme al grado N della ISO 11922-1:1997. Per $d_n > 250$, la tolleranza è conforme al grado M della ISO 11922-1:1997. I requisiti per lo scostamento della circolarità (ovalizzazione) si applicano solamente ai tubi prima dell'immagazzinamento.

4) Per un d_n da 12 a 1 000, la tolleranza è conforme a 0,5 grado M della ISO 11922-1:1997. I requisiti per l'ovalizzazione sono applicabili solamente prima dell'uscita dei tubi dallo stabilimento del fabbricante.

Spessori di parete e relative tolleranze

Gli spessori nominali di parete, e_n , sono classificati in base alle serie dei tubi S. Lo spessore nominale di parete corrisponde allo spessore di parete minimo ammissibile.

Lo spessore nominale di parete deve essere conforme al prospetto 2, appropriato alla serie del tubo. La tolleranza per lo spessore di parete medio e_m , deve essere conforme al prospetto 3.

Spessore nominale di parete (minimo)

Dimensioni in mm

Diametro esterno nominale	Spessore di parete nominale (minimo)							
	Serie Tubi S							
	S 20 (SDR 41)	(S 16,7) (SDR 34,4)	S 16 (SDR 33)	S 12,5 (SDR 26)	S 10 (SDR 21)	S 8 (SDR 17)	S 6,3 (SDR 13,6)	S 5 (SDR 11)
d_n	Pressione nominale PN basata sul coefficiente di impiego (progetto) $C=2,5$							
		PN 6	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
12		-	-	-	-	-	-	1,5
16		-	-	-	-	-	-	1,5
20		-	-	-	-	-	1,5	1,9
25		-	-	-	-	1,5	1,9	2,3
32		-	-	1,5	1,6	1,9	2,4	2,9
40		-	1,5	1,6	1,9	2,4	3,0	3,7
50		1,5	1,6	2,0	2,4	3,0	3,7	4,6
63		1,9	2,0	2,5	3,0	3,8	4,7	5,8
75		2,2	2,3	2,9	3,6	4,5	5,6	6,8
90		2,7	2,8	3,5	4,3	5,4	6,7	8,2
	Pressione nominale PN basata su un coefficiente di impiego (progetto) $C=2,0$							
	PN 6	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
110	2,7	3,2	3,4	4,2	5,3	6,6	8,1	10,0
125	3,1	3,7	3,9	4,8	6,0	7,4	9,2	11,4
140	3,5	4,1	4,3	5,4	6,7	8,3	10,3	12,7
160	4,0	4,7	4,9	6,2	7,7	9,5	11,8	14,6
180	4,4	5,3	5,5	6,9	8,6	10,7	13,3	16,4
200	4,9	5,9	6,2	7,7	9,6	11,9	14,7	18,2
225	5,5	6,6	6,9	8,6	10,8	13,4	16,6	-
250	6,2	7,3	7,7	9,6	11,9	14,8	18,4	-
280	6,9	8,2	8,6	10,7	13,4	16,6	20,6	-
315	7,7	9,2	9,7	12,1	15,0	18,7	23,2	-
355	8,7	10,4	10,9	13,6	16,9	21,1	26,1	-
400	9,8	11,7	12,3	15,3	19,1	23,7	29,4	-
450	11,0	13,2	13,8	17,2	21,5	26,7	33,1	-
500	12,3	14,6	15,3	19,1	23,9	29,7	36,8	-
560	13,7	16,4	17,2	21,4	26,7	-	-	-
630	15,4	18,4	19,3	24,1	30,0	-	-	-
710	17,4	20,7	21,8	27,2	-	-	-	-
800	19,6	23,3	24,5	30,6	-	-	-	-
900	22,0	26,3	27,6	-	-	-	-	-
1 000	24,5	29,2	30,6	-	-	-	-	-

Nota 1 Lo spessore nominale di parete è conforme alla ISO 4065:1996.
Nota 2 Per applicare un coefficiente globale di servizio (progetto) di 2,5 invece di 2,0 per tubi di diametro nominale maggiore di 90 mm, deve essere scelta la classe superiore di pressione PN.
Nota 3 I valori di PN 6 per S 20 e S 16 sono calcolati con il numero preferenziale 6,3.
Nota 4 La serie di tubi S 16,7 tra parentesi deve essere eliminata alla fine del 1999.

Tolleranze sullo spessore di parete

Dimensioni in mm

Spessore nominale di parete (minimo) e_n		Tolleranza sullo spessore medio di parete x	Spessore nominale di parete (minimo) e_n		Tolleranza sullo spessore medio di parete x
>	≤		>	≤	
1,0	2,0	0,4	21,0	22,0	2,4
2,0	3,0	0,5	22,0	23,0	2,5
3,0	4,0	0,6	23,0	24,0	2,6
4,0	5,0	0,7	24,0	25,0	2,7
5,0	6,0	0,8	25,0	26,0	2,8
6,0	7,0	0,9	26,0	27,0	2,9
7,0	8,0	1,0	27,0	28,0	3,0
8,0	9,0	1,1	28,0	29,0	3,1
9,0	10,0	1,2	29,0	30,0	3,2
10,0	11,0	1,3	30,0	31,0	3,3
11,0	12,0	1,4	31,0	32,0	3,4
12,0	13,0	1,5	32,0	33,0	3,5
13,0	14,0	1,6	33,0	34,0	3,6
14,0	15,0	1,7	34,0	35,0	3,7
15,0	16,0	1,8	35,0	36,0	3,8
16,0	17,0	1,9	36,0	37,0	3,9
17,0	18,0	2,0	37,0	38,0	4,0
18,0	19,0	2,1			
19,0	20,0	2,2			
20,0	21,0	2,3			

Nota 1 La tolleranza si applica allo spessore di parete nominale (minimo) ed è espressa come ${}^{+x}_0$, dove x è il valore della tolleranza per lo spessore di parete medio, e_m .

Nota 2 La tolleranza per lo spessore medio, e_m , è conforme al grado W della ISO 11922-1:1997.

Lunghezza del tubo

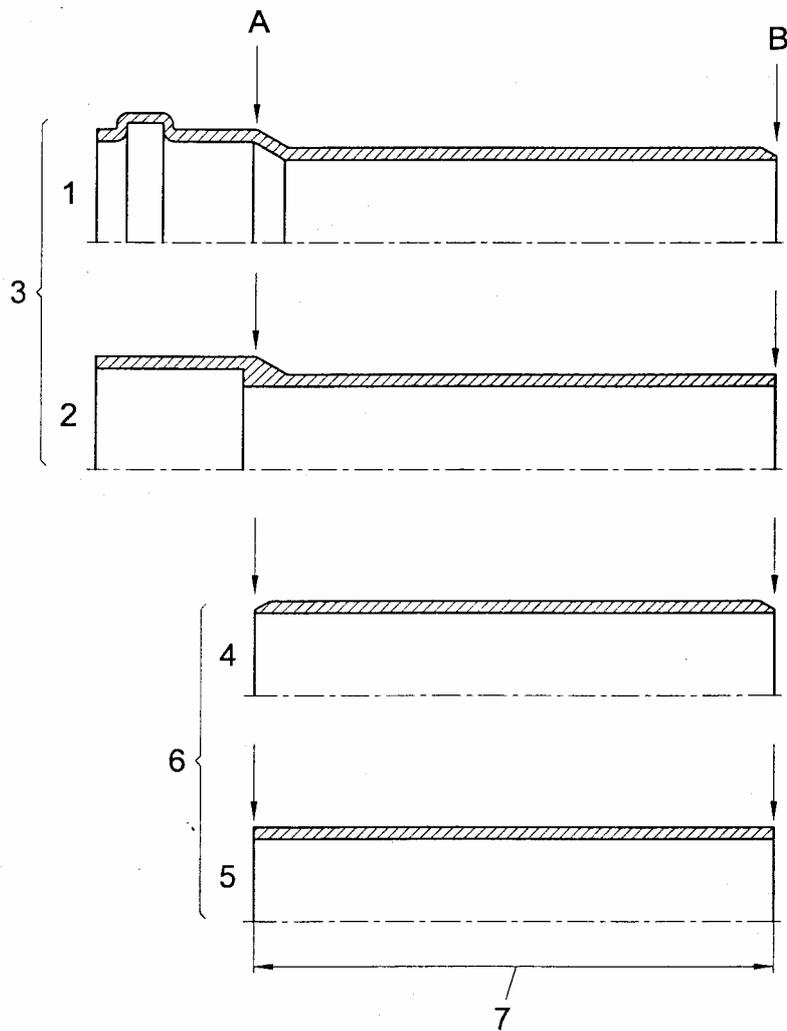
La lunghezza nominale del tubo deve essere una lunghezza minima, che non comprende la profondità delle parti del bicchiere, come illustrato nella figura 1.

La lunghezza nominale del tubo è di preferenza 6 m. Altre lunghezze possono essere oggetto di accordi tra fabbricante ed acquirente.

Punti di misura della lunghezza nominale del tubo

Legenda:

- A Punto di misura
- B Punto di misura
- 1 Guarnizione
- 2 Adesivo
- 3 Tubo con un solo bicchiere
- 4 Con smusso
- 5 Senza smusso
- 6 Tubo con estremità liscia
- 7 Lunghezza nominale del tubo

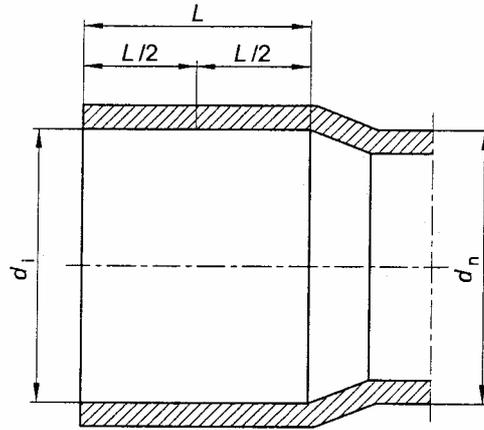


Tubi con bicchieri

Bicchieri da incollare

Le dimensioni dei bicchieri da incollare sono indicate nella figura 2. Esse devono essere conformi al prospetto 4.

figura 2 **Bicchieri da incollare**



Il diametro interno nominale di un bicchiere deve essere uguale al diametro esterno nominale d_n del tubo.

L'angolo di spoglia interno massimo nella zona del bicchiere non deve essere maggiore di $0^\circ 30'$ (30 min).

I requisiti relativi al diametro interno medio d_{im} dei bicchieri si devono riferire alla mezzeria della lunghezza del bicchiere.

Dimensioni dei bicchieri da incollare

Dimensioni in mm

Diametro interno nominale del bicchiere	Diametro interno medio del bicchiere		Ovalizzazione massima per α'	Lunghezza minima del bicchiere
	$d_{m,min}$	$d_{m,max}$		
d_n			¹⁾	L_{min} ²⁾
12	12,1	12,3	0,25	12,0
16	16,1	16,3	0,25	14,0
20	20,1	20,3	0,25	16,0
25	25,1	25,3	0,25	18,5
32	32,1	32,3	0,25	22,0
40	40,1	40,3	0,25	26,0
50	50,1	50,3	0,3	31,0
63	63,1	63,3	0,4	37,5
75	75,1	75,3	0,5	43,5
90	90,1	90,3	0,6	51,0
110	110,1	110,4	0,7	61,0
125	125,1	125,4	0,8	68,5
140	140,2	140,5	0,9	76,0
160	160,2	160,5	1,0	86,0
180	180,2	180,6	1,1	96,0
200	200,2	200,6	1,2	106,0
225	225,3	225,7	1,4	118,5
250	250,3	250,8	1,5	131,0
280	280,3	280,9	1,7	146,0
315	315,4	316,0	1,9	163,5
1) Le tolleranze di scostamento della circolarità (ovalizzazione) sono i valori arrotondati di 0,25 volte il grado M della ISO 11922-1:1997.				
2) Le lunghezze minime del bicchiere sono uguali a $(0,5 d_n + 6 \text{ mm})$ o di 12 mm, se $(0,5 d_n + 6 \text{ mm}) \leq 12 \text{ mm}$.				

Bicchieri per giunti con guarnizione di tenuta

La profondità minima di inserzione, m_{min} dei bicchieri semplici per giunti con guarnizione di tenuta di elastomero, (vedere figura 3) è basata su lunghezze di tubi fino a 12 m, e deve essere conforme al prospetto 5.

Lo spessore di parete dei bicchieri in un punto qualunque, ad eccezione della gola per la guarnizione, non deve essere minore dello spessore minimo di parete del tubo a cui si raccordano. Lo spessore di parete della gola per la guarnizione non deve essere minore di 0,8 volte lo spessore minimo di parte dal tubo da raccordare.

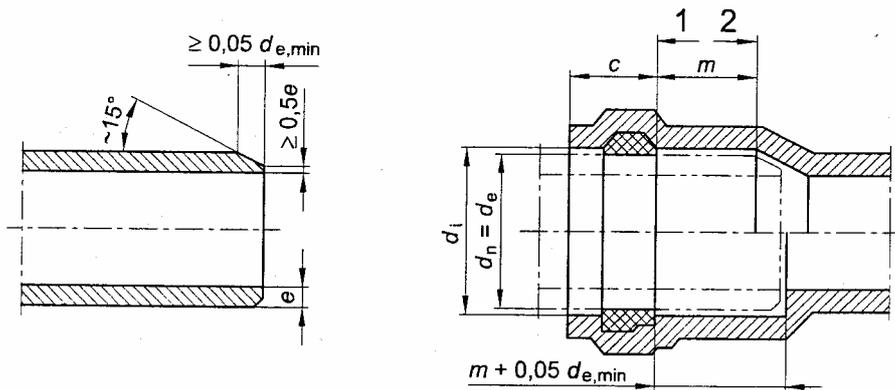
I requisiti per i diametri interni medi, d_{im} dei bicchieri devono essere applicati nel punto di mezzo della profondità di inserzione m .

La figura 3 illustra l'inserzione quando il codolo è spinto a fondo nel bicchiere. Per le istruzioni di montaggio vedere la ENV 1452-6.

figura 3 **Bicchieri e codolo per tubi con guarnizione di tenuta**

Legenda

- 1 Inizio dell'area della guarnizione
- 2 Fine della parte cilindrica del bicchiere e del tubo



Dimensioni dei bicchieri per giunto con guarnizione elastomerica

Dimensioni in mm

Diametro interno nominale del bicchiere	Minimo diametro interno del bicchiere	Scostamento massimo dalla circolarità per $\alpha^{2)}$		Profondità minima di inserzione	Lunghezza della zona di ingresso del bicchiere e dell'area della guarnizione
		da S 20 a S 16	da S 12,5 a S 5		
32	32,3	0,6	0,3	55	27
40	40,3	0,8	0,4	55	28
50	50,3	0,9	0,5	56	30
63	63,4	1,2	0,6	58	32
75	75,4	1,2	0,7	60	34
90	90,4	1,4	0,9	61	36
110	110,5	1,7	1,1	64	40
125	125,5	1,9	1,2	66	42
140	140,6	2,1	1,3	68	44
160	160,6	2,4	1,5	71	48
180	180,7	2,7	1,7	73	51
200	200,7	3,0	1,8	75	54
225	225,8	3,4	2,1	78	58
250	250,9	3,8	2,3	81	62
280	281,0	5,1	2,6	85	67
315	316,1	5,7	2,9	88	72
355	356,2	6,5	3,3	90	79
400	401,3	7,2	3,6	92	86
450	451,5	8,1	4,1	95	94
500	501,6	9,0	4,5	97	102
560	561,8	10,2	5,1	101	112
630	632,0	11,4	5,7	105	123
710	712,3	12,9	6,5	109	136

1) $\alpha_{m,\min}$ è misurato nella mezzeria della zona di inserzione, m , ed è calcolato con l'appropriata equazione, come segue:
 $\alpha_{m,\min} = \alpha_n + 0,3$ mm, quando $\alpha_n \leq 50$
 $\alpha_{m,\min} = \alpha_n + 0,4$ mm, quando $63 \leq \alpha_n \leq 90$
 $\alpha_{m,\min} = 1,003 \alpha_n + 0,1$ mm, quando $\alpha_n \geq 110$.
Il valore ottenuto deve essere arrotondato allo 0,1 mm più vicino.

2) Le tolleranze sullo scostamento dalla circolarità (ovalizzazione) sono valori arrotondati di 0,75 gradi secondo la ISO 11922-1:1997 per S 20 a S 16 come segue:
0,75 gradi M per $32 \leq \alpha_n \leq 50$;
0,75 gradi M per $63 \leq \alpha_n \leq 250$;
0,75 gradi M per $280 \leq \alpha_n \leq 710$;
Per le serie di tubi da S 12,5 a S 5 : 0,375 volte il grado M, ad eccezione di 0,3 volte il grado M per $\alpha_n = 32$

3) Il valore di m_{\min} si calcola con l'equazione seguente:
 $m_{\min} = 50$ mm + 0,22 $\alpha_n - 2e$ (S 10) quando $\alpha_n \leq 280$
 $m_{\min} = 70$ mm + 0,15 $\alpha_n - 2e$ (S 10) quando $\alpha_n > 280$
I valori ottenuti devono essere arrotondati allo 0,1 mm più vicino.

4) Il valore di c è calcolato con l'equazione seguente: $c = 22 + 0,16 \alpha_n$ e c è dato solamente a titolo indicativo per il calcolo delle lunghezze minime dei codoli. I fabbricanti devono indicare i valori di c nei loro cataloghi.

Estremità dei tubi per giunti con guarnizione o incollati

I tubi con estremità lisce da utilizzare con guarnizioni elastomeriche o con bicchieri incollati, devono essere smussati come illustrato in figura 3. I tubi a estremità lisce da utilizzare per altri giunti incollati non devono avere bordi acuminati.

CLASSIFICAZIONE E SCELTA DEI TUBI

Classificazione

I tubi devono essere classificati secondo la loro pressione nominale PN e la serie S.

Scelta della pressione nominale PN e della serie S dei tubi per acqua fino a circa 20°C

La pressione nominale PN, la serie S del tubo e il carico unitario di calcolo σ_s sono legati dalla relazione seguente:

$$PN = 10 \sigma_s / S .$$

Per i tubi di PVC-U σ_s si ricava da un MRS ≥ 25 MPa diviso per il coefficiente globale di impiego (progetto). Questo coefficiente deve essere 2,5 per i diametri esterni nominali fino a 90 mm compresi e 2,0 per i diametri esterni nominali maggiori di 90 mm.

Per questo lo sforzo di progetto σ_s deve essere di 10,0 MPa per diametri esterni nominali fino a 90 mm compresi e di 12,5 MPa per i diametri esterni nominali maggiori di 90 mm.

La serie di tubi appropriata deve essere ricavata dal prospetto 2.

Determinazione della pressione operativa ammissibile (PFA) per l'acqua fino a 45°C

La pressione operativa ammissibile (PFA) per temperature fino a 25°C deve essere uguale alla pressione nominale PN.

Per determinare la pressione operativa ammissibile, PFA per temperature tra 25°C e 45 °C si deve applicare alla pressione nominale PN un coefficiente di riduzione supplementare f_T nel modo seguente:

$$PFA = f_T * PN$$

Questo coefficiente è dato nella figura A.1 dell'appendice A.

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Resistenza agli urti

I tubi di spessore nominale di parete di 14,9 mm o meno, quando sono sottoposti a urti esterni a 0 °C secondo la EN 744:1995, devono avere una percentuale effettiva di rottura (TIR) di non più del 10% quando la prova è effettuata ai livelli indicati nel prospetto 6.

I tubi delle serie da S 5 a S 10 devono essere sottoposti a prova al livello medio M ed i tubi delle serie da S 12,5 a S 20 devono essere sottoposti a prova al livello elevato H.

Il tipo del percussore deve essere quello del prospetto 2 della EN 744: 1995 e dipende dal valore della massa cadente.

Il metodo di campionamento deve essere conforme alla ENV 1452-7. Per ragioni pratiche questa prova non è applicabile ai tubi di diametro $d_n < 20$ mm.

Requisiti della prova d'urto con massa cadente

Diametro esterno nominale α_n	Livello medio M			Livello elevato H		
	Massa del percussore	Altezza di caduta	Energia d'urto ¹⁾²⁾	Massa del percussore	Altezza di caduta	Energia d'urto ¹⁾²⁾
mm	kg	m	Nm	kg	m	Nm
20	0,5	0,4	2	0,5	0,4	2
25	0,5	0,5	2,5	0,5	0,5	2,5
32	0,5	0,6	3	0,5	0,6	3
40	0,5	0,8	4	0,5	0,8	4
50	0,5	1,0	5	0,5	1,0	5
63	0,8	1,0	8	0,8	1,0	8
75	0,8	1,0	8	0,8	1,2	9,5
90	0,8	1,2	9,5	1,0	2,0	20
110	1,0	1,6	16	1,6	2,0	31
125	1,25	2,0	25	2,5	2,0	49
140	1,6	1,8	28	3,2	1,8	57
160	1,6	2,0	31	3,2	2,0	63
180	2,0	1,8	35	4,0	1,8	71
200	2,0	2,0	39	4,0	2,0	78
225	2,5	1,8	44	5,0	1,8	88
250	2,5	2,0	49	5,0	2,0	98
280	3,2	1,8	57	6,3	1,8	111
≥315	3,2	2,0	63	6,3	2,0	124

1) Basato su $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

2) Sotto i 10, arrotondare allo 0,5 inferiore; sopra i 10, arrotondare ai numeri interi.

Resistenza alla pressione interna

I tubi devono resistere, senza scoppio o perdite, allo sforzo idrostatico indotto dalla pressione idrostatica interna nelle prove secondo la EN 921: 1995 alle condizioni di prova specificate nel prospetto 7.

Per questa prova si possono utilizzare i tappi di estremità del tipo a) o del tipo b) secondo la EN 921:1995.

Il metodo di campionamento deve essere conforme alla ENV 1452-7.

Requisiti di prova dei tubi a pressione

Caratteristica	Requisito	Parametri di prova				Metodo di prova
		Temperatura	Carico unitario circonferenziale	Durata	Tipo di prova	
		°C	MPa	h		
Resistenza a breve e lungo termine	Nessun cedimento durante la prova	20	42,0	1	Con acqua Nell'acqua	EN 921:1995
		20	35,0	100		
		60	12,5	1 000		

I bicchieri integrali devono essere provati con la EN 921 :1995 utilizzando i parametri dati nel prospetto 8. Per questa prova si possono utilizzare i tappi di estremità del tipo a) o b) secondo la EN 921 :1995, e l'ingresso nel bicchiere può essere rinforzato esteriormente per impedire lo spostamento della guarnizione di tenuta. Il metodo di campionamento deve essere conforme alla ENV 1452-7.

Requisiti per le prove a pressione per tutti i tipi di bicchieri integrali dei tubi

Caratteristica	Requisito	Parametri di prova					Metodo di prova
		Diametro nominale d_n	Temperatura	Pressione	Durata	Tipo di prova	
			°C	bar	h		
Resistenza a breve e lungo termine	Nessun cedimento durante la prova	≤90 mm	20	4,2 × [PN]	1	Con acqua Nell'acqua	EN 921:1995
		>90 mm	20	3,36 × [PN]	1		

CARATTERISTICHE FISICHE

Se sottoposti a prova in conformità ai metodi specificati di prova nel prospetto 9, utilizzando i prescritti parametri, i tubi devono avere caratteristiche fisiche conformi ai requisiti dati nel prospetto 9.

La procedura di campionamento deve essere conforme alla ENV 1452-7.

Caratteristiche fisiche

Caratteristica	Requisito	Parametri di prova		Metodo di prova
Temperatura di rammollimento Vicat (VST)	≥ 80 °C	Devono essere conformi alla EN 727		EN 727
Ritiro longitudinale	Massimo 5%	Temperatura di prova	(150 ± 2) °C	EN 743 Metodo A (liquido) ¹⁾
		Periodo di prova per $e \leq 8$ mm $e > 8$ mm	30 min 15 min	
		o ¹⁾		
		Temperatura di prova	(150 ± 2) °C	EN 743, Metodo B (aria)
		Periodo di prova per $e \leq 8$ mm	60 min	
		8 mm < $e \leq 16$ mm $e > 16$ mm	120 min 240 min	
Resistenza al dicloro- metano a temperatura elevata ²⁾ (Grado di gelificazione)	Nessun attacco in alcuna parte della superficie della provetta	Temperatura del bagno: Tempo di immersione: Spessore minimo di parete	(15 ± 1) °C 30 min: 1,5 mm	EN 580
1) In caso di contestazione si deve utilizzare il metodo B.				
2) Per i requisiti per la terracità alla frattura vedere anche l'appendice C e la nota 2) al prospetto 11 della ENV 1452-7.				

CARATTERISTICHE CHIMICHE

I tubi di PVC-U non devono contenere cloruro di vinile monomero (VCM) in quantità maggiore di 1 ppm, se determinata per cromatografia in fase gassosa utilizzando il metodo allo "spazio di testa" secondo la ISO 6401. La procedura di campionamento deve essere eseguita secondo la EN 1452-7.

GUARNIZIONI DI TENUTA

Il materiale degli anelli di tenuta utilizzati nelle giunzioni dei tubi deve essere scelto dalla EN 681-1 e deve essere conforme alla classe appropriata.

La guarnizione non deve esercitare un'azione dannosa per le caratteristiche del tubo e non deve provocare la mancata funzionalità dei requisiti della EN 1452-5.

ADESIVI

L'(Gli) adesivo(i) non deve (devono) danneggiare il tubo e non deve (devono) impedire alle giunzioni di risultare conformi alla EN 1452-5.

Gli adesivi devono essere identificati in base alla ISO 7387-1 e le loro proprietà devono rispondere alle norme pertinenti.

Una norma relativa al metodo di prova per la determinazione delle proprietà dei film è in preparazione (vedere UNI EN ISO 9311-1).

REQUISITI PRESTAZIONALI

Quando i tubi conformi alla presente norma sono giuntati tra loro o a componenti conformi alle altre parti della EN 1452, i tubi e le giunzioni devono soddisfare i requisiti della EN 1452-5.

MARCATURA

Generalità

I particolari della marcatura devono essere stampati o formati direttamente sul tubo a intervalli massimi di 1 m, in modo che dopo immagazzinamento, esposizione alle intemperie, maneggio e posa in opera (per esempio secondo la ENV 1452-6), la leggibilità sia mantenuta durante l'uso del prodotto.

Il fabbricante non è responsabile se la marcatura diventa illeggibile a causa di azioni effettuate durante la posa o in servizio, come la pitturazione, l'abrasione, il ricoprimento dei tubi o l'uso di detersivi.

La marcatura non deve provocare fessure o altri tipi di deterioramento che possano nuocere alle esigenze della presente norma.

Se si utilizza la stampa, il colore delle informazioni stampate deve essere differente dal colore di base dei tubi.

Le dimensioni della marcatura devono essere tali da essere leggibili senza ingrandimento.

Marcatura minima richiesta

La marcatura minima richiesta sui tubi deve essere conforme al prospetto 10.

Marcatura minima richiesta per i tubi

Aspetti	Marcatura o simbolo
- Numero della norma di sistema	EN 1452
- Nome del fabbricante e/o marchio commerciale	xyz
- Materiale	PVC-U
- Diametro esterno nominale d_n × spessore di parete e_n	per esempio 110 × 6,6
- Pressione nominale PN ¹⁾	per esempio PN 16
- Informazioni del fabbricante ²⁾	per esempio 90.06.14
- Numero della linea di estrusione ³⁾	per esempio N° 12
1)	La marcatura dei tubi della serie S può essere inclusa, per esempio, PN 16/S8.
2)	Per ottenere la rintracciabilità, devono essere indicati i particolari seguenti: a) il periodo di fabbricazione, anno, in cifre o in codice; b) un nome o un codice per il luogo di fabbricazione, se il fabbricante produce in diverse località, a livello nazionale e/o internazionale;
3)	Se non è compreso nelle istruzioni del fabbricante.

Marcatura supplementare

I tubi che sono conformi alla presente norma ed anche ad altre norme, possono essere marcati in aggiunta anche con il(i) numero(i) delle altre norme, assieme alla marcatura minima richiesta in accordo con le altre norme.

Si raccomanda che i tubi acquistati specificamente per la distribuzione di acqua pubblica devono, inoltre, riportare una marcatura con la parola “ACQUA”.

I tubi conformi alla presente norma, e che sono certificati da una parte terza, possono essere marcati di conseguenza.

Si fa presente l'eventuale necessità di apporre la marcatura CE, se legalmente richiesta.

APPENDICE A (normativa): PRESSIONI OPERATIVE AMMISSIBILI***Pressione nominale PN dei tubi***

La pressione nominale PN di un tubo deve essere progettata in conformità con il prospetto A.1 in dipendenza del diametro del tubo e della serie del tubo S.

Pressioni nominali dei tubi

Diametro nominale d_n	Pressioni nominali							
	Serie di tubi							
	S 20 (SDR 41)	S 16,7 ¹⁾ (SDR 34,4)	S 16 (SDR 33)	S 12,5 (SDR 26)	S 10 (SDR 21)	S 8 (SDR 17)	S 6,3 (SDR 13,6)	S 5 (SDR 11)
≤90	-	(PN 6)	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
>90	PN 6	(PN 7,5)	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
1) Le pressioni nominali della serie di tubi S 16,7 devono essere soppresse alla fine dell'anno 1999.								

Il caso da prendere in esame per il nostro tubo di 500 mm di diametro, S di 9,5 e SDR 20 è quello della quinta colonna delle serie di tubi. Consideriamo una PN 10 per uniformità di confronto con le pressioni nominali assunte anche per il polietilene e il vetroresina come esempi.

Pressione nominale PN del sistema

Tutti i componenti del sistema conformi alla presente norma devono essere classificati e marcati con il loro PN ed eventualmente con la serie del tubo S. Ogni componente può essere impiegato fino ad una temperatura di 25°C per una pressione di servizio in bar uguale o minore al PN marcato.

Ciò significa che i raccordi e le valvole possono essere utilizzati con i tubi marcati con il medesimo o con un minore PN.

L'insieme del sistema accetta che la pressione operativa sia uguale o minore di quella del componente della classe di pressione più bassa.

Coefficiente di riduzione con temperature di servizio tra 25°C e 45°C

Il coefficiente di riduzione f_T per le temperature di servizio fino a 45°C deve essere ricavato dalla figura A.1. Il fattore di riduzione è basato su un'esperienza a lungo termine e sui risultati delle prove.

Esempio:

Considerare un tubo con PN 12,5 da impiegare per acqua a 40°C.

Dalla figura A.1 il coefficiente di riduzione a 40°C è di 0,71. Di conseguenza, la pressione operativa massima ammissibile, a 40°C, in funzionamento continuo è:

$$0,71 * 12,5 \text{ bar} = 8,88 \text{ bar.}$$

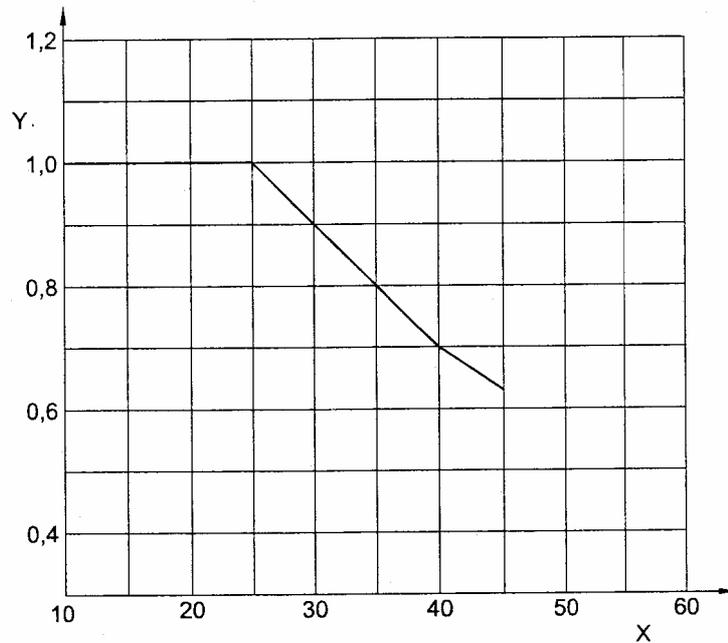
figura A.1

Coefficiente di riduzione f_T per temperature di impiego fino a 45 °C

Legenda

X Temperatura di servizio, °C

Y Coefficiente di riduzione f_T



Coefficiente di riduzione (o di aumento) relativo alle applicazioni del sistema

Nei casi che richiedono necessariamente una riduzione (o un aumento) della pressione, per esempio per ottenere una sicurezza maggiore di quella compresa nel coefficiente globale di impiego (progetto) da 2,0 o 2,5, deve essere applicato un fattore supplementare, f_A scelto al momento del progetto.

La pressione operativa ammissibile, in servizio continuo, deve essere calcolata con l'equazione:

$$PFA = f_T * f_A * PN ,$$

dove:

PFA è la pressione operativa ammissibile;

f_T è il coefficiente di riduzione per le temperature di servizio tra 25°C e 45°C;

f_A è il coefficiente di riduzione (o di aumento) legato alla specifica applicazione;

PN è la pressione nominale.

PFA e PN sono espressi con la medesima unità di misura di pressione, preferibilmente in bar.

APPENDICE C (normativa): REQUISITI PER LA PROVA DI TENACITÀ ALLA FRATTURA

I requisiti per la prova di tenacità alla frattura, secondo l'ISO/DIS 11673, sono stati aggiunti alla EN 1452-2 su richiesta del Regno Unito, dove tale prova è tradizionalmente utilizzata. È ammesso nel Regno Unito di utilizzarla come alternativa alla prova di gelificazione specificata nella EN 580.

I valori della prova di tenacità devono essere conformi al prospetto C.1 per la relativa serie degli spessori di parete.

prospetto C.1 **Valori dei requisiti per le serie di spessori di parete**

Spessore di parete del tubo e_n mm	Tenacità alla frattura $K_{Ic,min}$ $MNm^{-3/2}$
$4,0 \leq e_n < 6,2$	3,25
$6,2 \leq e_n < 11,9$	3,75
$11,9 \leq e_n < 21,5$	4,50
$21,5 \leq e_n < 33,95$	5,0

Lo spessore della parete del nostro tubo in PVC con diametro esterno nominale di 500 mm e un SDR di 20, è di 25 mm; pertanto ci troviamo nell'ultimo caso della tabella precedente.

***Sistemi di tubazioni di materia plastica per adduzione d'acqua -
Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Guida per
l'installazione
(UNI ENV 1452-6)***

La presente europea sperimentale fornisce pratiche raccomandate per l'installazione di tubi, raccordi, valvole ed attrezzature ausiliarie in policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) quando utilizzati nei sistemi di tubazione per l'adduzione di acqua sotto pressione.

Le raccomandazioni intendono fornire una guida pratica per i migliori metodi di progettazione e l'installazione di sistemi di tubazioni che incorporano tubi, raccordi, valvole ed attrezzature ausiliarie fatte con materiale PVC-U e utilizzati per i seguenti fini:

- a) tubazioni principali e di servizio interrate;
- b) adduzione d'acqua sopra il suolo sia fuori che all'interno degli edifici,

per l'adduzione di acqua sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) intesa per l'utilizzo umano e usi generali.

La presente norma sperimentale è anche applicabile a componenti per la conduzione di acqua fino a 45°C inclusi. Per temperature tra 25 °C e 45°C si applica la figura A.1 della EN 1452-2 precedentemente analizzata.

Inoltre sono fornite raccomandazioni per la connessione ai raccordi, valvole ed attrezzature ausiliarie fatte con materiali diversi da PVC-U.

PARAMETRI CHE INFLUENZANO IL PROGETTO

Pressione operativa permessa

Quando le temperature del materiale del tubo non sono maggiori di 25 °C, e dove non ci sono da applicare ulteriori considerazioni per la sicurezza, le pressioni nominali sono quelle riportate nel prospetto A.1 della EN 1452-2: utilizzando un coefficiente globale di esercizio (progetto), *C*, di 2,5 per il DN fino a 90 mm compresi e 2,0 per DN maggiore di 90 mm.

prospetto A.1 **Pressioni nominali dei tubi**

Diametro nominale d_n	Pressioni nominali							
	Serie di tubi							
	S 20 (SDR 41)	S 16,7 ¹⁾ (SDR 34,4)	S 16 (SDR 33)	S 12,5 (SDR 26)	S 10 (SDR 21)	S 8 (SDR 17)	S 6,3 (SDR 13,6)	S 5 (SDR 11)
≤90	-	(PN 6)	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
>90	PN 6	(PN 7,5)	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
1) Le pressioni nominali della serie di tubi S 16,7 devono essere sopresse alla fine dell'anno 1999.								

Queste pressioni nominali sono state calcolate sulla base di dati ben stabiliti tenendo conto una vita operativa continuativa di almeno 50 anni. Per sistemi comuni di fornitura d'acqua fino a 25 °C la pressione operativa ammissibile PFA in bar, è uguale alla pressione nominale PN.

Al fine di soddisfare requisiti speciali dell'utilizzatore, può essere applicato un altro coefficiente globale di esercizio (progetto) complessivo, C , diverso da 2,5 e 2,0 ma comunque non minore di 1,6.

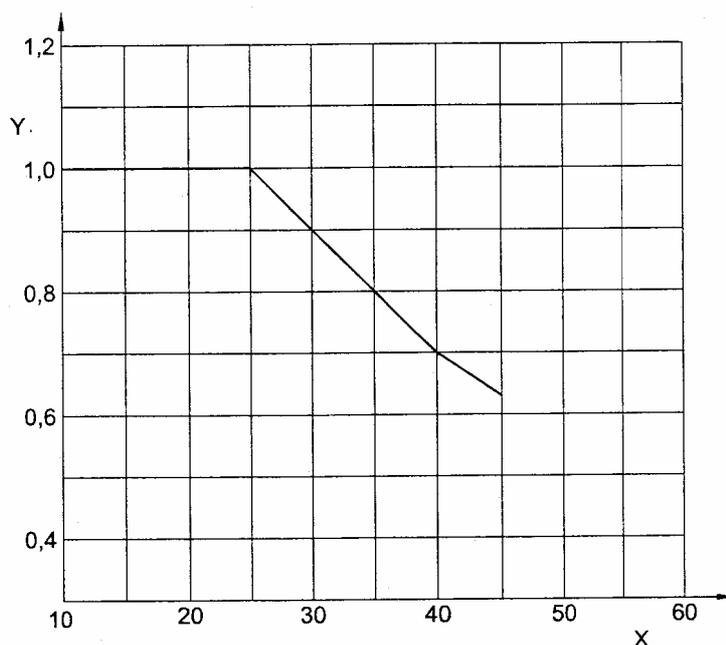
Quando la temperatura di servizio dell'acqua è tra 25 °C e 45 °C, allora la EN 1452-2 richiede che la pressione massima ammissibile sia ridotta applicando un coefficiente di riduzione, f_T , come mostrato nella figura A.1 della 1452-2 già analizzata.

figura A.1 **Coefficiente di riduzione f_T per temperature di impiego fino a 45 °C**

Legenda

X Temperatura di servizio, °C

Y Coefficiente di riduzione f_T



La figura A.1 della EN 1452-2 mostra che per le temperature fino a 25 °C inclusi il coefficiente di riduzione da applicarsi è 1 e per temperature al di sopra 25 °C il coefficiente di riduzione si riduce da 1,0 a 0,63 a 45 °C.

Dove le temperature di servizio dell'acqua si prevedono siano maggiori di 45 °C, si dovrebbero seguire i consigli del fabbricante.

Per un esempio di applicazione del coefficiente di riduzione vedere figura A.1 della EN 1452-2.

Rigidità anulare dei tubi

Quando si applica un calcolo della deflessione iniziale del tubo, la rigidità anulare iniziale del tubo deve essere presa dal prospetto 1 .

prospetto 1 Rigidità anulare iniziale dei tubi

	Serie dei tubi							
	S 20 (SDR 41)	S 16,7 (SDR 34,4)	S 16 (SDR 33)	S 12,5 (SDR 26)	S 10 (SDR 21)	S 8 (SDR 17)	S 6,3 (SDR 13,6)	S 5 (SDR 11)
Pressione nominale per DN ≤ 90	-	PN 6	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20
per DN > 90	PN 6	PN 7,5	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16	PN 20	PN 25
Rigidità anulare calcolata in kN/m ² (S_{calc})	3,9	6,7	7,6	16	31,3	61	125	250
Rigidità anulare nominale SN	4	8	-	16	32	-	-	-

La colonna di nostro interesse per il tubo preso in esame è la quinta.

La rigidità anulare iniziale S_{calc} nel prospetto 1 è stata calcolata utilizzando la seguente equazione:

$$S_{calc} = \frac{E \times I}{(d_e - e_n)^3} = \frac{E}{96[S]^3}$$

dove:

S_{calc} è la rigidità anulare iniziale calcolata in kilonewton per metro quadrato;

E è il modulo di elasticità in flessione, avente il valore di $3 \cdot 10^6$ kN/m²;

I è il momento d'inerzia in millimetri cubici con $I = e^3/12$ per una lunghezza di tubo di 1m;

d_e è il diametro nominale esterno in millimetri;

e_n è lo spessore nominale della parete in millimetri;

S è la serie del tubo.

In pratica la rigidità anulare iniziale è sempre maggiore di quella calcolata perché la media dello spessore della parete è maggiore dello spessore nominale della parete utilizzato per i calcoli.

Quando i tubi con rigidità anulare nominale $SN \leq 4$ sono installati sottoterra si dovrebbe fare attenzione per evitare una eccessiva ovalizzazione.

Precauzioni

Per la selezione della rigidità dei tubi per differenti condizioni del suolo si applicano le raccomandazioni della ENV 1046.

Le componenti dei sistemi di tubazioni non devono essere esposte alle fiamme o al calore radiante che abbia probabilità di aumentare le loro temperature superficiali.

Quando i regolamenti autorizzano l'utilizzo dei tubi metallici per la messa a terra e tali tubi sono sostituiti con il PVC-U, dovrebbero essere fatti arrangements per assicurare che la messa a terra sia mantenuta.

Il PVC-U non conduce l'elettricità e quindi non può essere utilizzato per la messa a terra; neppure questi tubi possono essere fusi da un dispositivo elettrico utilizzando il tubo come un conduttore. Se esiste una rete di tubi metallici con un sistema di protezione catodica e parte della rete è sostituita con tubi di PVC-U, la continuità elettrica deve essere mantenuta collegandoli con un ponte attraverso i tubi in PVC-U.

A causa dell'alta resistenza elettrica dei tubi di PVC-U, dovrebbero essere prese precauzioni dove si possono manifestare pericoli dovuti all'elettricità statica.

Le giunzioni e le curve non devono essere adattate nel sito per mezzo del calore. Per la piegatura a freddo dei tubi vedere il paragrafo sull'argomento, trattato successivamente nella presente norma. Dovrebbero essere prese precauzioni ragionevoli quando si posano tubi fatti di qualsiasi materiale. Poiché i tubi di PVC-U diventano meno duttili a basse temperature, si dovrebbero prendere precauzioni aggiuntive quando si maneggiano e si installano i tubi a temperature di 0 °C o minori.

I tubi non dovrebbero essere ricoperti o verniciati con pitture contenenti solventi o prodotti aggressivi.

PROPRIETÀ IDRAULICHE

Perdita di carico

Vedere appendice A della presente norma sperimentale per il diagramma di flusso corrispondente, che mostra le perdite di carico di tubi di PVC-U.

Per perdite di carico dovute ai raccordi, si devono seguire i consigli del fabbricante.

Diametro interno

I tubi a pressione di PVC-U sono specificati dal diametro nominale, DN. I diametri interni variano secondo la serie del tubo (vedere prospetto 2 della EN 1452-2). Questo deve essere tenuto in conto quando si calcolano le caratteristiche di flusso dei tubi.

METODI D'ASSEMBLAGGIO

Generalità

I tubi in pressione di PVC-U conformi alla EN 1452-2 sono fabbricati tramite un processo di estrusione in continuo. I tubi sono forniti con lunghezze nominali come descritto nella EN 1452-2 e con una delle seguenti tre condizioni finali:

- lisci, da giuntarsi per mezzo di manicotti separati;
- bicchiere intero con anello elastomerico (una estremità), per giunzioni ad ancoraggio rapido (push-fit);
- bicchiere intero (una estremità), per giunzione incollata.

I raccordi di PVC-U per l'uso con tubi di PVC-U sono specificati nella EN 1452-3 e possono avere sia giunzioni di tipo a bicchiere per l'incollaggio che giunzioni ad anello elastomerico per la giunzione ad ancoraggio rapido (push-fit). Le valvole e gli accessori di PVC-U sono specificati nella EN 1452-4.

I tipi principali di giunzioni e le loro caratteristiche (vedere appendice A per i dettagli tipici) sono come segue:

a) giunzioni con guarnizione elastomerica ad anello (vedere figura B.1).

Una guarnizione elastomerica anulare è compressa e forma una forte tenuta quando un codolo è inserito nel bicchiere. Queste giunzioni non sopportano sforzi assiali (non sono reggispinta);

b) giunzioni con incollate (vedere figura B.2).

Un adesivo a base di solvente è applicato ad un codolo e ad un bicchiere e le due componenti sono spinte assieme. Le giunzioni incollate sopportano gli sforzi assiali (sono reggispinta);

c) giunzioni meccaniche (vedere figura B.3).

Queste giunzioni, conosciute anche come giunzioni a compressione, utilizzano accoppiatori fatti di PVC-U o metallici. Una forte tenuta a pressione è ottenuta quando una guarnizione

elastomerica è compressa serrando due anelli di tipo diverso uno contro l'altro. Queste giunzioni non sopportano sforzi assiali (non sono reggispinta);

d) giunzioni flangiate (vedere figura B.4).

Una flangia è incorporata su una estremità di un tubo o raccordo in diversi modi. Una tenuta a compressione è ottenuta comprimendo una guarnizione tra due facce combacianti delle flange di tubi, raccordi o valvole adiacenti fatte di materie plastiche o metalli. Queste giunzioni possono essere sia reggispinta che non reggispinta;

e) raccordi d'accoppiamento ed adattatori (vedere figura B.5).

Per i raccordi d'accoppiamento una guarnizione elastomerica è compressa tra le facce combacianti per mezzo di un dado controfilettato. I raccordi d'accoppiamento ed adattatori possono essere utilizzati per giuntare tubi di PVC-U con tubi di PVC-U e tubi di PVC-U a tubi metallici filettati. I raccordi d'accoppiamento e gli adattatori sopportano sforzi assiali (sono reggispinta).

Sono disponibili accoppiatori speciali con anello elastomerico che sopportano gli sforzi assiali (vedere figura B.6).

Dove le installazioni del tubo includono sistemi di giunzione non reggispinta (sopra e sotto il suolo), è essenziale considerare la possibilità della separazione delle giunzioni a causa dello sforzo assiale.

Nelle applicazioni sotto il suolo la separazione della giunzione può essere prevenuta per mezzo di giunzioni reggispinta o blocchi di ancoraggio in cemento (vedere figura B.7). In certe circostanze la resistenza d'attrito all'interfaccia del tubo ed il materiale di rinterro compattato può essere sufficiente per resistere agli sforzi assiali generati.

La separazione delle giunzioni in applicazioni sopra suolo possono essere prevenuti da staffe di ancoraggio propriamente progettate o più semplicemente mediante l'uso di sistemi di giunzione reggispinta.

Dove sono coinvolti tubi di grande diametro operanti ad elevate pressioni, si sviluppano sforzi assiali di alcune decine di kilonewton, particolarmente durante le operazioni di prova della pressione (vedere prospetto B.1).

Quando durante lo stadio progettuale si sa che la tubazione necessita di essere smantellata durante il corso della sua vita operativa allora dovrebbe essere utilizzato un tipo di giunzione appropriato.

PIEGATURA A FREDDO IN SITO

È permesso ai tubi di deviare da una linea retta con una delle seguenti tecniche:

- a) per mezzo di una leggera deflessione nell'interno di una giunzione con anello elastomerico;
- b) una graduale curvatura su tutta la lunghezza del tubo.

Per assicurare che l'efficienza di una giunzione con anello elastomerico non sia danneggiata, la deflessione all'interno del giunto dovrebbe essere generalmente limitata al massimo ad 1°. Per deflessioni maggiori, dovrebbero essere utilizzati disegni speciali di giunzioni e seguire i suggerimenti del fabbricante. Il raggio di curvatura, R , di una piegatura formata a freddo su una lunghezza di tubo di 6 m non deve essere minore di 300 volte il diametro esterno del tubo (vedere figura B.8). Il prospetto B.2 fornisce dimensioni utili per la piegatura a freddo di tubi fino ad includere un DN di 160 mm.

Tubi di diametro maggiore di 160 mm sono considerati tubi rigidi e non dovrebbero essere soggetti alla piegatura a freddo. Per variazione di direzione delle tubazioni di diametro maggiori di 180 mm dovrebbero essere sempre utilizzate piegature preformate di grande raggio. I tubi non dovrebbero essere soggetti alla piegatura a freddo quando la temperatura ambientale è minore di 5°C.

INSTALLAZIONE

Generalità

La prestazione a lungo termine delle tubazioni a pressione di PVC-U è direttamente influenzata dalla qualità della manodopera e dai materiali utilizzati nell'installazione del prodotto. È raccomandata una supervisione competente in tutti gli stadi.

Si dovrebbe avere una ragionevole cura quando si maneggiano e si installano tubi e componenti di PVC-U. Si dovrebbe avere una cura particolare quando si installano sistemi di PVC-U a temperature sotto 0°C. Se le temperature vanno sotto i -15°C, dovrebbero essere ottenute indicazioni specifiche dal fabbricante. Durante l'installazione, le prove o operazioni sul sistema, non si dovrebbe mai consentire all'acqua di gelare nei tubi o nei raccordi. Dove questa

condizione può essere applicata, si dovrebbero prendere speciali precauzioni (per esempio l'isolamento termico).

Installazioni interrato

Per le installazioni interrato sono raccomandati tubi e raccordi con giunzioni a guarnizioni ad anello. Le giunzioni incollate possono anche essere utilizzate per applicazioni interrato, ma dovrebbero essere ottenute istruzioni particolari dal fabbricante.

Nella figura B.11 sono mostrati dettagli tipici sulla trincea e sull'interro per l'installazione di tubi in pressione di PVC-U.

Benché non sia essenziale, è buona pratica posare i tubi con il codolo inserito nella stessa direzione prevista del flusso dell'acqua. Le superfici interne del tubo dovrebbero essere tenute il più possibile pulite durante la posa e le operazioni di giunzione. Per facilitare ciò, la trincea dovrebbe essere tenuta il più possibile secca utilizzando appropriate tecniche di prosciugamento. Materiale adatto sia per il letto che per i rinfianchi dovrebbe essere disponibile dalla selezione del materiale "come scavato". Terreni come sabbia grossa sciolta, ghiaia e terreno di natura friabile sono considerati adatti (vedere ENV 1046).

Il materiale "come scavato" dovrebbe essere libero da ciottoli, sassi taglienti, pietre, agglomerati d'argilla, creta o terreno gelato. Terreno contaminato ed ogni sostanza organica dovrebbero essere scartati. Quando il materiale scavato non è adatto, si dovrebbe importare materiale granulare (vedere ENV 1046). In nessuna circostanza dovrebbero essere utilizzati rinterrati gelati o grumi esterni gelati per l'utilizzo come materiali per il letto ed i rinfianchi.

I tubi non dovrebbero mai essere inglobati nel calcestruzzo.

L'inglobamento nel calcestruzzo trasforma un tubo flessibile in una struttura rigida senza resistenza alla flessione, che facilmente si frattura nel caso di assestamenti o altri movimenti del terreno.

Nel caso di grandi carichi statici e/o sovraccarichi, è importante utilizzare tubi di una rigidità appropriata per assicurare che la deformazione iniziale del tubo sia mantenuta nel limite massimo del 5%. La deformazione a lungo termine è influenzata dal funzionamento del sistema. Sistemi soggetti in maniera continua alla pressione interna dell'acqua si deformano meno di quelli lasciati per lunghi periodi di tempo a pressione zero.

La profondità minima raccomandata della copertura per tubi d'acqua interrati è 0,9 m. Però i tubi dovrebbero sempre essere posati ad una profondità libera dai ghiacci; quindi, dove le

condizioni locali climatiche lo impongono, la così detta profondità minima di copertura può essere maggiore di 0,9 m.

Tubi che sono locati sotto aree con traffico pesante, dove la profondità minima di 0,9 m non può essere mantenuta, richiedono protezioni aggiuntive. In tali circostanze ci si dovrebbe consigliare con il fabbricante dei tubi.

La base della trincea dovrebbe essere accuratamente livellata, con la rimozione di tutti gli oggetti aguzzi, spigoli e pietre. Se questo non è possibile, materiale adatto deve essere importato e posato come letto con spessore minimo di 0,1 m. Il fondo della trincea o il materiale del letto dovrebbe essere scavato localmente per alloggiare i diametri maggiori delle giunzioni.

I tubi dovrebbero essere posati lungo la linea centrale della trincea con tutte le giunzioni giacenti in perfetto allineamento, a meno che siano deflesse in accordo con i contenuti del paragrafo sulla curvatura a freddo precedentemente trattato nella presente norma.

I tubi sono posati su un letto preparato. Quando sono utilizzate giunzioni ad ancoraggio rapido con guarnizione elastomerica ad anello, il codolo dovrebbe essere introdotto nel bicchiere e l'inserzione completata fino al segno sul codolo utilizzando un blocco di legno ed una leva.

Dove sono utilizzati mezzi meccanici per spingere assieme i tubi di grande diametro, si dovrebbe fare attenzione ad evitare danni ai materiali e nello spostare la guarnizione elastomerica. Al completamento della posa del tubo ed al parziale rinterro è consigliabile differire il fissaggio finale finché non si è raggiunto l'equilibrio termico della tubazione.

Le giunzioni a guarnizione elastomerica non reggono lo sforzo causato dalla pressione interna. Si dovrebbero fornire blocchi di calcestruzzo propriamente progettati o giunzioni reggispinga per tutte le variazioni di direzione, raccordi a T, estremità cieche, grandi riduzioni in diametro e valvole. Dove sono utilizzati blocchi di ancoraggio di calcestruzzo, il fine del blocco di ancoraggio è quello di trasferire la spinta totale alle pareti della trincea. È quindi importante tener conto della capacità del suolo circostante di sostenere la spinta. Dove il calcestruzzo è in contatto diretto con i tubi o raccordi, questi dovrebbero essere avvolti con materiale comprimibile per conformarsi alla deformazione e prevenire l'insorgere di alte concentrazioni locali di tensioni. Il materiale comprimibile non dovrebbe contenere sostanze potenzialmente in grado di attaccare il tubo (per esempio, plastificanti). Dettagli tipici e sforzi generati sono forniti nella figura B.7 e nel prospetto B.1.

Dove è permesso includere giunzioni reggispinga in alternativa agli ancoraggi con blocchi di calcestruzzo, tali giunzioni dovrebbero essere provviste di tutte le connessioni ai componenti

(per esempio raccordi a T, estremità cieche, raccordi, riduzioni di grande diametro e valvole) ed in più alla prima giunzione ai tubi dritti immediatamente adiacenti a tutte le parti del raccordo. Questo dovrebbe essere considerato un requisito minimo. In alcuni casi può essere necessario provvedere a più di una giunzione reggispinga nei tubi dritti. Nel dubbio, si dovrebbero seguire i consigli del fabbricante.

Una sequenza raccomandata per porre il materiale di rinfianco e d'incassatura è mostrata nella figura B.11.

Il materiale selezionato, quando è rimesso nella trincea, dovrebbe essere posto in strati. Dovrebbe essere posto e compattato il primo strato laterale sui quadranti inferiori del tubo e fino al livello della linea di sorgente del tubo. Per tubi fino al diametro esterno nominale di 225 mm, "calpestare" o "pestare con i tacchi" è generalmente un mezzo effettivo per ottenere una compattazione adeguata. Possono essere posti successivi strati spessi 75 mm e compattati fino all'altezza non minore di 150 mm sopra la generatrice superiore. Possono essere utilizzate compattatrici leggere, ma non direttamente sopra il tubo.

Quando è utilizzato materiale granulare importato, questo dovrebbe poter scorrere attorno al tubo ed essere facilmente posto nella posizione tale da formare un'incassatura completa autocompattante. Con un accurato controllo del versamento tutta l'incassatura fino a 150 mm sopra il tubo può essere fatta in un passaggio.

Dove sono state impiegate palancole per supportare la trincea, queste dovrebbero essere parzialmente rimosse durante il rinfianco e l'incassatura, in modo che non rimangano vuoti tra il tubo e le pareti della trincea.

Al completamento dell'incassatura, materiale di scavo adatto può essere rimesso come rinterro in strati di 250 mm compattati fino a riempire la trincea. Non si dovrebbero utilizzare compattatrici pesanti almeno fino a che non ci si trovi a 300 mm sopra il tubo.

Tutte le giunzioni devono essere lasciate aperte per l'ispezione durante le operazioni di prova della pressione.

La distanza orizzontale della tubazione dalle fondazioni e da installazioni similari interrate non dovrebbe essere minore, in circostanze normali, di 0,4 m.

Dove c'è una prossimità laterale o dove la tubazione corre parallela ad altre tubazioni o cavidotti, la distanza della proiezione orizzontale tra di loro non dovrebbe essere minore di 0,40 m. Nei punti di congestione dovrebbe essere mantenuta una distanza di 0,2 m, a meno che non

siano stati fatti dei passi per prevenire il contatto diretto. Questi passi è opportuno siano concordati con le autorità pertinenti.

Dove s'incrociano cavidotti e tubazioni, si dovrebbe avere una separazione di 0,2 m o si dovrebbe provvedere per prevenire il contatto. Si dovrebbe escludere la trasmissione di forze attraverso il contatto diretto. Questi passi è opportuno siano concordati con le autorità pertinenti.

Le tubazioni per l'acqua potabile non dovrebbero essere locate sotto tubazioni di drenaggio o fognature.

Alla fine di ogni periodo di lavoro la tubazione dovrebbe essere temporaneamente chiusa per impedire l'ingresso di acque superficiali, insetti o detriti. Il sito dovrebbe essere lasciato ordinato e sicuro contro incidenti, vandalismi o allagamenti.

Installazione sopra il suolo

Poiché le giunzioni incollate sopportano la spinta assiale causata dalla pressione interna, si raccomanda caldamente che i sistemi di tubi e raccordi di PVC-U installati sopra il suolo o in condotti di servizio costruiti sotto il suolo siano giuntati con il metodo dell'incollaggio. In certe circostanze si dovrebbero seguire i consigli del fabbricante (vedere appendice A della EN 1452-2). Altri tipi di giunzioni resistenti ai carichi longitudinali sono anche accettabili per l'uso nelle installazioni sopra il suolo.

I tubi di PVC-U si possono rompere se si permette ai fluidi contenuti nei tubi di gelare. Si dovrebbero prendere misure per svuotare e/o isolare sezioni che facilmente potrebbero gelare o si dovrebbe provvedere all'isolamento per proteggerle contro i danni dal gelo.

Il coefficiente di espansione lineare del PVC-U è approssimativamente 60×10^{-6} (m/m)/K o 0,06 (mm/m)/K.

La seguente equazione è utilizzata per calcolare la variazione dimensionale:

$$\Delta L = 0,06L \times \Delta T$$

dove:

ΔL è la variazione in lunghezza, in millimetri;

L è la lunghezza iniziale, in metri;

ΔT è la variazione della temperatura della parete del tubo, in gradi Kelvin (o Celsius).

Esempio

Per una variazione di temperatura di 20 K, un tubo di PVC-U lungo 10m ha una variazione in lunghezza di $0,06 \times 10 \times 20 = 12$ mm.

Quando le temperature ambientali sono ragionevolmente costanti, la variazione della temperatura della parete del tubo può essere presa uguale alla variazione della temperatura del fluido. Quando questo non avviene, si dovrebbero seguire i consigli del fabbricante.

Le espansioni e le contrazioni per variazione di temperatura da 10 K a 45 K e lunghezze del tubo da 1 m a 20 m sono mostrate nella figura B.12.

La lunghezza minima, a , del tubo, richiesta per permettere il movimento causato dall'espansione termica o contrazione, è mostrata nella figura B.13.

I tubi dovrebbero essere installati in maniera da assicurare che il minimo ammontare di sforzi sia indotto nel sistema da movimenti causati dall'espansione o contrazione o da qualsiasi forza.

Esempi di corrette e scorrette sistemazioni sono mostrati nella figura B.14.

Come regola generale, i tubi di PVC-U non dovrebbero essere vincolati nella direzione anulare da reggette o staffe fatte con materiale non cedevole. Quando devono essere adottati tali modi di fissare i tubi, si raccomanda che un materiale comprimibile (per esempio la gomma) sia messo tra il tubo e il morsetto. Esistono numerosi metodi per supportare i tubi in piani orizzontali e verticali nelle applicazioni sopra il suolo. Caratteristiche importanti da considerare sono le seguenti:

- i tubi dovrebbero essere liberi di muoversi nella direzione longitudinale, a meno che non sia previsto diversamente per il controllo dell'espansione/contrazione;
- la distanza raccomandata tra i supporti orizzontali o verticali degli interassi per sistemi operanti fino a 45°C non dovrebbe essere maggiore dei valori forniti nel prospetto B.3.

Alcuni tipici esempi di metodi corretti e scorretti di supportare tubi e raccordi in pressione di PVC-U sono mostrati nella figura B.15.

I tubi di PVC-U dovrebbero essere installati ad una sufficiente distanza da oggetti caldi, per evitare danneggiamenti dal calore radiante.

Tutti i dispositivi di controllo (come le valvole) dovrebbero essere correttamente supportati, in modo che il tubo non sia soggetto ad alcuna deformazione torsionale d'esercizio. Oltre a ciò il supporto fornito dovrebbe essere sufficientemente robusto per impedire che piegamenti e sforzi diretti siano indotti dal peso del dispositivo.

I tubi e i raccordi di PVC-U installati sopra il suolo dovrebbero essere protetti dalla luce solare.

Installazione in condotti

Dove possibile, per l'installazione entro condotti inaccessibili dovrebbero essere utilizzati tubi con giunzioni reggispinta. Oltre a ciò dovrebbero essere introdotti anelli di centratura per fornire un ottimo supporto e facilitare l'estrazione del tubo in caso di rottura (vedere figura B.16 per dettagli tipici). Per tubi con grandi diametri (o dove il condotto è grande rispetto al tubo, ma non grande abbastanza da essere accessibile) possono essere necessari altri metodi per assicurare il tubo (vedere figura B.17). La luce tra il tubo e il condotto dovrebbe essere sigillata alle estremità.

L'installazione di tubi in condotti grandi accessibili dovrebbe essere fatta come indicato nel precedente paragrafo sulla installazione sopra il suolo.

PROVE DI PRESSIONE IN SITO

Generalità

Le raccomandazioni sono raggruppate sotto i seguenti punti:

- preparazione per la prova;
- pressioni di prova;
- applicazione della prova;
- interpretazione dei risultati.

Le prove a pressione non dovrebbero essere fatte utilizzando aria compressa come mezzo di prova.

Preparazione per la prova

I sistemi di tubi dovrebbero essere sottoposti a prova di tenuta idraulica in lunghezze appropriate al diametro e alle condizioni del sito. Tubazioni più lunghe di 800 m possono richiedere prove in sezioni. È preferibile che la lunghezza selezionata per la prova sia tra (300 e 500) m.

Preferibilmente la prova dovrebbe essere fatta tra flange cieche. Le estremità della tubazione sottoposta a prova devono essere adattate mediante l'utilizzo di bicchieri flangiati o adattatori con flangia bullonata. Le estremità cieche o i pezzi speciali per prova (vedere figura B.18) devono essere forati e maschiati come necessario per ricevere le connessioni d'entrata e d'uscita. Le estremità della linea principale, e tutte le deviazioni laterali, dovrebbero essere puntellate e

ancorate in modo da contrastare adeguatamente le spinte delle pressioni di prova. Prove contro valvole chiuse non sono raccomandate, salvo mancanza di alternative.

I sistemi di ancoraggio sono generalmente formati da massi di calcestruzzo, catoste temporanee, tronchi squadrati o lamiere di ferro, a seconda delle pressioni coinvolte e della resistenza disponibile del terreno. Tipici schemi di prove finali sono illustrati nella figura B.18. I martinetti o puntoni dovrebbero essere di adeguata capacità e propriamente allineati.

Le prove non dovrebbero cominciare fino a quando il calcestruzzo utilizzato per l'ancoraggio non sia maturato e abbia raggiunto la resistenza richiesta. Le giunzioni dovrebbero essere lasciate indurire per un minimo di 24 h prima di essere soggette alle condizioni di prova.

Le condizioni del sito indicano se tutte le giunzioni possono essere lasciate esposte. Ogni qualvolta applicabile, le giunzioni dovrebbero essere esposte per tutto il periodo di prova.

È importante fornire un'incassatura e un rinterro sufficientemente compatti, sopra il cilindro del tubo, per prevenire spostamenti e per mantenere stabile la temperatura durante il periodo di prova.

Ogni qualvolta possibile, le posizioni per la prova dovrebbero essere scelte nel punto più basso del profilo della tubazione, per facilitare l'espulsione dell'aria mentre il tubo è riempito. Questa posizione generalmente registra la massima pressione di battente e permette un più facile controllo sul rilascio di tutta l'acqua di prova. Un adeguato meccanismo di rilascio dell'acqua dovrebbe essere situato su tutti i punti alti lungo la tubazione.

Le estremità della prova dovrebbero essere progettate per permettere la misurazione del riempimento e il susseguente svuotamento della tubazione. Le flange cieche, i tubi di prova o i coperchi dovrebbero avere le necessarie filettature per ricevere i sensori per la misurazione della pressione e le relative attrezzature. Si dovrebbe anche incorporare uno sfogo d'aria ad ogni estremità della sezione di prova.

L'attrezzatura per la pressurizzazione, azionata sia manualmente che meccanicamente, dovrebbe essere di dimensioni adeguate e sufficientemente robusta, con connessioni di progetto adeguato per imporre con sicurezza e mantenere la pressione di prova richiesta. Tutte le tenute e le valvole di non ritorno dovrebbero essere verificate prima della prova. Sono raccomandate doppie valvole di isolamento sulla linea d'iniezione della pressione. Dove vengono utilizzati dispositivi di misurazione meccanici della pressione (per esempio di tipo Bourdon), questi dovrebbero essere di grandezza sufficiente da permettere una facile lettura e capaci di avere una

risoluzione di $\pm 0,2$ bar. Si raccomanda l'utilizzo di un'attrezzatura di registrazione automatica della pressione.

Prima di riempire la tubazione, si dovrebbe controllare che tutte le valvole di linea e i sistemi di sfogo dell'aria siano aperti. Sulle condutture principali dovrebbero essere installate valvole automatiche di rilascio aria/vuoto su tutti i punti alti del profilo della tubazione e queste devono funzionare normalmente durante il riempimento. Ogni sforzo dovrebbe essere fatto per rimuovere tutta l'aria dalla linea principale. L'introduzione di un tampone di espanso rigido all'inizio della colonna d'acqua in alcuni casi si rivela utile. Questo procedimento è mostrato schematicamente nella figura B.19.

Quando il sistema è utilizzato per l'acqua potabile, il mezzo di prova deve essere acqua potabile. È importante riempire ogni tubazione lentamente, essendo la velocità di riempimento governata dalle attrezzature disponibili per lo scarico dell'aria ad una velocità volumetrica uguale. Dopo essersi assicurati che la tubazione sia riempita, tutti gli sfoghi dovrebbero essere chiusi. Le valvole automatiche si chiudono automaticamente sotto pressione, ma la loro azione e chiusura dovrebbero essere controllate come parte della prova.

Durante il processo di riempimento e di pressurizzazione, si prevede un certo numero di movimenti minori nella tubazione tra i punti di ancoraggio, perché avvengono uno o più dei seguenti fatti:

- aumento di peso del tubo quando esso si riempie, il che causa un leggero aggiustamento nell'interfaccia suolo/tubo;
- variazioni minori dimensionali ed una tendenza della tubazione a raddrizzarsi sotto pressione;
- movimenti termici dovuti alle differenze di temperatura nell'interfaccia acqua/tubo/suolo.

L'intera tubazione dovrebbe, quindi, essere lasciata stabilizzarsi, sotto la pressione nominale o di esercizio, per un periodo di tempo. Si dovrebbe consentire un minimo da 2 a 3 h anche per le tubazioni più piccole.

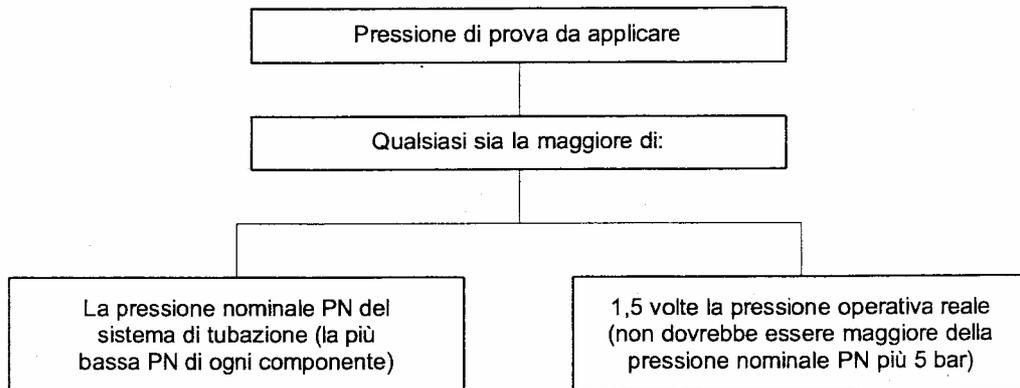
Pressioni di prova

La prova idrostatica (dimostrazione) dovrebbe essere conforme alle condizioni seguenti:

- a) essere condotta a temperatura ambiente;
- b) essere applicata per almeno 1 h, ma non più di 24 h;
- c) non eccedere di 1,5 volte la pressione massima nominale del componente a più basso valore.

La raccomandazione c) è interpretata in molte maniere. I requisiti della pressione di prova variano dal severo 1,5 volte la pressione nominale del tubo PN al più benevolo 1,5 volte la pressione reale operativa. La pressione operativa reale è la pressione continua, che è sopportata nel sistema senza oscillazioni.

Ai fini della EN 1452, la pressione di prova raccomandata è selezionata come segue:



Applicazione della prova

Dopo che si è lasciato alla tubazione principale un tempo sufficiente per stabilizzarsi, può essere regolarmente applicata la prova di pressione. La pressurizzazione può essere sia manuale che con una pompa motorizzata. I misuratori di pressione dovrebbero essere sempre osservati e la velocità di incremento della pressione registrata.

La pressione dovrebbe essere incrementata fino a che la pressione di prova specificata non sia raggiunta nella parte più bassa della sezione. La pressione è mantenuta a questo livello, con un ulteriore pompaggio se è necessario, per un periodo di un'ora. Tutte le valvole sono quindi chiuse e l'unità di pressurizzazione disconnessa. Non si dovrebbe permettere ad altra acqua di entrare nella sezione sottoposta a prova per un ulteriore periodo di 1 h.

Durante il periodo di prova dovrebbe essere fatto un esame visivo su tutti i giunti e connessioni della sezione di prova.

Interpretazione dei risultati

Se c'è stato un decremento della pressione durante il periodo, la pressione di prova originale è ristabilita iniettando una quantità d'acqua misurata nella sezione di prova.

La prova può essere considerata soddisfacente se:

a) non c'è decremento di pressione (è anche possibile avere un leggero incremento dovuto a variazioni di temperatura o ritiro del materiale);

b) la quantità misurata di acqua per ristabilire la pressione alla pressione di prova originale è minore del “massimo permesso”.

Il valore “massimo permesso” ed il metodo di calcolo variano considerevolmente da Paese a Paese. Si dovrebbero quindi ottenere i requisiti dall'utilizzatore e applicarli come appropriato.

Il volume di acqua aggiunto è una concessione fatta per compensare l'espansione/movimento naturale del tubo e delle giunzioni flessibili sotto pressione e per l'inevitabile intrappolamento di piccole quantità di aria nell'interno della sezione della prova. In forma di bolle, quest'aria si comprime e può passare dentro e fuori della soluzione alla pressione di prova.

Al completamento di ogni prova, la pressione residua dovrebbe essere rilasciata lentamente ed in modo attentamente controllato.

La decompressione rapida di aria intrappolata può causare condizioni d'instabilità che sono potenzialmente pericolose sia per la tubazione che per il personale.

Tutti i difetti rivelati dalla prova dovrebbero essere corretti e il procedimento ripetuto fino a quando non si ottengono risultati soddisfacenti.

PROTEZIONE DALLA CORROSIONE

I tubi di PVC-U sono resistenti a tutte le normali condizioni dei suoli e non richiedono protezione alla corrosione.

Si dovrebbe prestare attenzione per assicurare che i materiali di rinterro non siano inquinati da prodotti chimici come idrocarburi aromatici, vernici e solventi. Dove il suolo esistente è contaminato con tali inquinanti, il suolo inquinato dovrebbe essere rimpiazzato con terreno di materiale non inquinato o, viceversa, i tubi, i raccordi e le valvole di PVC-U dovrebbero essere protetti. Si raccomanda di non utilizzare tubi, raccordi e valvole di PVC-U non protetti in terreni di materiale inquinato.

Quando parti metalliche adiacenti vengono protette, non dovrebbero venire in contatto con il PVC-U i rivestimenti applicati sia a caldo che a freddo o vernici contenenti solventi.

Nastri anticorrosione o materiali protettivi similari applicati su metalli che connettono pezzi dovrebbero essere di tipo tale da non danneggiare tubi o raccordi di PVC-U se essi vengono in contatto con la tubazione.

SBALZI DI PRESSIONE

In condizioni operative dove avvengono colpi di pressione si devono prendere opportune precauzioni. In tali circostanze dovrebbe essere fatta un'analisi dei colpi di pressione per stabilire la grandezza e la frequenza delle variazioni transitorie di pressione.

Le pressioni fortemente in eccesso rispetto alle normali pressioni operative sostenute si possono generare quando la velocità del fluido varia rapidamente. La grandezza del colpo di pressione dipende largamente dal tasso di variazione della velocità e dal modulo del materiale del tubo.

Si elencano tipiche condizioni operative che possono creare colpi di pressione:

- chiusura rapida di valvole ad azione singola;
- valvole a galleggiante oscillanti (per esempio senza camera di smorzamento);
- arresto della pompa;
- sacche d'aria intrappolata (vedere il paragrafo precedente sulla prova della pressione nel sito).

Una buona progettazione della tubazione analizza sempre le condizioni dei colpi indipendentemente dal materiale delle tubazioni da utilizzare.

Quando sono previsti i colpi di pressione, il progetto dovrebbe includere strutture di controllo come pozzo piezometrico, volano alle pompe, valvole ad azione lenta per ridurre la dimensione dei colpi.

RIPARAZIONI

Possono essere utilizzati vari metodi per riparare perdite o danneggiamenti a sezioni di tubazioni di PVC-U. Il procedimento raccomandato è quello di rimpiazzare la sezione danneggiata utilizzando un nuovo pezzo di tubo, un elemento prefabbricato o un raccordo. Quando avviene una perdita in una giunzione incollata, non si dovrebbe mai tentare di incollare di nuovo.

Sono disponibili manicotti scorrevoli (accoppiatori di riparazione), i quali includono guarnizioni elastomeriche senza il fermo centrale (come per esempio mostrato nella figura B.1 c). Questi sono prodotti specialmente per lavori di riparazione e scivolano nelle estremità del codolo, cosicché è ottenuta la posizione giusta per una giunzione a tenuta.

RILEVAZIONE DELLA TUBAZIONE

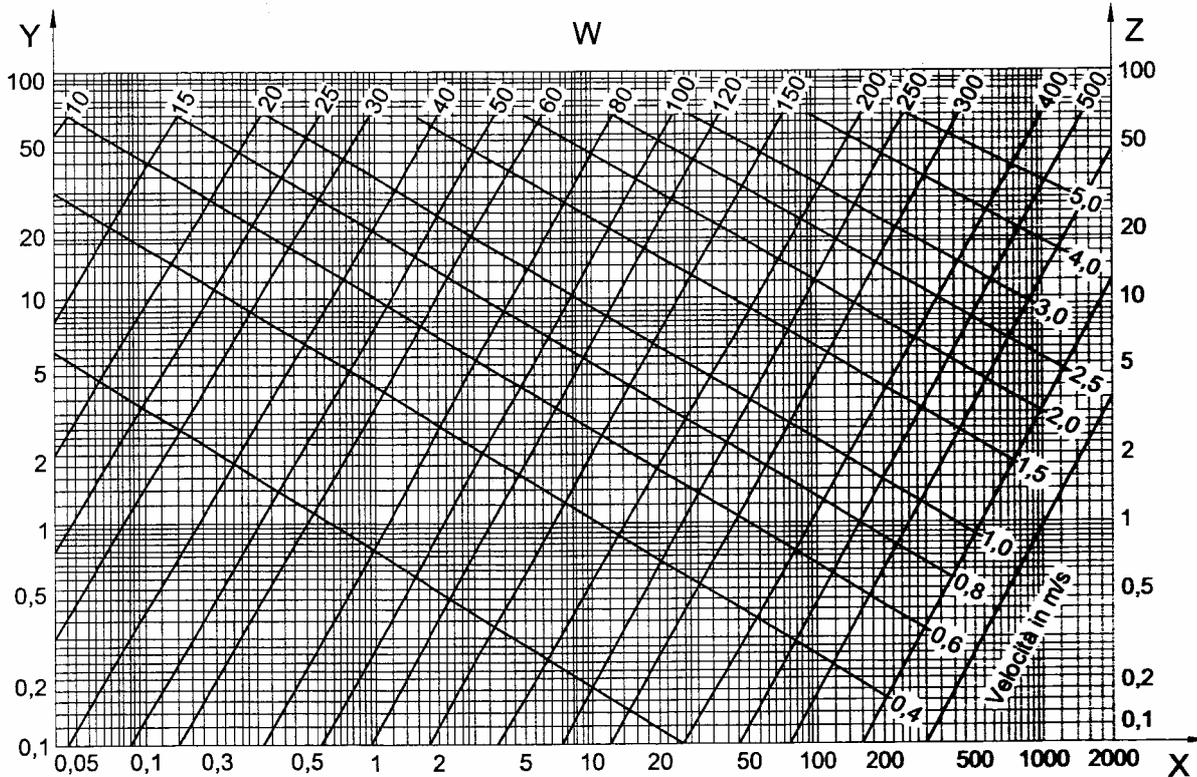
Le tubazioni di PVC-U una volta interrate non possono essere rintracciate con mezzi elettromagnetici. Per facilitare il loro ritrovamento, o semplicemente per limitare la possibilità di danneggiamento da macchinari di scavo dopo che la tubazione è posata e rinterrata, si

raccomanda che adatti nastri marcati siano piazzati verticalmente sopra il colmo del tubo ad una distanza tra i 350 mm e 500 mm sotto il livello della superficie finita del suolo, in dipendenza delle circostanze ambientali (vedere dettagli della figura B.11). Alcuni nastri contengono elementi che possono essere rintracciati con mezzi remoti.

APPENDICE A (informativa): *DIAGRAMMA DEL FLUSSO IDRAULICO*

La figura A.1 comprende il diagramma delle perdite per attrito per tubi di PE e PVC-U calcolate da L-E Janson secondo Colebrook. Per diametri interni fino a 200 mm, $k = 0,02$ mm e per diametri maggiori, $k = 0,05$ mm. La temperatura dell'acqua è $\pm 10^\circ\text{C}$.

figura A.1 **Diagramma di perdite di carico nei tubi**
 Legenda
 X Velocità di flusso, (l/s)
 Y Perdita di carico m/km di tubo
 Z m/km di tubo
 W Diametro interno del tubo, mm



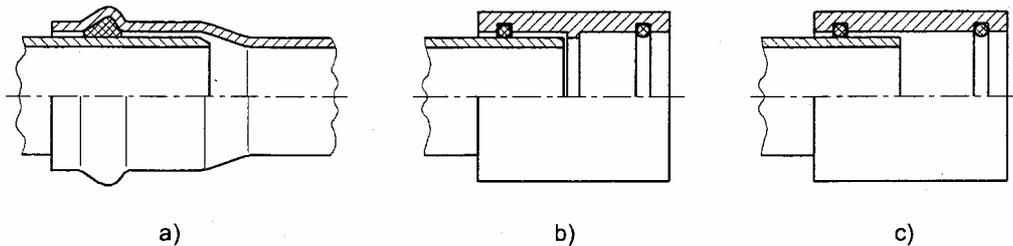
***APPENDICE B (normativa): FIGURE E PROSPETTI RIFERITI ALLA PRESENTE
NORMA
SPERIMENTALE***

La presente appendice contiene le figure e i prospetti richiamati nella presente norma sperimentale.

figura B.1 **Tipica giunzione integrale con anello di gomma**

Legenda

- a) Giunzione integrale con anello di gomma
- b) Accoppiamento scorrevole con fermo centrale
- c) Accoppiamento scorrevole senza fermo centrale (per riparazione)



Tipiche giunzioni incollate

Legenda

- a) Giunzione incollata con bicchiere integrale
- b) Raccordo con giunto incollato

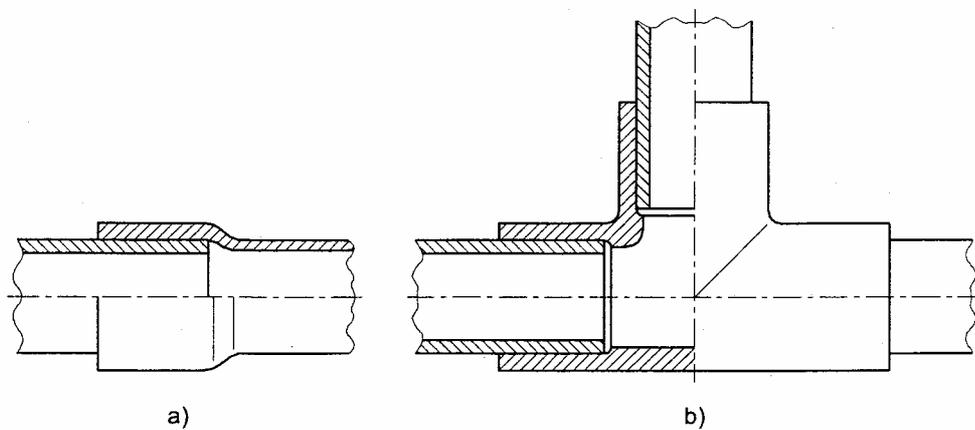


figura B.3 **Tipica giunzione meccanica**

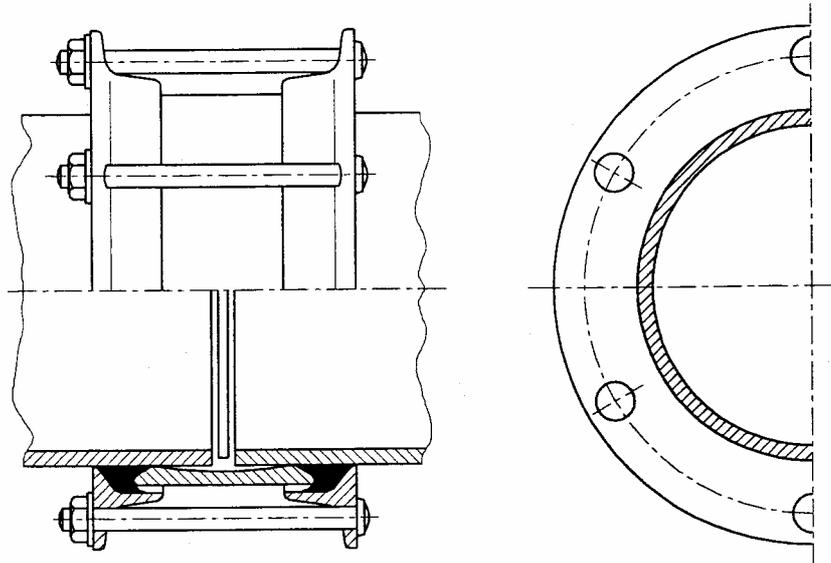


figura B.4 **Esempi di giunzioni flangiate**
Legenda

- 1 Incollatura
- a) Flangia scorrevole
- b) Adattatore per flangia

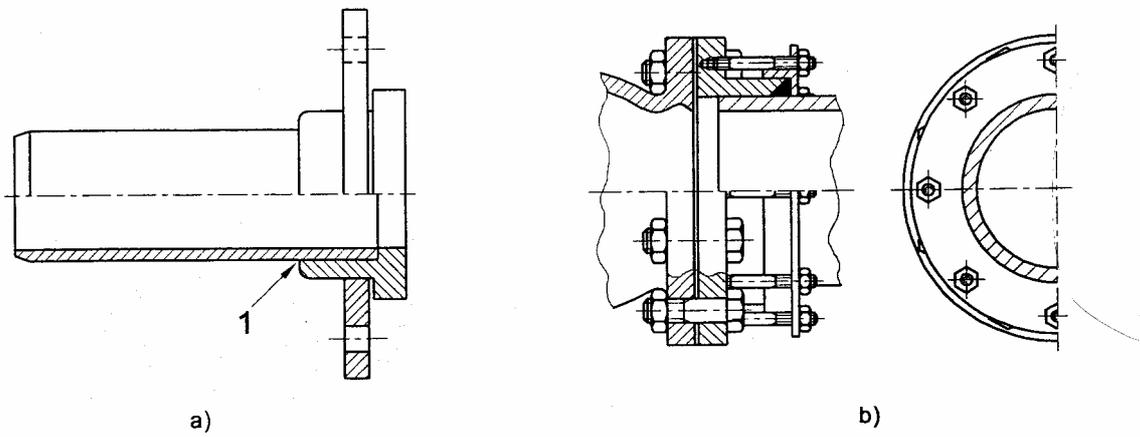
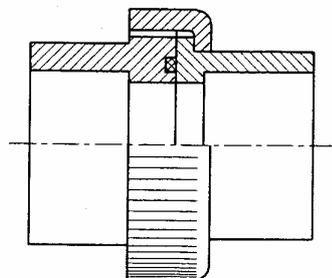


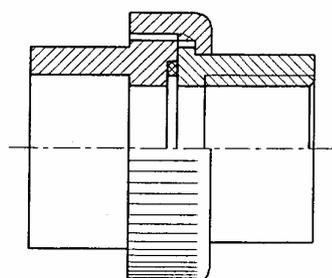
figura B.5 **Raccordi d'accoppiamento ed adattatori**

Legenda

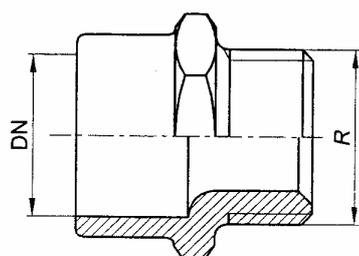
- a) Raccordo per accoppiamento
- b) Adattatore per accoppiamento
- c) Adattatore a boccola
- d) Adattatore a nipplo



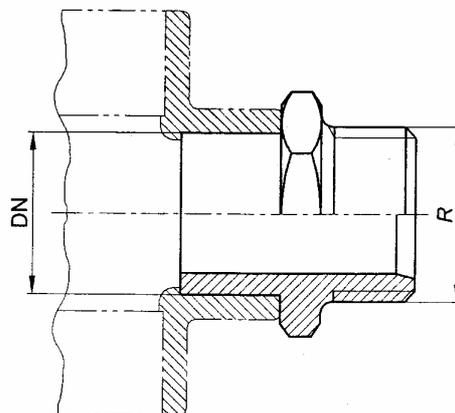
a)



b)



c)

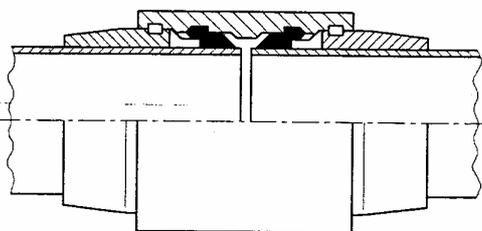


d)

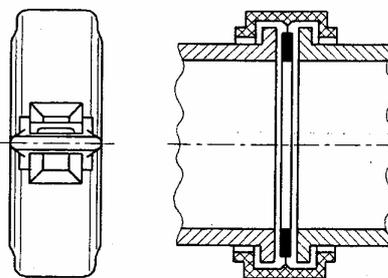
figura B.6 **Esempi di accoppiatori speciali reggispira**

Legenda

- a) Manicotto con meccanismo d'incastro
- b) Accoppiamento a conchiglia



a)



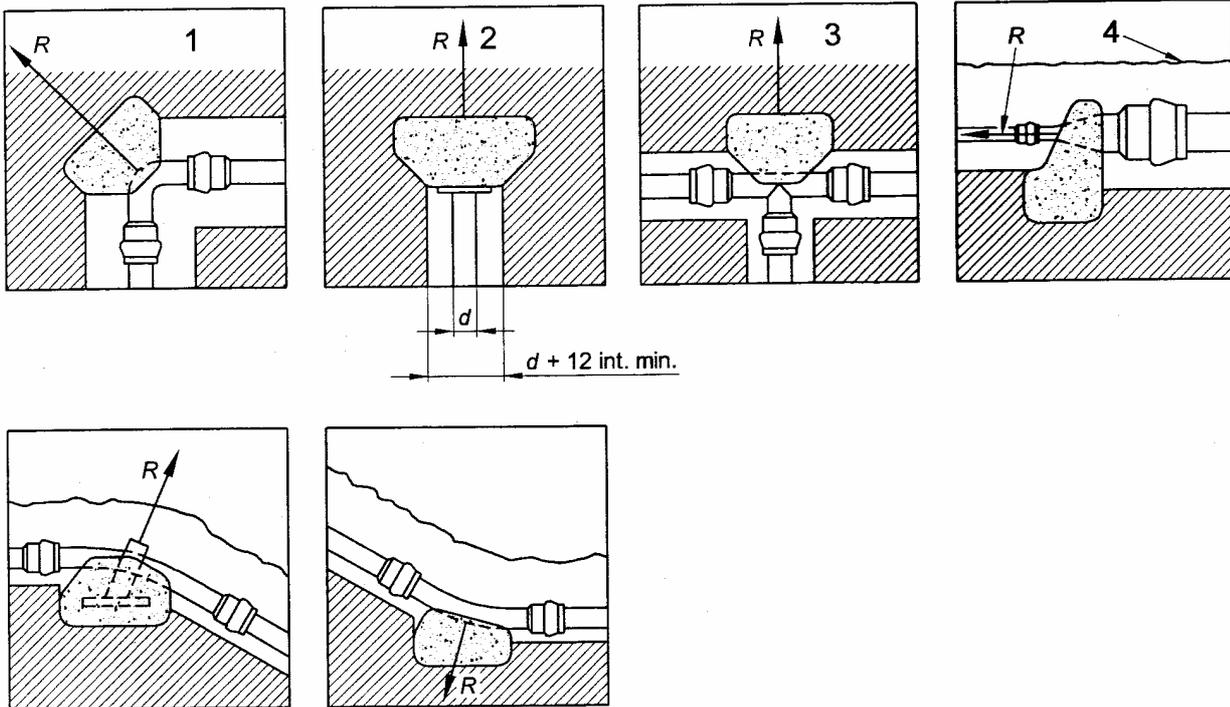
b)

figura B.7 Tipica sistemazione dei blocchi d'ancoraggio

Legenda

- 1 Curva a 90° (pianta)
- 2 Estremità cieca (pianta)
- 3 Raccordo a T (pianta)
- 4 Riduttore (sezione) Livello del terreno

Dimensioni in mm



prospetto B.1 **Forze di spinta per estremità cieche e curve**

Diametro nominale DN mm	Spinta sull'estremità cieca kN/bar ¹⁾	Spinta radiale sulle curve a vario angolo kN/bar ¹⁾			
		90°	45°	22,5°	11,25°
63	0,31	0,44	0,24	0,12	0,06
75	0,44	0,62	0,34	0,17	0,09
90	0,64	0,90	0,49	0,25	0,12
110	0,95	1,34	0,73	0,37	0,19
125	1,23	1,74	0,94	0,48	0,24
140	1,54	2,18	1,18	0,60	0,30
160	2,01	2,84	1,54	0,78	0,39
180	2,54	3,60	1,95	0,99	0,50
200	3,14	4,44	2,40	1,23	0,62
225	3,98	5,62	3,04	1,55	0,78
250	4,91	6,94	3,76	1,92	0,96
280	6,16	8,71	4,71	2,40	1,21
315	7,79	11,02	5,96	3,04	1,53
355	9,90	14,00	7,58	3,86	1,94
400	12,57	17,77	9,62	4,90	2,46
450	15,90	22,49	12,71	6,21	3,12
500	19,63	27,77	15,03	7,66	3,85
560	24,63	34,83	18,85	9,61	4,83
630	31,17	44,08	23,86	12,16	6,11

1) Le cifre nel prospetto sono per bar di pressione interna.
1 bar = 10⁵ N/m² = 0,1 MPa.

Le forze di spinta sui riduttori devono essere considerate solamente dove la riduzione del diametro è grande (per esempio 315 x 90). In tali casi la spinta è il prodotto della pressione di prova e dell'area dell'anello come dato nella seguente equazione:

$$F = 0,2p \times \pi \frac{d_i^2 - d_e^2}{4}$$

dove:

F è la forza di spinta, in newton;

p è la pressione di prova, in bar;

d_i è il diametro interno del tubo più grande, in millimetri;

d_e è il diametro esterno del tubo più piccolo, in millimetri.

Dimensioni collegate alla curvatura del tubo

Legenda

\varnothing = Diametro esterno tubo max.

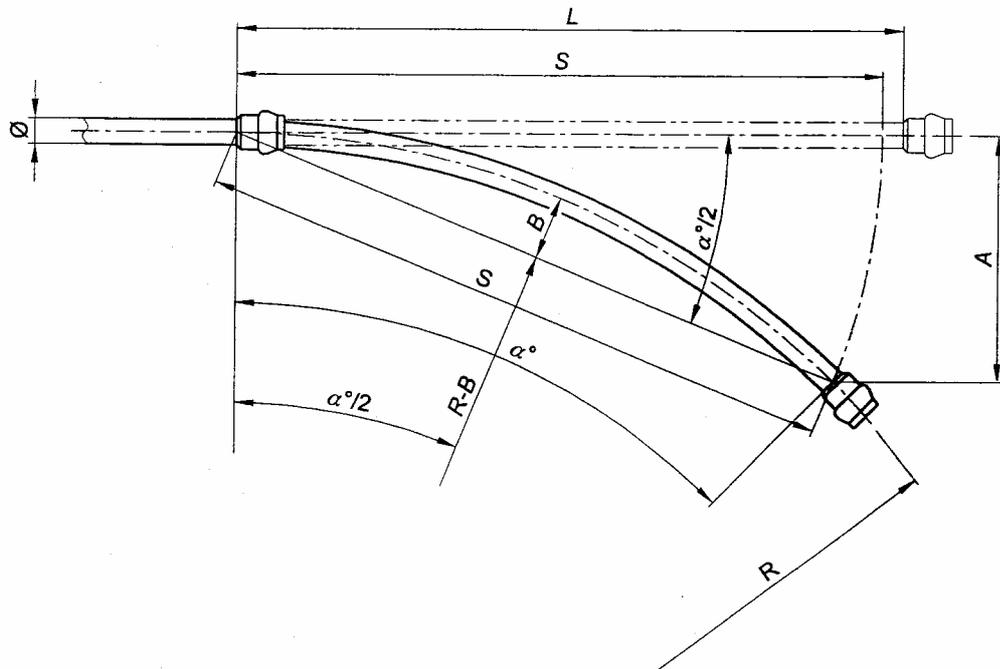
$R = 200 \varnothing$

$$\alpha^\circ = \frac{180L}{\pi R}$$

$$S = 2R \times \sin \frac{\alpha^\circ}{2}$$

$$A = S \times \sin \frac{\alpha^\circ}{2}$$

$$B = R - R \times \cos \frac{\alpha^\circ}{2}$$



Raggio minimo di curvatura, R , per la curvatura a freddo nel sito

Diametro nominale esterno DN mm	Raggio minimo R m	Angolo $\alpha/2$ gradi	Corda $S^{1)}$ m	Deflessione $A^{1)}$ m
63	12,6	13,64	5,94	1,40
75	15,0	11,50	5,98	1,19
90	18,0	9,55	5,97	0,99
110	22,0	7,81	5,98	0,81
125	25,0	6,87	5,98	0,72
140	28,0	6,14	5,99	0,64
160	32,0	5,37	5,99	0,56

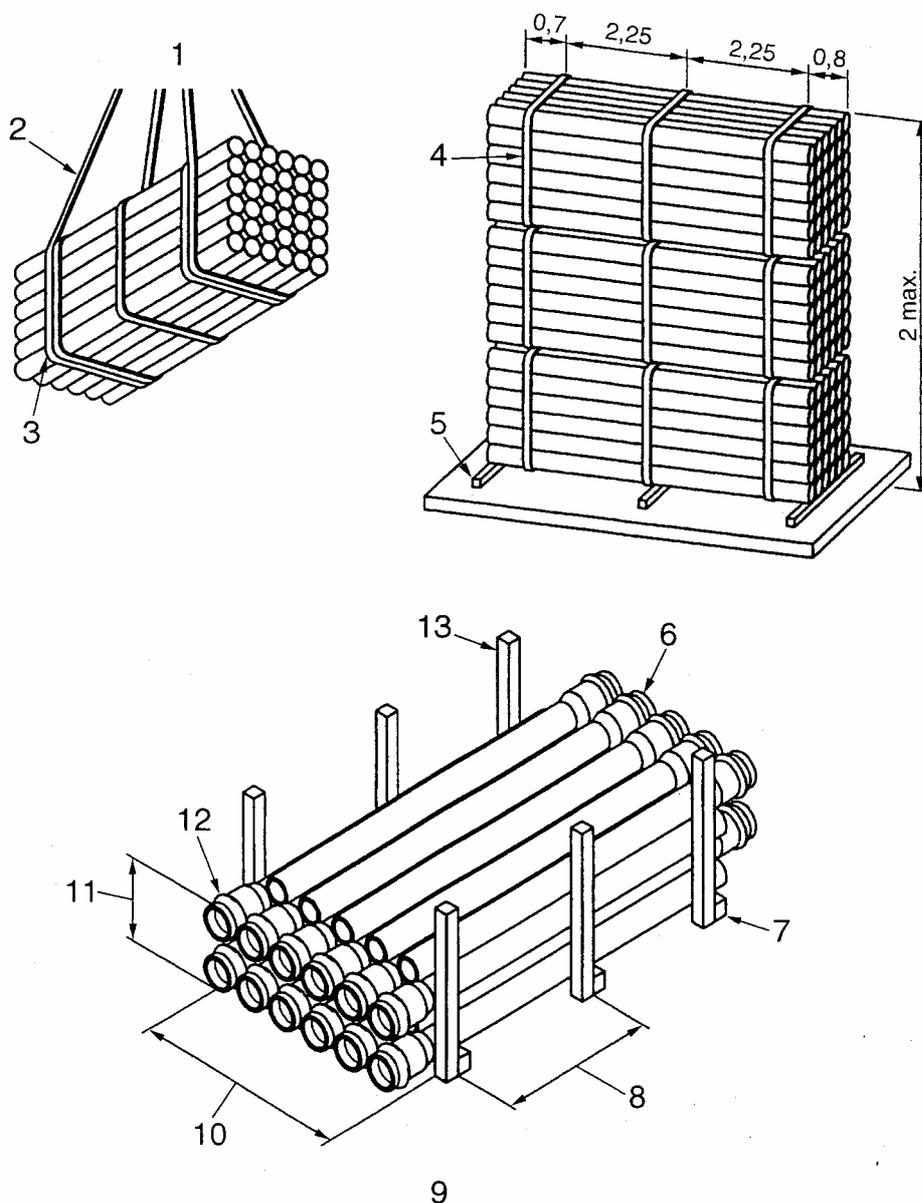
1) Le cifre nelle colonne " S " e " A " si applicano solamente ai tubi di lunghezza effettiva di 6 m.

Movimentazione e stoccaggio in deposito

Legenda

- 1 Spostamento di imballi di fasci con la gru
- 2 Nastro non metallico a banda larga
- 3 Nastri posizionati all'esterno degli assi di legno
- 4 Assi di legno
- 5 Assi di supporto addizionali
- 6 Protetto dalla luce del sole se lo stoccaggio prolungato è anticipato
- 7 Robuste travi portanti
- 8 Interasse massimo di 1,5 metri
- 9 Tubi grandi/a pareti più spesse accatastati in basso-più piccoli/a pareti più sottili di sopra
- 10 Larghezza massima di 3 metri
- 11 Catasta con un massimo di sette strati o 1,5 metri
- 12 Tubi bicchierati con i bicchieri ad estremità alternate
- 13 Pilastrini resistenti di supporto in legno

Dimensioni in m

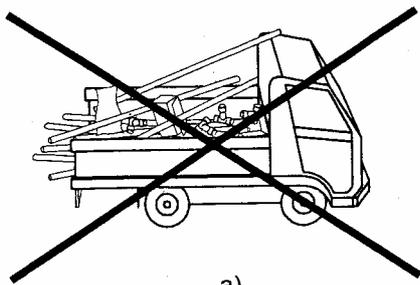


Movimentazione e stoccaggio nel sito

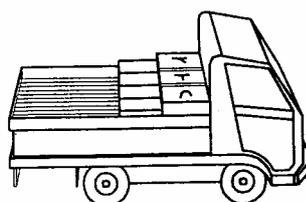
Legenda

- 1 Non trascinare
- a) Modo scorretto di caricare i tubi
- b) Modo corretto di caricare i tubi
- c) Modo scorretto di scaricare i tubi
- d) Modo corretto di scaricare i tubi
- e) Accatastamento individuale dei tubi nel sito
- f) Trasporto nel sito

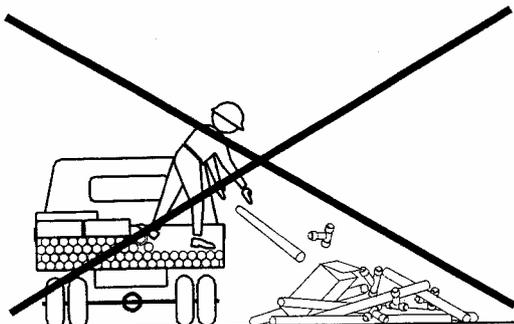
Dimensioni in m



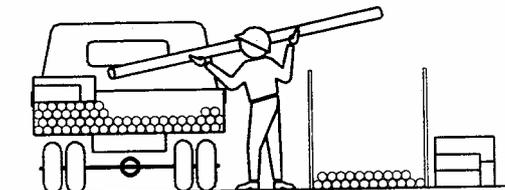
a)



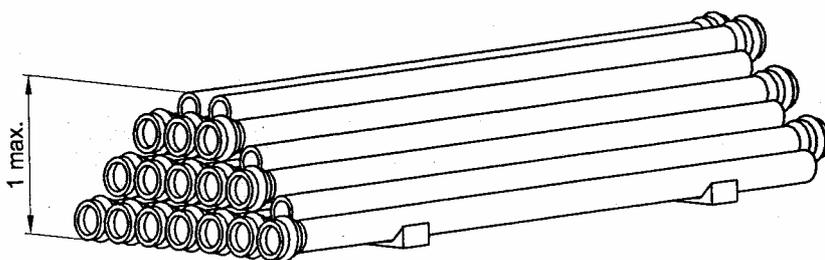
b)



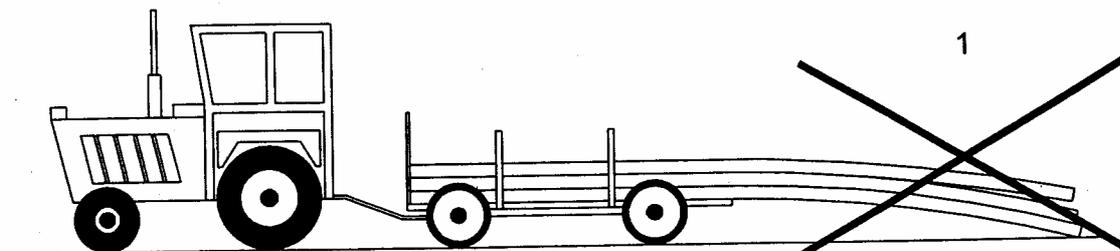
c)



d)



e)



f)

Dettagli tipici della trincea e del rinterro

Legenda

- a) Rinfianco messo a mano fino a metà del diametro del tubo e compattato camminando con i tacchi dei piedi.
- b) Riempimento fino alla parte superiore del tubo, messo a mano e di nuovo compattato con i piedi.
- c) Può essere messo uno strato di 150 mm e compattato con una macchina ma non sopra il tubo.
- d) Il rinfianco ed il rinterro fino a 150 mm sopra il tubo può essere messo in un passaggio quando è utilizzato materiale liberamente scorrevole.
- e) Il materiale come scavato per la rimanenza del rinterro può essere messo e compattato in strati di spessore non maggiore di 250 mm ma non compattati direttamente sopra il tubo fino a che non sono stati messi 300 mm.
- f) Il rimanente del rinterro può essere messo e compattato in strati dipendenti del requisito di finissaggio della superficie.

Dimensioni in mm

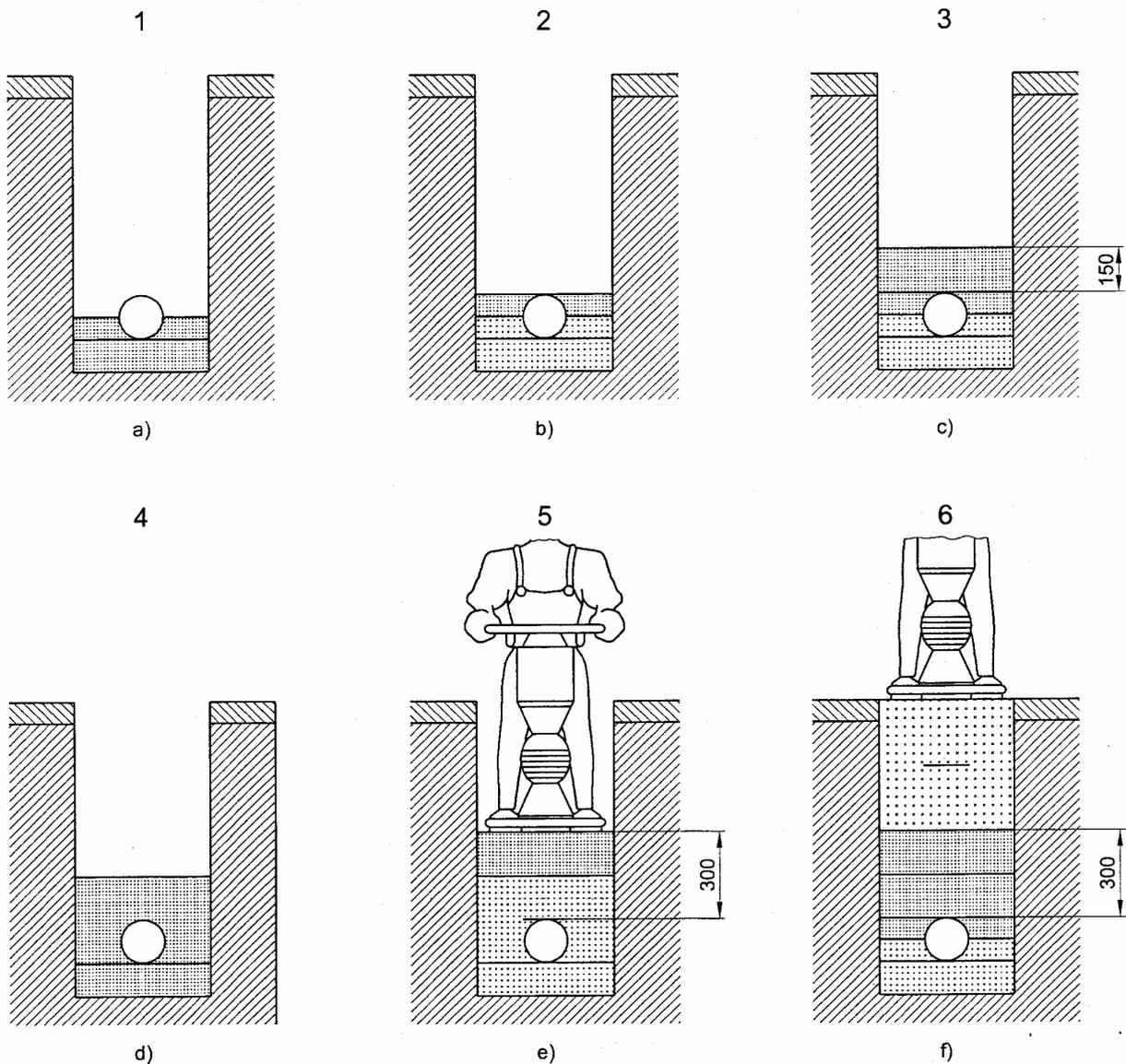


figura B.12

Espansione/contrazione termica dei tubi

Legenda

X Variazione in lunghezza, ΔL in mm

Y ΔT

A Lunghezza del tubo L in m

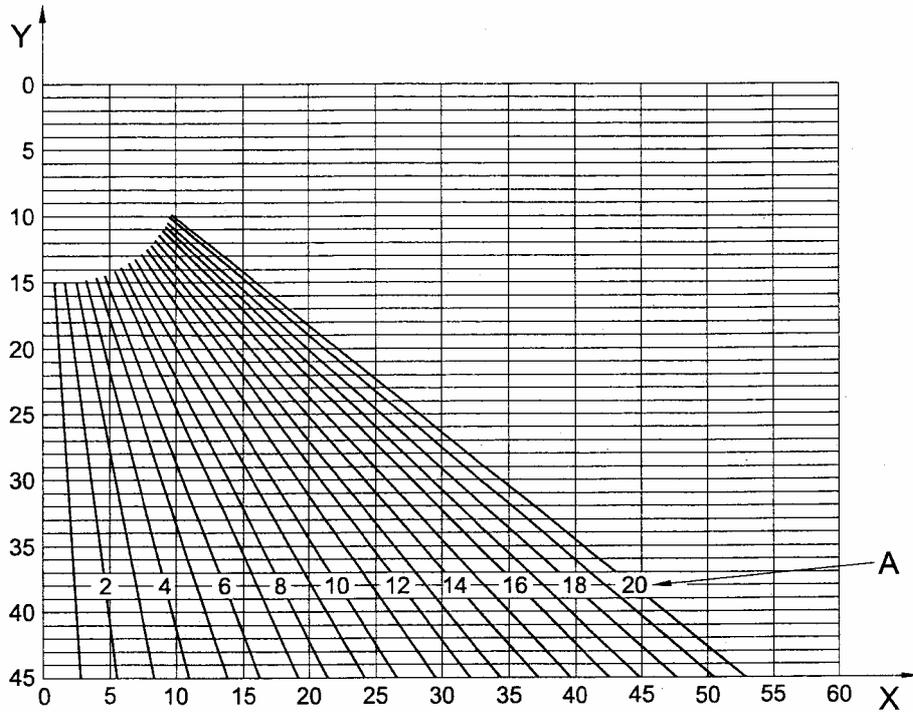


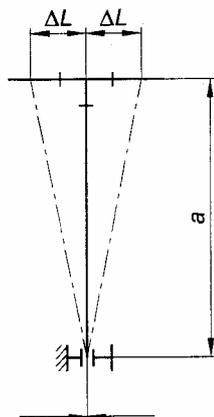
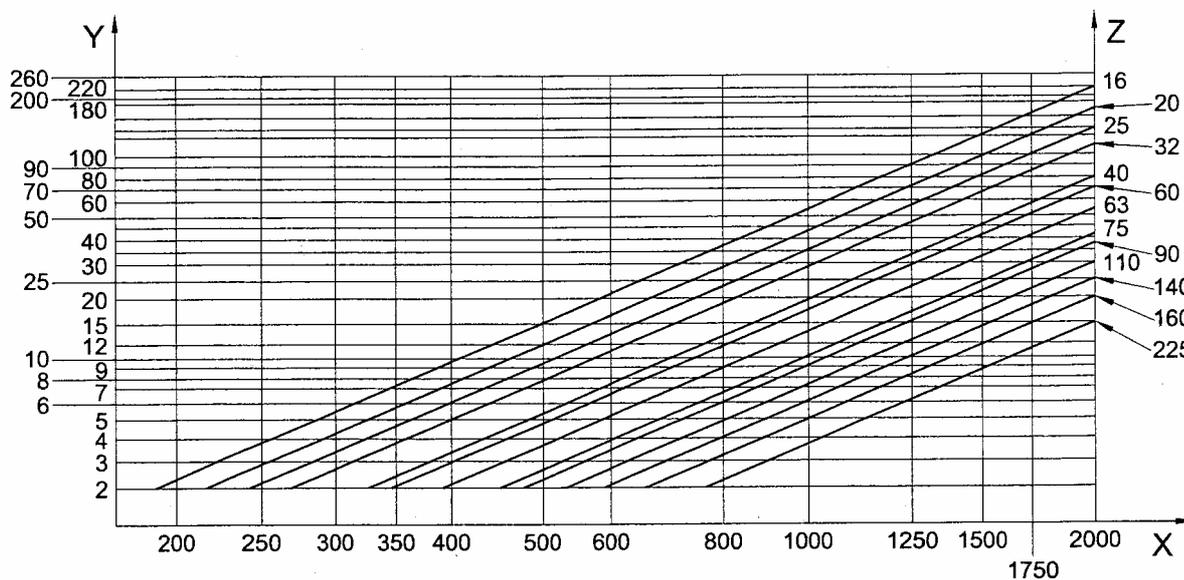
figura B.13 Lunghezza libera minima, a , del braccio flessibile

Legenda

X Braccio flessibile, a , in mm

Y ΔL

Z d_e



Esempio

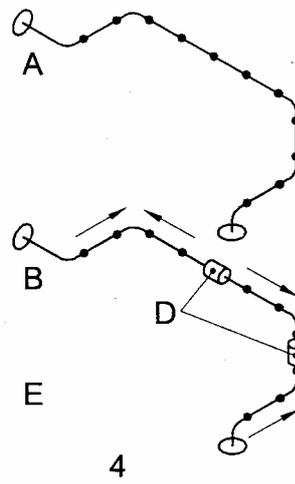
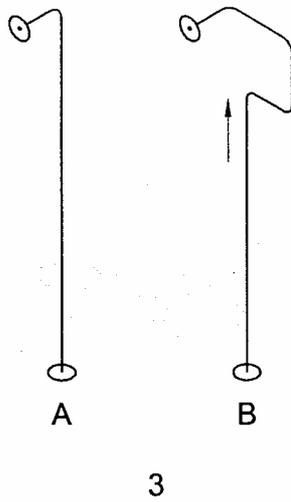
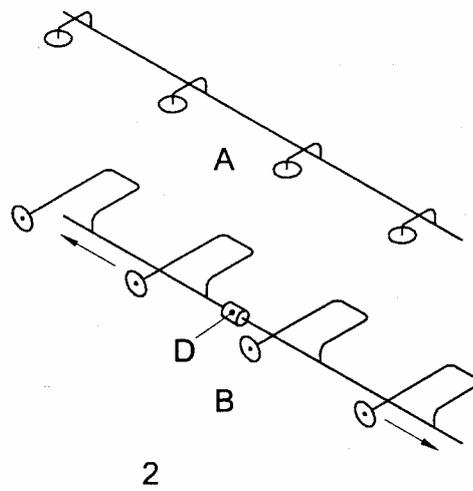
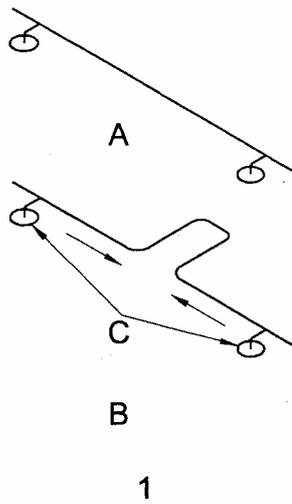
Per un tubo con un'espansione di 10 mm e un diametro esterno di 50 mm la lunghezza del braccio, a , deve essere almeno di 750 mm.

figura B.14

Esempi di posizionamento corretto e scorretto di supporti per l'installazione sopra il suolo

Legenda

- A Non preferita
- B Preferita
- C Fissaggio
- D Fissaggio assiale
- E Espansione controllata
- Supporto
- Flangia



Centri di supporto del tubo orizzontali e verticali

Dimensioni in mm

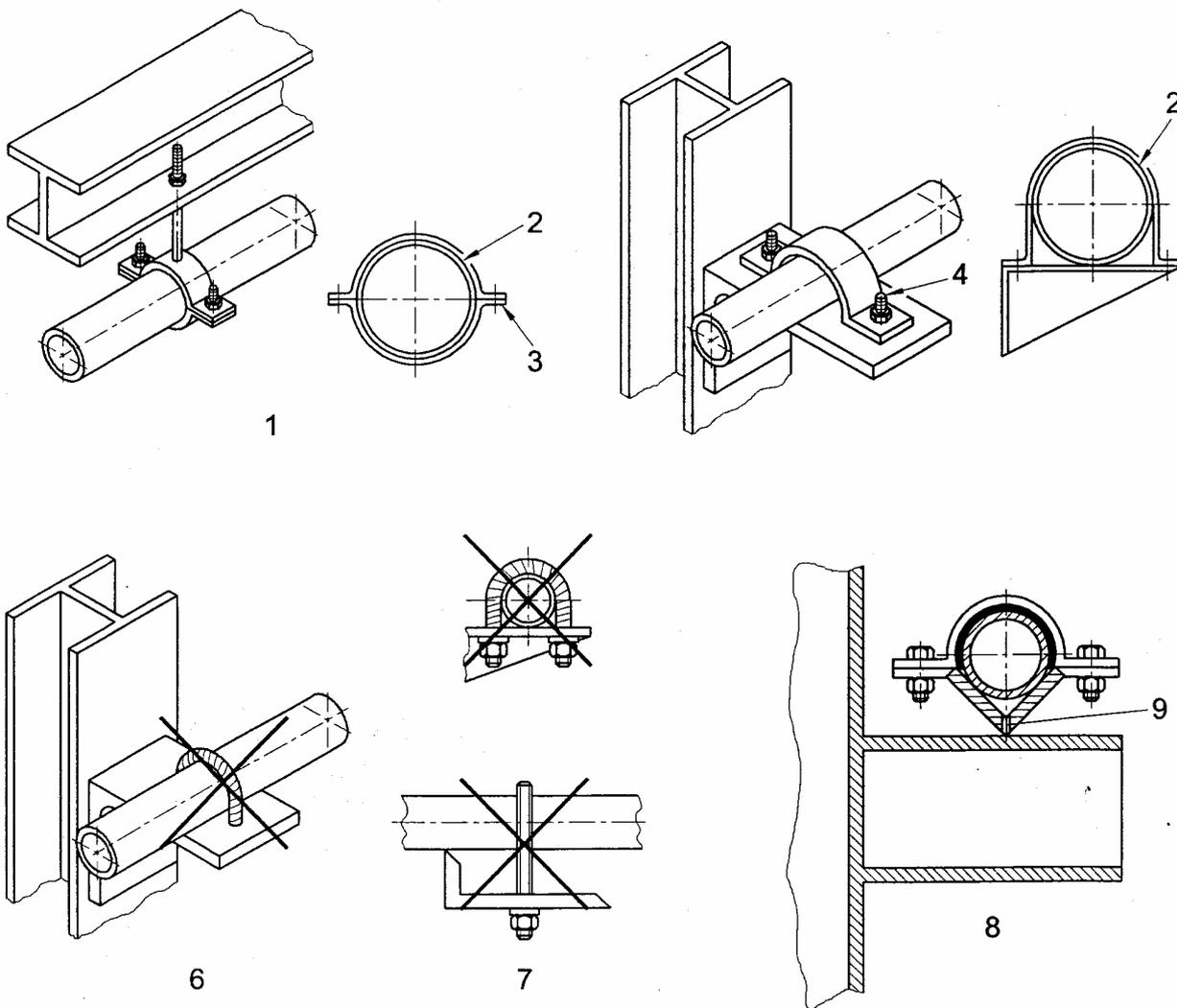
Dimensioni esterne del tubo	Distanze tra centri di supporto per acqua alle temperature per						Tubi verticali da 20 °C a 45 °C
	Tubi orizzontali						
	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	
d_e							
16	750	670	600	500	400	-	800
20	850	770	700	600	500	-	900
25	900	820	750	650	550	500	1 000
32	1 000	920	850	750	650	570	1 200
40	1 100	1 050	1 000	900	800	700	1 400
50	1 250	1 200	1 150	1 050	950	820	1 600
63	1 400	1 350	1 300	1 200	1 100	970	1 800
75	1 500	1 450	1 400	1 300	1 200	1 070	2 000
90	1 650	1 600	1 550	1 450	1 350	1 200	2 200
110	1 850	1 800	1 750	1 650	1 550	1 370	2 400
140	2 150	2 100	2 050	1 950	1 850	1 720	2 500
160	2 250	2 200	2 150	2 070	2 000	1 850	2 500
225	2 500	2 450	2 400	2 320	2 250	2 120	2 500

Esempi di dettagli di supporto corretti e scorretti per l'installazione sopra il suolo

Legenda

Esempi di supporti buoni e non buoni per tubi

- 1 Raccomandato
- 2 Membrana compressibile
- 3 Stretto con le dita più ½ giro
- 4 Stretto con le dita più ½ giro. Se il movimento deve essere accomodato omettere la membrana e lasciare un piccolo spazio tra il tubo e la sella
- 5 Non raccomandato
- 6 Barra filettata molto stretta senza membrana
- 7 Tubo appoggiato su capriata
- 8 Supporto continuo
- 9 Foro di scarico



1

6

5

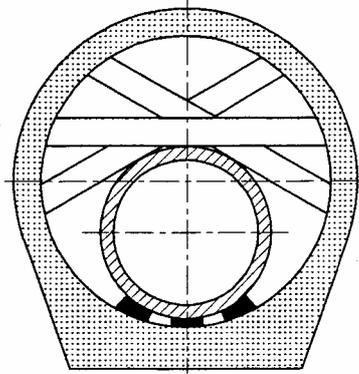
7

8

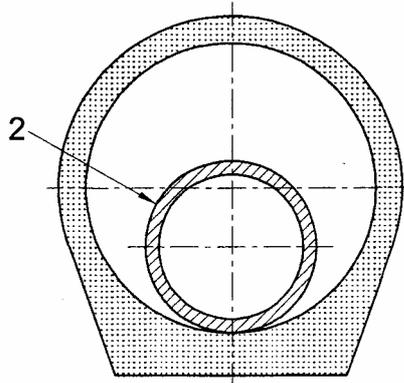
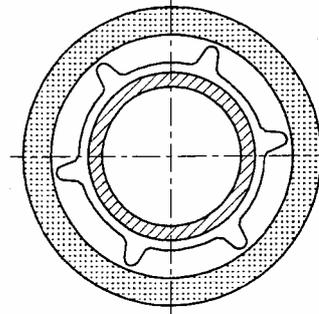
Dettagli tipici di tubi installati in piccoli condotti

Legenda

- 1 Rinforzo temporaneo e supporti (Condotti corti)
- 2 Manicotto protettivo



1



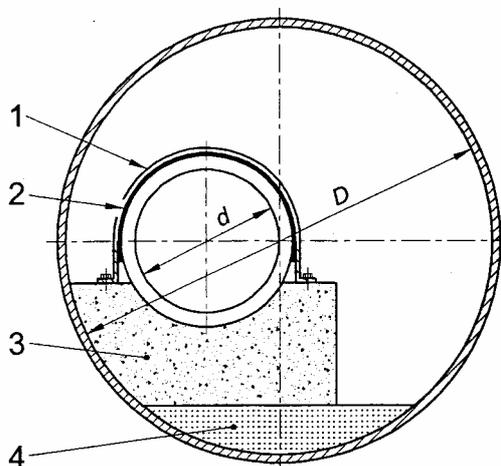
2

figura B.17

Dettagli tipici di tubi installati in grandi condotti

Legenda

- 1 Nastro metallico
- 2 Manicotto
- 3 Base di calcestruzzo rinforzato
- 4 Massa di calcestruzzo

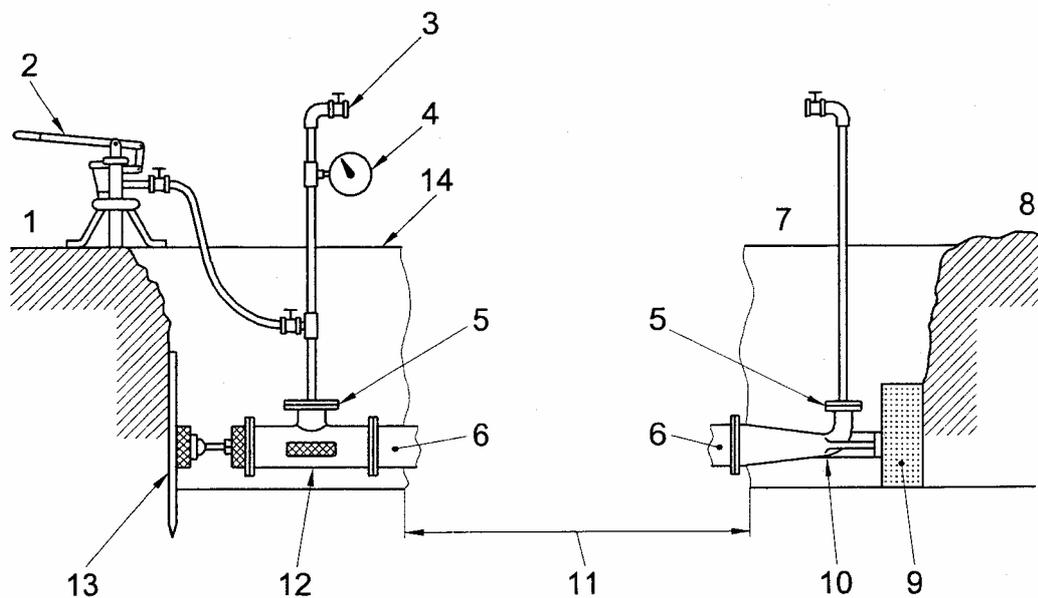


Nota Forze laterali possono causare che i tappi alle estremità girino e siano spostati.

Dettagli dello schema tipico per le prove finali

Legenda

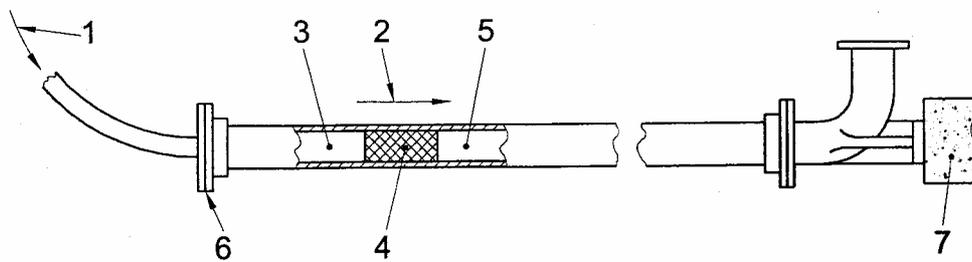
- 1 Basso
- 2 Pressurizzazione a mano o pompa alternativa
- 3 Valvola di sfiato punto di campionamento e/o rilascio per la prova di pressione
- 4 Grande quadrante Bundenburg misuratore di pressione sopra il livello del suolo
- 5 Flange rimovibili per scovolatura o riempimento
- 6 Flange adattate alla dimensione e all'estremità della tubazione sotto prova
- 7 Livello
- 8 Alto
- 9 Blocco spinta di calcestruzzo e equivalente
- 10 Pezzi speciali di estremità flangiati e curva a piede d'anatra rastremata
- 11 Sezione della tubazione in esame
- 12 Tubo in prova che usa una derivazione a T per il trasporto laterale
- 13 Area adeguata alla spinta dello sforzo. Il carico viene trasferito per mezzo di martinetti e legno duro
- 14 Suolo



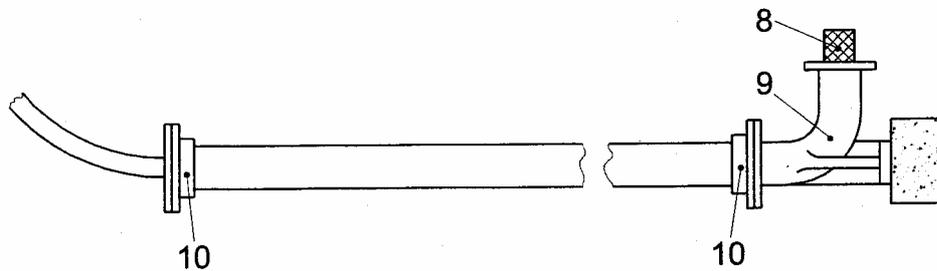
Riempimento dopo un tampone di espanso

Legenda

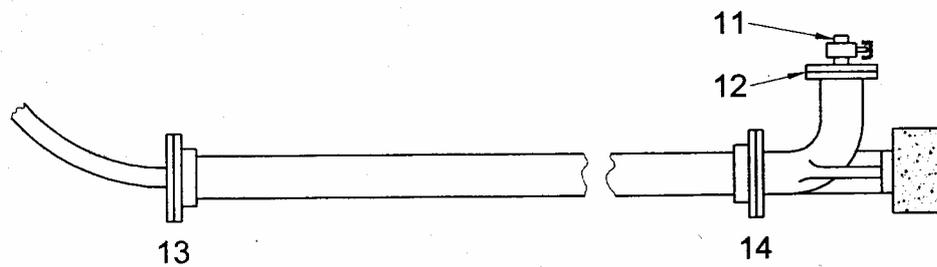
- 1 Entrata dell'acqua da una pompa a pressione
- 2 Flusso
- 3 Acqua
- 4 Tampone espanso
- 5 Aria
- 6 Flangia cieca o tubo di prova rastremato per adattarsi alla connessione della pompa
- 7 Blocco temporaneo di spinta
- 8 Tampone di espanso che emerge dalla curva
- 9 Curve piede d'anatra di ghisa
- 10 Adattatori a flangia
- 11 Valvola per rilascio aria
- 12 Flangia cieca spurgata sul posto
- 13 Punto basso
- 14 Punto alto



1)



2)



3)

Capitolo IX

***NORMATIVA TECNICA SU
TUBAZIONI IN PVC PER
FOGNATURE***

Sistemi di tubazioni di materia plastica per fognature e scarichi in pressione interrati e fuori terra - Policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Specifiche per i componenti della tubazione e per il sistema (UNI EN 1456-1)

La presente norma europea specifica i requisiti dei sistemi di tubazioni e loro componenti in PVC.

Il sistema di tubazioni è finalizzato all'uso in fognature in pressione interrati o fuori terra.

Unitamente alle parti già analizzate precedentemente della norma UNI EN 1452 sugli acquedotti in PVC (norma dalla quale la UNI EN 1456 differisce di poco), la presente parte di norma tecnica si riferisce ad acque reflue a una temperatura di circa 20 °C e a tubazioni dei seguenti tipi:

- a) interrate;
- b) di bocche di scarico sul mare;
- c) di acque calme in entroterra e/o in condutture;
- d) sospese sotto ponti.

La presente norma è anche applicabile ad acque di scarico con temperature fino a 45 °C compresi.

TUBAZIONI

Diametri esterni nominali

I diametri esterni nominali d_n dei tubi devono essere conformi alla tabella seguente:

Table 1 — Nominal outside diameters and tolerances

Dimensions in millimetres

Nominal outside diameter d_n	Tolerance for mean outside diameter d_{em} ¹⁾ x	Tolerance for out-of-roundness of the outside diameter d_e ²⁾	
		S 20 to S 16	S 12,5 to S 8
25	0,2	—	0,5
32	0,2	—	0,5
40	0,2	1,4	0,5
50	0,2	1,4	0,6
63	0,3	1,5	0,8
75	0,3	1,6	0,9
90	0,3	1,8	1,1
110	0,4	2,2	1,4
125	0,4	2,5	1,5
140	0,5	2,8	1,7
160	0,5	3,2	2,0
180	0,6	3,6	2,2
200	0,6	4,0	2,4
225	0,7	4,5	2,7
250	0,8	5,0	3,0
280	0,9	6,8	3,4
315	1,0	7,6	3,8
355	1,1	8,6	4,3
400	1,2	9,6	4,8
450	1,4	10,8	5,4
500	1,5	12,0	6,0
560	1,7	13,5	6,8
630	1,9	15,2	7,6
710	2,0	17,1	8,6
800	2,0	19,2	9,6
900	2,0	21,6	—
1000	2,0	24,0	—

1) The requirement for the tolerance for the mean outside diameter is only applicable prior to storage.

2) The requirement for out-of-roundness is only applicable prior to the pipe leaving the manufacturer's premises.

NOTE 1 The tolerance for d_{em} conforms to grade D of ISO 11922-1:1997 [4] for $d_n \leq 50$ mm and to grade C for $d_n > 50$ mm. The tolerance is expressed in the form $^{+x}_0$ mm, where x is the value of the tolerance.

NOTE 2 The tolerance for out-of-roundness is expressed as the difference between the measurement of the largest and the smallest outside diameter in a cross-section of the pipe (i.e. $d_{e,max} - d_{e,min}$).

NOTE 3 For $d_n \leq 250$ mm, the tolerance for pipe series S 20 to S 16 conforms to grade N of ISO 11922-1:1997 [4]. For $d_n > 250$ mm, the tolerance conforms to grade M of ISO 11922-1:1997 [4].

NOTE 4 For a $d_n \geq 25$ mm, the tolerance for pipe series S 12,5 to S 8 conforms to 0,5 grade M of ISO 11922-1:1997 [4].

Diametri esterni medi e loro tolleranze

Il diametro esterno medio d_{em} dovrà essere conforme al diametro esterno nominale d_n , con la tolleranza indicata nella tabella 1 sopra.

La tolleranza di ovalizzazione del diametro esterno d_e dovrà essere conforme anch'essa ai dati in tabella 1.

In corrispondenza del diametro esterno nominale medio d_{em} 500, riferito al nostro tubo in esame, vediamo che c'è una tolleranza di d_{em} di 1,5 mm; inoltre vediamo che la tolleranza di ovalizzazione del diametro esterno d_{em} per il nostro S 20 è di 12 mm.

Spessori delle pareti e loro tolleranze

Lo spessore nominale della parete e_n dovrà essere conforme ai dati della tabella 2, mentre la tolleranza dello spessore medio e_m dovrà uniformarsi ai dati della tabella 3.

Table 2 — Nominal (minimum) wall thicknesses

Dimensions in millimetres

Nominal outside diameter	Nominal (minimum) wall thicknesses					
	for pipe series S					
	S 20 (SDR 41)	(S 16,7) (SDR 34,4)	S 16 (SDR 33)	S 12,5 (SDR 26)	S 10 (SDR 21)	S 8 (SDR 17)
d_n	for nominal pressure PN based on service (design) coefficient $C = 2,5$					
	PN 6	PN 6	PN 8	PN 10	PN 12,5	
25						1,5
32			1,5	1,6	1,6	1,9
40		1,5	1,6	1,9	1,9	2,4
50	1,5	1,6	2,0	2,4	2,4	3,0
63	1,9	2,0	2,5	3,0	3,0	3,8
75	2,2	2,3	2,9	3,6	3,6	4,5
90	2,7	2,8	3,5	4,3	4,3	5,4
	for nominal pressure PN based on service (design) coefficient $C = 2,0$ ¹⁾					
	PN 6	PN 7,5	PN 8	PN 10	PN 12,5	PN 16
110	2,7	3,2	3,4	4,2	5,3	6,6
125	3,1	3,7	3,9	4,8	6,0	7,4
140	3,5	4,1	4,3	5,4	6,7	8,3
160	4,0	4,7	4,9	6,2	7,7	9,5
180	4,4	5,3	5,5	6,9	8,6	10,7
200	4,9	5,9	6,2	7,7	9,6	11,9
225	5,5	6,6	6,9	8,6	10,8	13,4
250	6,2	7,3	7,7	9,6	11,9	14,8
280	6,9	8,2	8,6	10,7	13,4	16,6
315	7,7	9,2	9,7	12,1	15,0	18,7
355	8,7	10,4	10,9	13,6	16,9	21,1
400	9,8	11,7	12,3	15,3	19,1	23,7
450	11,0	13,2	13,8	17,2	21,5	26,7
500	12,3	14,6	15,3	19,1	23,9	29,7
560	13,7	16,4	17,2	21,4	26,7	
630	15,4	18,4	19,3	24,1	30,0	
710	17,4	20,7	21,8	27,2		
800	19,6	23,3	24,5	30,6		
900	22,0	26,3	27,6			
1000	24,5	29,2	30,6			
1) To apply an overall service (design) coefficient of 2,5 (instead of 2,0) for pipes with nominal diameters above 90 mm, the next higher pressure rating, PN, shall be chosen.						
NOTE 1 The nominal wall thicknesses conform to ISO 4065:1996 [5].						
NOTE 2 The PN 6 values for S 20 and S 16 are calculated with the preferred number 6,3.						
NOTE 3 The pipe series S 16,7 is intended to be phased out by the end of [DAV + 2 years].						

Table 3 — Tolerance on wall thicknesses

Dimensions in millimetres

Nominal (minimum) wall thickness e_n		Tolerance for mean wall thickness x	Nominal (minimum) wall thickness e_n		Tolerance for mean wall thickness x
>	≤		>	≤	
1,0	2,0	0,4	16,0	17,0	1,9
2,0	3,0	0,5	17,0	18,0	2,0
3,0	4,0	0,6	18,0	19,0	2,1
4,0	5,0	0,7	19,0	20,0	2,2
5,0	6,0	0,8	20,0	21,0	2,3
6,0	7,0	0,9	21,0	22,0	2,4
7,0	8,0	1,0	22,0	23,0	2,5
8,0	9,0	1,1	23,0	24,0	2,6
9,0	10,0	1,2	24,0	25,0	2,7
10,0	11,0	1,3	25,0	25,0	2,8
11,0	12,0	1,4	26,0	27,0	2,9
12,0	13,0	1,5	27,0	28,0	3,0
13,0	14,0	1,6	28,0	29,0	3,1
14,0	15,0	1,7	29,0	30,0	3,2
15,0	16,0	1,8	30,0	31,0	3,3

NOTE The tolerance applies to the nominal (minimum) wall thickness and is expressed in the form $\begin{smallmatrix} +x \\ 0 \end{smallmatrix}$ mm, where x is the value of tolerance for the mean wall thickness, e_m . It conforms to grade W of ISO 11922-1:1997^[4].

Capitolo X

***NORMATIVA TECNICA
SULLE TUBAZIONI IN PE
PER ACQUEDOTTI E
FOGNATURE***

Posa in opera e collaudo di sistemi di tubazioni di polietilene per il trasporto di liquidi in pressione
(UNI 11149)

La presente norma rappresenta una guida operativa concernente la posa in opera e il collaudo di sistemi di tubazioni di polietilene per il trasporto di liquidi a pressione. Sono inoltre presi in considerazione i requisiti dei materiali.

I campi in cui la presente norma viene applicata sono quelli dedicati al trasporto a pressione di acqua potabile e non, ivi inclusi gli scarichi in pressione, e specificamente: acquedotti, irrigazione, fognature, reti antincendio e acque reflue.

DEFINIZIONI

Dimensione nominale DN: designazione numerica per le dimensioni di un componente, che è un numero arrotondato approssimativamente uguale alla dimensione costruttiva, in millimetri (mm).

Diametro esterno nominale d_n : indicazione del diametro esterno nominale di un tubo o raccordo, espresso in millimetri (mm).

Diametro esterno qualunque d_e : indicazione del diametro esterno misurato in un qualsiasi punto della circonferenza di un tubo o raccordo di PE, espresso in millimetri (mm).

Diametro esterno medio d_{em} : il valore della misurazione della circonferenza esterna di un tubo o di un bicchiere in una sezione retta qualsiasi, diviso per π ($= 3,142$), arrotondato allo 0,1 mm più vicino.

Scostamento dalla circolarità (ovalizzazione): differenza fra il diametro esterno massimo misurato e il diametro esterno minimo misurato nella stessa sezione trasversale del tubo o del codolo del raccordo.

Spessore nominale di parete e_n : designazione numerica dello spessore nominale di un tubo o di un raccordo espresso in millimetri (mm), che è identico allo spessore minimo di parete ammissibile in un punto qualsiasi, espresso in millimetri.

Rapporto dimensionale normalizzato SDR: quoziente fra il diametro esterno nominale d_n di un tubo e lo spessore nominale di parete e_n .

Pressione nominale PN: designazione numerica usata a scopo di riferimento, relativa alle caratteristiche meccaniche del componente di un sistema di tubazioni. Per i sistemi di tubazioni di materia plastica per il trasporto dell'acqua, corrisponde alla pressione operativa massima continua in bar, che può essere sopportata con acqua a 20°C, basata sul coefficiente di progetto minimo.

Pressione massima operativa MOP: la massima pressione effettiva del fluido nel sistema di tubazioni, espressa in bar, che è ammessa in uso continuo. Essa tiene conto delle caratteristiche pratiche e meccaniche dei componenti del sistema di tubazioni e si calcola con l'equazione:

$$MOP = \frac{20 \cdot (MRS)}{C \cdot [(SDR) - 1]}$$

Pressione di esercizio OP: pressione relativa alla quale un determinato impianto viene normalmente mantenuto in funzione. Tale pressione non può essere maggiore della pressione massima di esercizio MOP. È espressa in bar.

Pressione di progetto MDP: Valore di pressione adottato per il calcolo di dimensionamento delle condotte, espresso in bar.

Pressione di prova STP: pressione di collaudo idraulico, espressa in bar. Essa è basata sulla pressione massima di progetto (MDP) aumentata del 50%.

Limite inferiore di confidenza σ_{LCL} : quantità con le dimensioni di uno sforzo espresso in MPa, che può essere considerata come una proprietà del materiale in questione, e rappresenta il limite inferiore di confidenza al 97,5% della resistenza prevista a lungo termine ad una temperatura di 20°C per 50 anni con pressione interna d'acqua.

Resistenza minima richiesta MRS: valore di σ_{LCL} arrotondato al valore inferiore più prossimo della serie R10 o della serie R20, conformi alle ISO 3 e ISO 497, secondo il valore di σ_{LCL} .

Sollecitazione di progetto σ_s : sollecitazione ammissibile per una data applicazione. È derivata dall'MRS per divisione con il coefficiente C e arrotondamento al valore inferiore più prossimo della serie R20. È espresso in megapascal. Essa si calcola con l'espressione:

$$\sigma = \frac{(MRS)}{C}$$

Coefficiente globale di progetto C: coefficiente complessivo avente un valore maggiore di 1 che prende in considerazione condizioni di impiego e caratteristiche dei componenti di un sistema di tubazioni diverse da quelle rappresentate nel livello inferiore di confidenza. Il valore minimo di C per tutti i tipi di PE a 20°C è 1,25.

Tubazione: insieme di tutti gli elementi (tubi, raccordi, valvole, pezzi speciali ed accessori) uniti fra loro per formare una condotta a perfetta tenuta, idonea al trasporto di fluidi a pressione.

Collaudo in opera: complesso delle operazioni, documentate e rintracciabili, aventi lo scopo di accertare la corrispondenza dell'opera realizzata alle caratteristiche costruttive e funzionali previste dal progetto applicando procedure codificate ed identificate.

Posa in opera: attività legata alla realizzazione delle condotte oggetto del progetto.

Profondità di interrimento H: minima distanza intercorrente tra la generatrice superiore del tubo e quella del terreno. È espressa in metri.

ELEMENTI PROGETTUALI

Coefficiente complessivo di progetto (C)

Per sistemi di tubazioni di PE a 20°C di funzionamento si applica un coefficiente C di 1,25. Nel prospetto 1 è riportato un esempio della relazione tra PN ed SDR in funzione del tipo di PE utilizzato.

prospetto 1 Relazione tra PN ed SDR in funzione del PE utilizzato a 20 °C con il valore di C= 1,25

SDR	Pressione nominale PN (bar) in funzione del materiale		
	PE 63	PE 80	PE 100
33 26	3,2 4	5	6,3
21 17	5	8	10
11 7,4	10	12,5 20	16 25

Il tubo di polietilene preso in esame nel nostro esempio ha un SDR di 17 e PN 10, quindi avremo bisogno del PE 100.

CALCOLO STATICO DEL TUBO INTERRATO

Nel dimensionamento del tubo interrato si devono considerare vari parametri, che rivestono notevole importanza ai fini della verifica delle sollecitazioni alle quali il tubo interrato può essere sottoposto.

La profondità di interramento, la tipologia del terreno e del materiale di riporto, il grado di compattezza del materiale di riempimento, l'eventuale presenza di acqua di falda, l'intensità del traffico stradale, ecc. sono fattori che esercitano un'influenza nel dimensionamento dello spessore del tubo.

Carico del terreno

Il carico esercitato dal terreno di ricoprimento sul tubo varia in funzione della tipologia di trincea realizzata e del tipo di materiale impiegato per il rinterro.

La tipologia di posa maggiormente impiegata è quella corrispondente alla trincea stretta (vedere figura 1). In questo caso, nel calcolo del carico del terreno, si fa uso della formula di Marston, nella quale intervengono il coefficiente di attrito fra il materiale di riinterro e quello nativo costituente le pareti dello scavo Θ (vedere prospetto 5) ed il coefficiente di attrito interno del terreno di riinterro Φ (vedere prospetto 6).

$$q_t = C_d \cdot \gamma \cdot B \text{ (N/m}^2\text{)}$$

dove:

$$C_d = \frac{1 - e^{-2 \cdot K \cdot \tan \Theta \cdot H/B}}{2K \cdot \tan \Theta} \text{ è il coefficiente di Marston,}$$

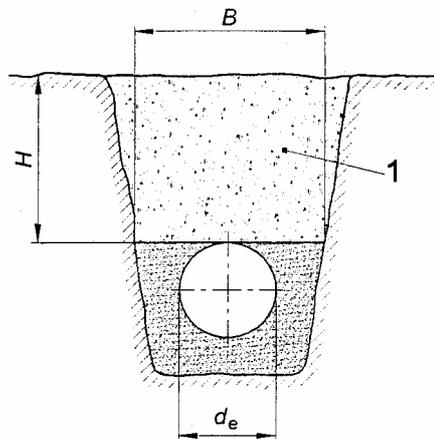
$$K = \tan^2 \left(\frac{90 - \phi}{2} \right) \text{ è un coefficiente dimensionale;}$$

per γ (peso specifico del materiale di riinterro), vedere prospetto 7.

figura 5 **Posa in trincea stretta**

Legenda

1 Riempimento



prospetto 5

Angolo di attrito tra materiale di riempimento e terreno originale

Angolo Θ		Materiale di riempimento	
		Sabbia	Ghiaia
Terreno originale	Rocce lisce	25°	30°
	Marna	30°	35°
	Rocce scistose	35°	40°

Angolo di attrito interno del terreno

Materiale usato per il riempimento	Angolo ϕ
Argilla plastica	11°-12°
Terreno morboso	12°
Argilla normale	14°
Loess cretaceo	18°
Marna sabbiosa	20°
Marna bianca	22°
Marna molto compatta	24°
Marna verde	26°
Sabbia bagnata	30°
Sabbia fine non pressata	31°
Sabbia e ghiaia	33°
Ghiaia e ciottoli	37°
Ciottoli grossi	44°

Peso specifico del terreno

Tipologia di terreno	Peso specifico (N/m ³)
Terreno granulare, senza coesione	17 000
Sabbia e ghiaia	19 000
Terreno agrario saturo, argilloso umido	20 000
Argilla compatta, argilla ordinaria	21 000
Argilla satura	22 000

Il carico più gravoso si genera in condizioni di trincea infinita o terrapieno (vedere figura 16 e figura 17) con $B \geq 10 \cdot d_e$ e $H \leq 2 \cdot B$ ed è dato dall'espressione seguente:

$$q_t = \gamma \cdot H \text{ (N/m}^2\text{)}$$

In base alla tipologia dello scavo si deve applicare l'appropriata formula.

Prendendo in esame il caso di trincea stretta ($B \leq 3d_e$ e $H \geq 2B$), assumiamo i seguenti dati per il nostro tubo in PE con diametro esterno di 500 mm:

- $B = 1000$ mm;

- $H = 2500$ mm;
- $\Phi = 37^\circ$ (ghiaia e ciottoli come materiale di riempimento);
- $\Theta = 30^\circ$ (rocce lisce come terreno originale);
- $\gamma = 18000$ N/m³ (peso specifico del terreno).

Considerando queste ipotesi, calcoliamo il coefficiente di Marston C_d :

$K = \tan^2 [(90 - 37)/2] = 0,25$ è il coefficiente adimensionale da applicare per il calcolo del coefficiente di Marston;

$$C_d = [1 - e^{-2 \cdot 0,25 \cdot \tan 30 \cdot 2500 / 1000}] / (2 \cdot 0,25 \cdot \tan 30) = 1,78.$$

Calcoliamo ora il carico del terreno sul tubo con la formula di Marston vista sopra:

$$q_t = C_d \gamma B = 1,78 \cdot 18000 \text{ N/m}^3 \cdot 1 \text{ m} = 32040 \text{ N/m}^2 = 32,04 \text{ KN/m}^2.$$

Se fossimo nel caso di terrapieno (trincea infinita, $B \geq 10d_e$ e $H \leq 2B$), che comporta il carico più gravoso del terreno sul tubo, avremmo per esempio:

- $B = 8$ m;
- $H = 10$ m;
- $\gamma = 18000$ N/m³ (peso specifico del terreno).

Il carico sarebbe: $q_t = \gamma H = 18000 \text{ N/m}^3 \cdot 10 \text{ m} = 180000 \text{ N/m}^2 = 180 \text{ KN/m}^2$,
che è più di 5 volte il carico del terreno in trincea stretta calcolato.

Carichi mobili

Scegliendo per il calcolo dei carichi mobili q_m l'ipotesi più sfavorevole con trincea infinita o terrapieno, la formula è la seguente:

$$q_m = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{P}{(H + d_e/2 \cdot 000)} \cdot \varphi \text{ (N/m}^2\text{)}$$

dove:

$\varphi = 1 + 0,3/H$ è il coefficiente correttivo dinamico per mezzi stradali;

$\varphi = 1 + 0,6/H$ è il coefficiente correttivo dinamico per mezzi ferroviari;

i carichi stradali P sono riportati nel prospetto 8.

Carico stradale

Classe	Carico totale (N)	P carico massimo per ruota (N)
Traffico pesante	600 000	100 000
Traffico medio	450 000	75 000
	300 000	50 000
Traffico leggero	120 000	20 000 anteriore 40 000 posteriore
	60 000	20 000
Autovettura	30 000	10 000

Prendendo in considerazione il nostro esempio pratico, possiamo calcolare q_m con le seguenti ipotesi:

- $d_e = 500$ mm;
- $P = 100000$ N (ipotizziamo un traffico pesante);
- $\varphi = 1 + 0,3/2,5 = 1,12$ m⁻¹ (ipotizziamo di essere nel caso di trincea stretta e in presenza di mezzi stradali).

Il carico sarà:

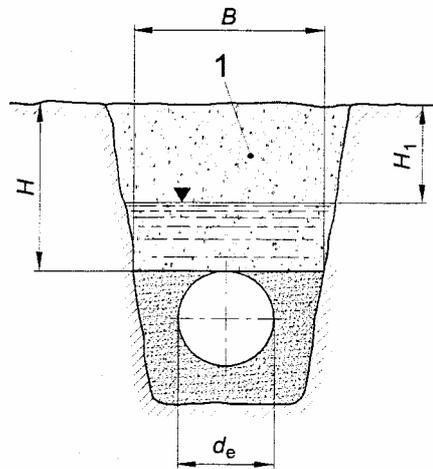
$q_m = 1,5 * \pi * 100000$ N * $1,12$ m⁻¹ / (2,5 m + 0,5 m / 2) = 191922,8 N/m² = 191,9 KN/m²,
che è un carico superiore al carico del terreno nel caso di terrapieno, quindi notevolmente gravoso per la nostra tubazione.

Carico per acqua di falda

Il carico esercitato dall'acqua di falda (vedere figura 6) è dato dall'espressione seguente:

$$q_f = \gamma_{H_2O} \cdot (H - H_1 + d_e/2 \cdot 000) \text{ (N/m}^2\text{)}$$

figura 6 **Trincea con acqua di falda**
 Legenda
 1 Riempimento



Considerando il nostro tubo di polietilene con $d_e = 500$ mm e le ipotesi:

- $\gamma_{acqua} = 9810$ N/m³;
- $H = 2,5$ m;
- $H_1 = 1,5$ m (ipotizziamo un'altezza di falda di 1 m sopra la generatrice superiore del tubo),

arriviamo a calcolare il carico per acqua di falda q_f :

$q_f = 9810$ N/m³ * $(2,5$ m $- 1,5$ m $+ 0,5$ m / 2) = $12262,5$ N/m² = $12,26$ KN/m², carico molto esiguo rispetto sia a quello del terreno che a quello dei carichi mobili.

Modulo di reazione del terreno

Il modulo del terreno nello scavo si definisce in funzione della consistenza e del grado di compattazione scelto.

Il prospetto 9 riporta le 4 classi di compattazione in funzione di 6 tipologie di materiali di riempimento, che realmente corrispondono ai 4 gruppi del terreno del prospetto 10.

Modulo di reazione del terreno e classe di compattazione in relazione al tipo di terreno e alla densità Proctor³⁾

Modulo di reazione del terreno E_s (10^6 N/m ²)						
Densità Proctor	Materiale di riempimento					
	Suolo a grana fine: gruppo 4 con meno del 25% di particelle a grana grossolana	Suolo a grana fine: gruppo 4 con più del 25% di particelle a grana grossolana	Suolo a grana grossolana: gruppo 3 con più del 12% di particelle a grana fine	Suolo a grana grossolana: gruppo 2 con meno del 12% di particelle a grana fine	Suolo a grana grossolana: gruppo 1 con meno del 12% di particelle a grana fine	Roccia frantumata: gruppo 1
	0,34	0,69	0,69	1,4	1,4	6,9
75% ÷ 78%	1,40	2,80				
79% ÷ 80%			1,40	2,80	2,80	6,90
81% ÷ 83%	2,80	6,90				
84%			2,80	6,90	6,90	13,80
85%	2,80	6,90				
86% ÷ 89%			2,80	6,90	13,80	13,80
90% ÷ 92%	2,80	6,90				
93% ÷ 94%			2,80	6,90	13,80	20,70
95%	2,80	6,90				
96%			2,80	6,90	13,80	20,70
97%	2,80	6,90				
98% ÷ 100%			2,80	6,90	13,80	20,70

	Scaricato alla rinfusa, nessun controllo della densità Proctor
	Classe N: nessuna compattazione ma controllo della densità Proctor
	Classe M: media compattazione
	Classe B: buona compattazione

Gruppo	Tipo	Nome tipico	Simbolo	Tratti caratteristici	Esempio
1	Granulare	Ghiaia a singola pezzatura	GU	Linea di granulazione stretta, predominanza di una zona a singola pezzatura	Roccia frantumata, ghiaia di fiume o di costa, ghiaia morenica, ceneri vulcaniche
		Ghiaia ben vagliata, miscela di ghiaia con sabbia, pochi fini o nessuno	GW	Linea di granulazione continua, pezzatura a più zone	
		Ghiaia poco vagliata, miscela poco vagliata di ghiaia con sabbia, pochi fini o nessuno	GP	Linea di granulazione a scalini, una o più zone di pezzatura assenti	
2	Granulare	Sabbia a singola pezzatura	SU	Linea di granulazione stretta, predominanza di una zona a singola pezzatura	Sabbia da dune e depositi alluvionali, sabbia di vallata, sabbia di bacino
		Sabbia ben vagliata, miscela di sabbia con ghiaia, pochi fini o nessuno	SW	Linea di granulazione continua, pezzatura a più zone	
		Sabbia poco vagliata, miscela poco vagliata di sabbia con ghiaia, pochi fini o nessuno	SP	Linea di granulazione a scalini, una o più zone di pezzatura assenti	

3) Per la definizione di densità Proctor, vedere bibliografia [2].

La densità Proctor è definita come il rapporto fra la densità del terreno e quella dello stesso saturo d'acqua:

$$\rho_P = \rho_t / \rho_{t,sat}$$

Gruppo	Tipo	Nome tipico	Simbolo	Tratti caratteristici	Esempio
3	Granulare	Ghiaia con limo, miscela poco vagliata di ghiaia, sabbia e limo	GM	Linea di granulazione larga intermittente con limo finemente granulato	Ghiaia degradata, detriti da riporto, ghiaia con argilla
		Ghiaia con argilla, miscela poco vagliata di ghiaia, sabbia e argilla	GC	Linea di granulazione larga intermittente con argilla finemente granulata	
		Sabbia con limo, miscela poco vagliata di sabbia e limo	SM	Linea di granulazione larga intermittente con limo finemente granulato	
		Sabbia con argilla, miscela poco vagliata di sabbia e argilla	SC	Linea di granulazione larga intermittente con argilla finemente granulata	
4	Coesivo	Limo inorganico, sabbia molto fine, sabbia fine con limo ed argilla	ML	Poca stabilità, reazione rapida, plasticità da nessuna a media	Loess, terriccio
		Argilla inorganica	CL	Da media ad alta stabilità, reazione da nulla a bassa, plasticità da bassa a media	Marna alluvionale, argilla

I simboli impiegati fanno riferimento alle definizioni specificate, e qui riportate, nella BS 5930 (vedere bibliografia [1]).

Rigidità del tubo

In funzione dell'SDR, il tubo ha un valore di rigidità che è riportato nel prospetto 11. Il calcolo della rigidità si basa sulla seguente formula:

$$R_T = E \cdot I / d_e^3 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

dove:

I è uguale a $e^3/12$; esso è il momento d'inerzia del tubo (mm^3);

E è il modulo di elasticità del polietilene per una durata stabilita (N/m^2). A breve termine si può assumere per il PE 63/PE 80 un modulo $\geq 800 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$, mentre per il PE 100 il modulo è $\geq 1000 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (modulo di flessione a 3 punti). Noi ci troviamo in quest'ultimo caso, avendo a che fare con un tubo in PE 100. Consultiamo la tabella seguente riferendoci al nostro SDR 17.

prospetto 11 **Pressione nominale PN e rigidità R_T dei tubi di polietilene in relazione all'SDR**

Tubo		SDR					
		33	26	21	17	11	7,4
PE 63	PN (bar)	3,2	4	5	-	10	16
	R_T (kN/m^2)	2	4,3	8,3	-	66,7	254
PE 80	PN (bar)	4	5	-	8	12,5	20
	R_T (kN/m^2)	2	4,3	-	16,3	66,7	254
PE 100	PN (bar)	5	6,3	8	10	16	25
	R_T (kN/m^2)	2,5	5,3	10,4	20,3	83,3	318

Evidenziamo ora la rigidità del nostro tubo PE 100:

$$R_T = 20,3 \text{ KN/m}^2.$$

Deformazione del tubo dovuta al carico

Il carico del terreno, quello stradale e quello eventuale dell'acqua di falda agiscono complessivamente sulla condotta dando luogo ad un carico complessivo pari a q .

$$q = q_t + q_m + q_f \text{ (N/m}^2\text{)}$$

che nel nostro caso di trincea stretta è:

$$q = 32,04 \text{ KN/m}^2 + 191,9 \text{ KN/m}^2 + 12,26 \text{ KN/m}^2 = 236,2 \text{ KN/m}^2.$$

Questo carico agisce sul tubo deformandolo in direzione sia verticale che orizzontale.

L'intensità della deformazione δ dipende dalla rigidità del tubo R_T (vedere prospetto 11) e dal modulo di reazione del terreno E_s (vedere prospetto 9).

Il modulo di reazione del terreno dipende dalla tipologia stessa del terreno adottato per il ricoprimento e dalla densità Proctor. Nel prospetto è indicata la classe di compattazione adottata che consente di raggiungere determinati valori di densità e modulo di reazione.

L'espressione che permette di valutare la deformazione δ (mm) subita dal tubo è quella di Spangler, basata sull'ipotesi che, per effetto del carico, la sezione del tubo assuma una forma ellittica.

$$\frac{\delta}{d_e} = \frac{0,083 \cdot q}{8 \cdot R_T + 0,061 \cdot E_s}$$

Sostituendo l'espressione della rigidità del tubo, la formula diventa:

$$\frac{\delta}{d_e} = \frac{0,1245 \cdot q}{E \cdot \left(\frac{e}{d_e}\right)^3 + 0,0915 \cdot E_s}$$

dove la deformazione δ/d_e non deve superare il valore massimo consigliato del 5%.

Utilizziamo la penultima equazione per verificare se tale valore è rispettato nei nostri calcoli pratici (consideriamo come terreno di compattazione un suolo a grana grossolana gruppo 2 con una densità Proctor del 78 %; si veda il prospetto 9 sopra):

$$\delta/d_e = 0,083 \cdot 236200 \text{ N/m}^2 / (8 \cdot 20300 \text{ N/m}^2 + 0,061 \cdot 1400000 \text{ N/m}^2) = 0,079 = 7,9 \% > 5 \%$$

pertanto la relazione non è verificata.

Ci servirà un terreno di compattazione con un modulo di reazione maggiore di quello considerato (scegliendo una densità Proctor maggiore, per esempio, dell'85 %, cioè considerando un terreno più pesante ma sempre di tipo grossolano e gruppo 2, otterremo un E_s di 13,80 KN/m² anziché 1,4 KN/m² come prima; si veda il prospetto 9 sopra); ricalcolando si ottiene:

$$\delta/d_e = 0,083 \cdot 236200 \text{ N/m}^2 / (8 \cdot 20300 \text{ N/m}^2 + 0,061 \cdot 13800000 \text{ N/m}^2) = 0,02 = 2 \% < 5 \%$$

Ora la relazione è verificata.

Nel calcolo statico delle tubazioni interrato si deve considerare la pressione equivalente P_0 derivata dalle sollecitazioni esterne, quali: peso del tubo, peso del liquido trasportato, peso del terreno di rinterro, sovraccarichi esterni (statici e dinamici). Per le tubazioni di PE questo valore può essere trascurato se è garantita la classe di compattazione media o buona.

DILATAZIONI

Le dilatazioni della condotta in pressione causate da variazioni di temperatura e/o pressione interna sono da controllare e, particolarmente per installazioni fuori terra, si devono predisporre opportuni sistemi di compensazione delle dilatazioni e adeguati supporti per la condotta.

Le dilatazioni termiche sono calcolate con la formula seguente:

$$\Delta L_T = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_0 \text{ (mm)}$$

dove:

α è il coefficiente di dilatazione lineare per PE: $2 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$;

Δt è la differenza fra la temperatura di posa e la max./min. di esercizio ($^\circ\text{C}$);

L_0 è la lunghezza del tratto considerato (mm).

Considerando un tubo PE 100 installato esternamente, lungo 6m e una differenza di temperatura di $+10^\circ\text{C}$ (per esempio un'escursione termica dalla notte al mattino in inverno), la dilatazione termica sarà:

$$\Delta L_T = 2 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \cdot 10^\circ\text{C} \cdot 6000 \text{ mm} = 12 \text{ mm.}$$

Le dilatazioni da pressione interna si calcolano con la formula seguente:

$$\Delta L_p = \frac{10^5 \cdot p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{E \cdot \left(\frac{d_e^2}{d_i^2} - 1 \right)} \cdot L_0 \text{ (mm)}$$

dove:

p è la pressione (bar);

μ è il modulo di Poisson, che per il polietilene è 0,4.

Per esempio, se abbiamo un tubo PE 100 (assumo una p di esercizio di 60 bar) con $d_e = 500 \text{ mm}$ e quindi $d_i = 500 \text{ mm} - 2 \cdot (500 \text{ mm}/17) = 441 \text{ mm}$ (abbiamo usato la formula: $d_i = d_e - 2(d_e/SDR)$), possiamo calcolare la dilatazione da pressione interna come segue:

$$\begin{aligned} \Delta L_p &= [10^5 \cdot 60 \text{ bar} \cdot 6 \text{ m} \cdot (1 - 2 \cdot 0,4)] / [1100 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 \cdot (0,5^2 \text{ m}^2 / 0,441^2 \text{ m}^2 - 1)] = \\ &= 0,0229 \text{ m} = 22,9 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Dilatazioni nelle installazioni interrate

Le forze di attrito tra terreno e tubo assorbono integralmente queste dilatazioni e le annullano; pertanto non è necessario il loro calcolo.

Dilatazioni nelle installazioni fuori terra

In questa tipologia di posa si fanno le differenze tra i sistemi di compensazione delle dilatazioni in modo tradizionale e i sistemi di ancoraggio dell'intera condotta che evita le dilatazioni.

Metodi di compensazione a bracci elastici

I metodi più semplici per compensare le dilatazioni in modo tradizionale sono i bracci elastici, definiti bracci a forma di "L", "Z" ed "U". La formula di base per il loro calcolo è la seguente:

$$L_{fless} = \sqrt{\frac{3 \cdot d_e \cdot L_0 \cdot \varepsilon \cdot E}{\sigma_{fless,amm} \cdot 10^6}} \text{ (mm)}$$

dove:

L_{fless} è il braccio elastico (mm);

$\sigma_{fless,amm}$ è la sollecitazione a flessione ammessa (N/mm²)

L_0 è la lunghezza tratto da compensare (mm);

ε è la deformazione a causa della temperatura e/o della pressione, data dalla seguente formula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_T}{L_0} + \frac{\Delta L_P}{L_0}$$

Per semplificare il calcolo, si definisce che la sollecitazione a flessione ammissibile può essere indicata con il 15% della sollecitazione di progetto σ_s .

Consideriamo le seguenti ipotesi per il calcolo della lunghezza del braccio elastico:

- $d_e = 500$ mm;
- $L_0 = 1000$ mm;
- $\varepsilon = (12 \text{ mm} + 22,9 \text{ mm}) / 1000 \text{ mm} = 0,0349$ (abbiamo assunto come dilatazioni termica e di pressione quelle precedentemente calcolate nell'esempio pratico);
- $E = 1100 \cdot 10^6$ N/m²;
- $\sigma_{fless,amm} = 0,15 \cdot 10 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 / 1,25 = 1,2 \cdot 10^6$ N/m² (abbiamo usato la formula che dice che $\sigma_s = MRS / C$).

Il calcolo della lunghezza del braccio elastico è:

$$L_{fless} = [3 \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,0349 \cdot 1100 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 / (1,2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2)]^{1/2} = 6,9 \text{ m.}$$

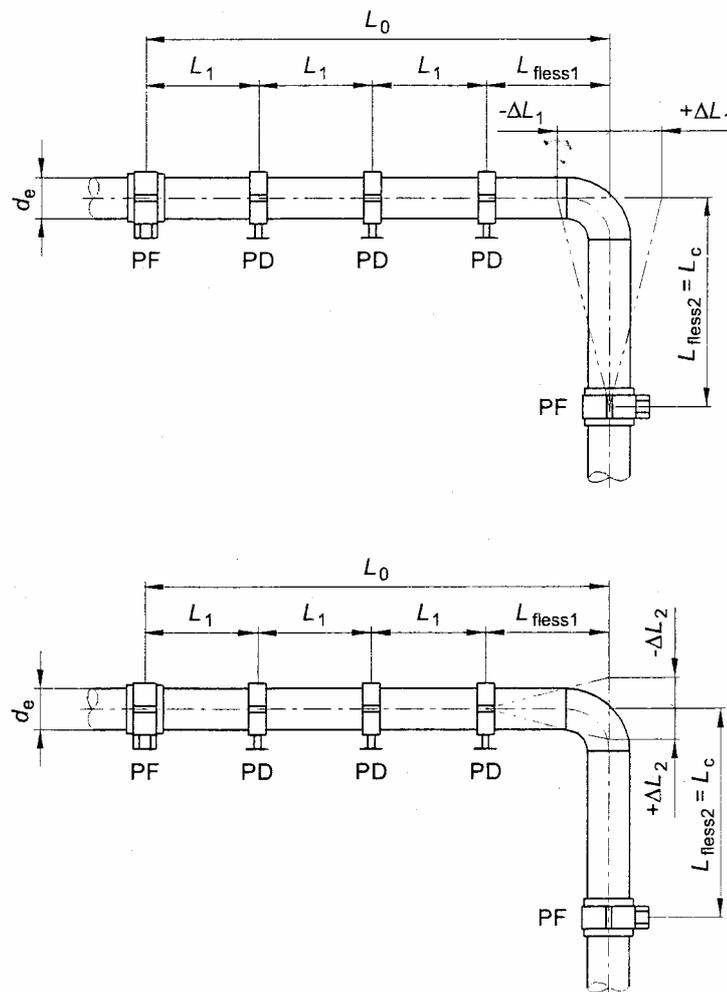
Braccio elastico a forma di "L"

Nella figura 7 vengono indicati con PF i punti fissi, dove il tubo non può scorrere, e con PD i punti di supporto o direzionali, dove il tubo ha la possibilità di scorrere.

Il braccio di compensazione L_{fless2} è calcolato mediante la formula riportata nel punto 8.2.1, considerando come lunghezza del tratto da compensare quella indicata in figura 7 con L_0 .

Anche il tratto L_{fless2} subisce variazioni di lunghezza a causa della temperatura e/o pressione e quindi deve essere opportunamente compensato attraverso il tratto L_{fless1} : questo si calcola considerando come tratto da compensare la lunghezza L_c evidentemente uguale a L_{fless2} .

figura 7 Principio del braccio elastico a forma di "L"

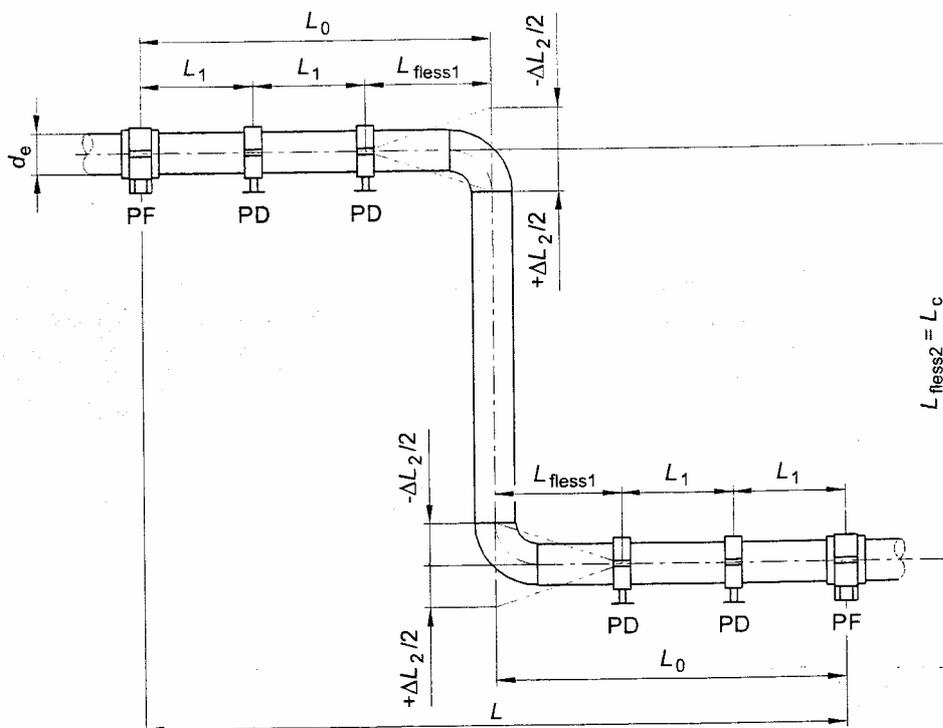
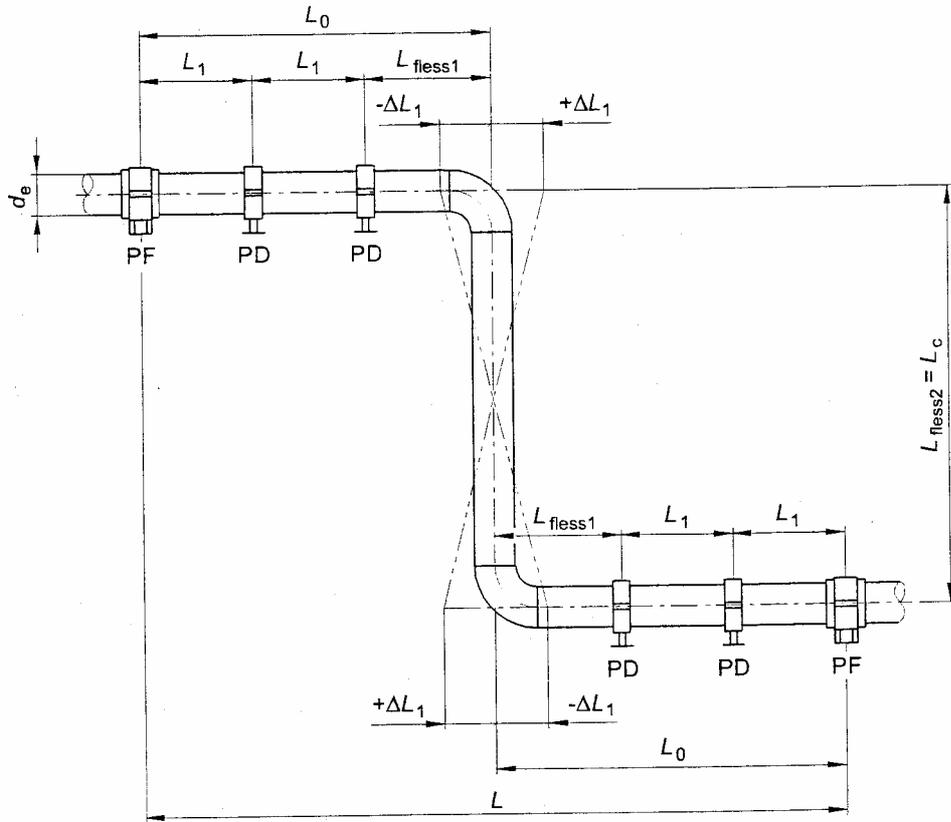


Braccio elastico a forma di "Z"

Il braccio di compensazione L_{fless2} nel caso di una configurazione a forma di “Z” è pari al doppio del valore che si calcola mediante la formula riportata nel paragrafo precedente, considerando come la lunghezza del tratto da compensare quella indicata con L_0 nella figura 8.

Anche il tratto L_{fless2} subisce variazioni di lunghezza a causa della temperatura e/o pressione e quindi deve essere opportunamente compensato attraverso i tratti L_{fless1} , che si calcolano considerando come tratto da compensare la lunghezza L_c evidentemente uguale a L_{fless2} . Nel caso di simmetria geometrica del braccio di compensazione (come quella indicata in figura 8) la deformazione ε valutata sulla lunghezza da compensare $L_c = L_{fless2}$ è distribuita in maniera uguale sui due bracci L_{fless1} . Per questo motivo il valore L_0 da inserire nella formula deve essere uguale a $L_{fless2}/2$.

figura 8 Principio del braccio elastico a forma di "Z"



Braccio elastico a forma di “U”

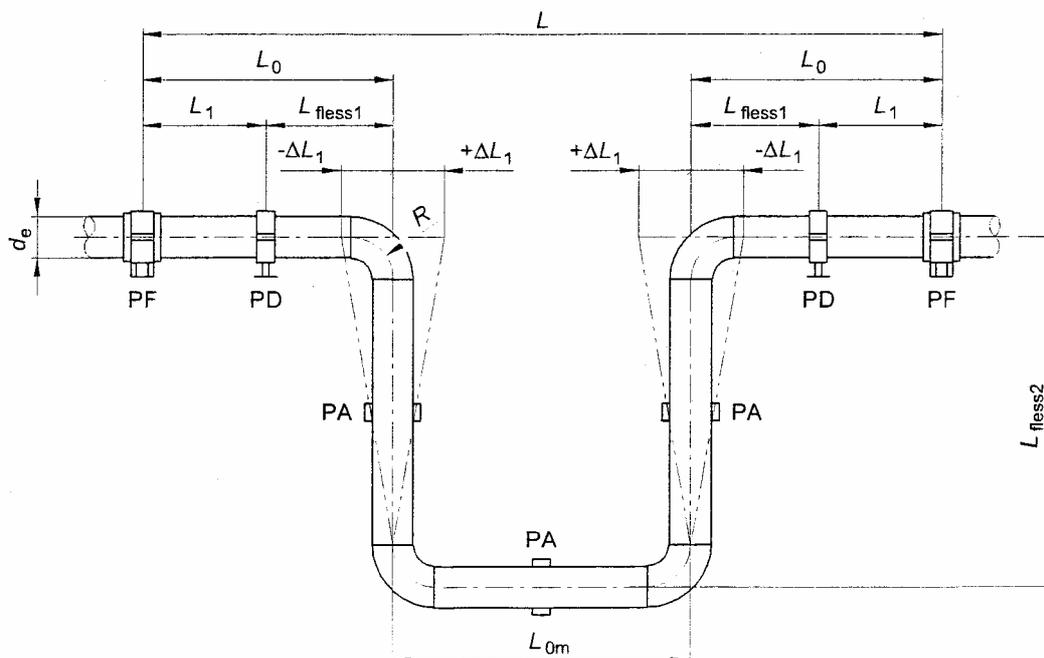
Il braccio di compensazione ad “U” (vedere figura 9) deve essere trattato come due bracci di compensazione ad “L” contrapposti. Vi sono alcune condizioni aggiuntive da tenere in considerazione per la realizzazione corretta di questo sistema di compensazione:

$$L_{fless} \geq (R + 2 \cdot d_e)$$

$$L_{0m} \geq 2 (R + d_e) = 2 \cdot \Delta L_1$$

Se $L_{fless2} > L_1$, si devono inserire ulteriori punti di appoggio PA lungo la linea per ridurre la distanza L_{fless2} .

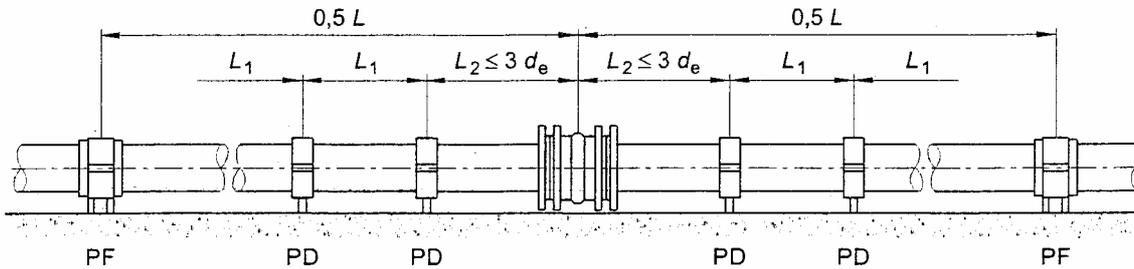
figura 9 Principio del braccio elastico ad U



Metodi di compensazione meccanici

I compensatori meccanici a cannocchiale o a soffiutto vengono inseriti fra due punti fissi posizionati all'estremità del tratto considerato e da compensare e sostenendo il tubo con supporti a distanza adeguata. Tali compensatori hanno dei limiti operativi relativi alla tenuta a pressione nel tempo e alla reale compensazione.

figura 10 Tratto di condotta con compensatore a soffietto



Nella figura 10 sono indicate la distanza L_1 tra due anelli di supporto e la distanza L_2 , che è la distanza consigliata del compensatore dai punti di supporto.

Se l'allungamento della condotta ΔL dovuto all'intera lunghezza L è maggiore della corsa di assorbimento di un compensatore, si devono inserire più compensatori in modo da avere coperto il massimo allungamento o ritiro del tratto considerato.

Distanza fra i supporti

Il peso della tubazione, compreso il fluido trasportato, agisce con momento flettente tra i punti di supporto (PD e/o PF). La distanza massima di appoggio L_1 tra due supporti deve essere:

$$L_1 = C_{de} \cdot \sqrt[3]{E \cdot I \cdot q^{-1} \cdot 10^{-6}} \text{ (mm)}$$

dove:

C_{de} è il coefficiente di correzione ricavato dal diagramma in figura 11;

I è il momento geometrico d'inerzia (mm^4) dato dalla formula:

$$I = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) ;$$

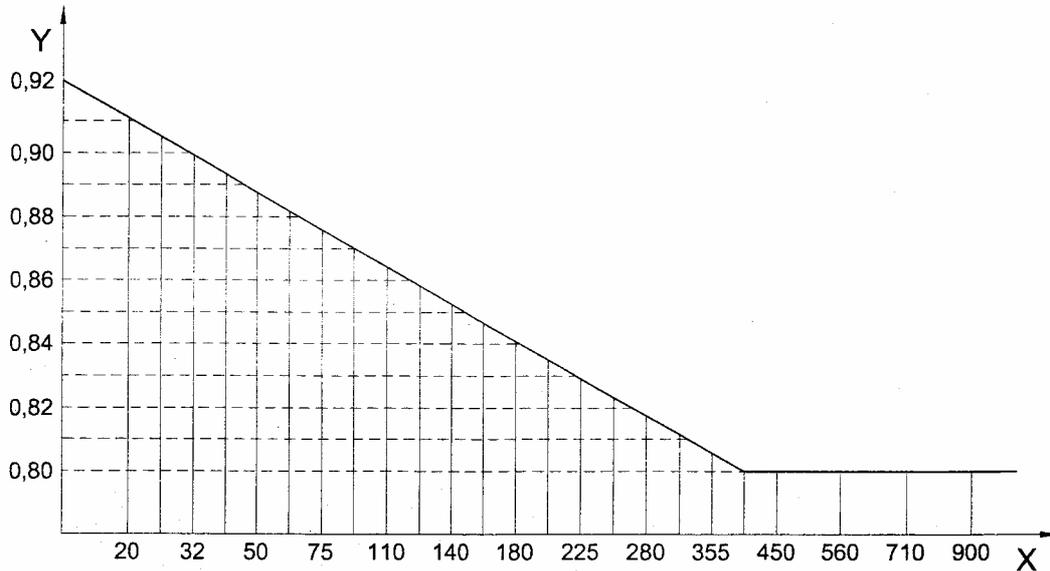
q è il peso specifico della condotta per unità di lunghezza (N/mm^2).

figura 11 Coefficiente correttivo di flessione in funzione del diametro

Legenda

X d_e (mm)

Y C_{de}



Dal grafico precedente vediamo che a un diametro esterno d_e di 500 mm corrisponde un coefficiente correttivo di flessione C_{de} di 0,80; inoltre:

- $q_{PEAD} = 0,95 * 10^{-5} \text{ N/mm}^2$;
- $E = 1100 * 10^6 \text{ N/m}^2$;
- $I = (\pi / 64) * (500^4 \text{ mm}^4 - 441^4 \text{ mm}^4) = 1,2 * 10^9 \text{ mm}^4$.

Possiamo ora calcolare la massima distanza di appoggio tra due supporti:

$$L_l = 0,80 * [1100 * \text{N/mm}^2 * 1,2 * 10^9 \text{ mm}^4 / (0,95 * 10^{-5} \text{ N/mm}^2 * 10^6)]^{1/3} = 4,14 * 10^3 \text{ mm} = 4,14 \text{ m}.$$

Con il sistema di tubazioni bloccate la distanza degli appoggi o guide direzionali L_{crit} è in funzione delle variazioni di temperatura e/o pressione.

Con un coefficiente di sicurezza per carico di punta di 2,0 si ottiene:

$$L_{crit} = 3,17 * \sqrt[3]{\frac{I * A * \varepsilon}{\Delta t}}$$

dove:

A è la sezione resistente del tubo (mm^2) data dalla formula:

$$\frac{\pi}{4} (d_e^2 - d_i^2)$$

e inoltre vale la seguente relazione : $L_I \leq L_{crit}$.

Calcoliamo ora nel nostro caso la distanza degli appoggi o guide direzionali L_{crit} (considerando un aumento di temperatura di 10 °C):

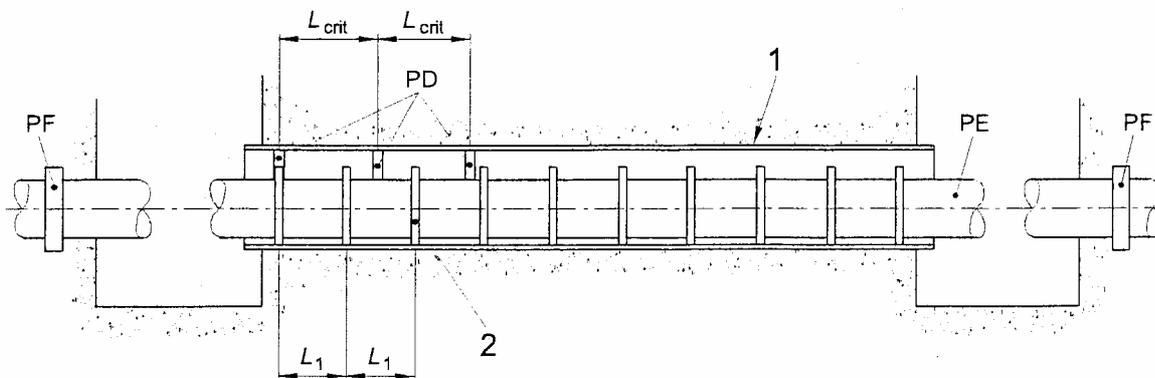
$$L_{crit} = 3,17 * [1,2 * 10^9 \text{ mm}^4 * \pi / 4 * (500^2 \text{ mm}^2 - 441^2 \text{ mm}^2) * 0,0349 / 10^\circ\text{C}]^{1/3} = 1,8 * 10^4 \text{ mm} = 18 \text{ m}.$$

figura 12 Condotta inserita nel tubo metallico di protezione

Legenda

1 Acciaio

2 Appoggio circolare



Nel caso di bloccaggio totale del tubo, le spinte dovute alla impedita dilatazione sono da calcolare, in quanto necessarie per il dimensionamento dei supporti fissi (PF).

La spinta F risultante in direzione assiale del tubo è:

$$F = A \cdot E \cdot \varepsilon \cdot 10^{-6} \text{ (N)}$$

Essa nel nostro caso è: $F = \pi / 4 (500^2 \text{ mm}^2 - 441^2 \text{ mm}^2) * 1100 * 10^6 \text{ N/m}^2 * 0,0349 * 10^{-6} = 1,67 \text{ MN}$.

Se nella tubazione sono inseriti bracci elastici la spinta sui punti fissi è meno gravosa:

$$F = \frac{12 \cdot \Delta L \cdot E \cdot I}{L_{fless}^3 \cdot 10^6} \text{ (N)}$$

dove:

ΔL è la dilatazione a seguito della variazione termica e/o pressione interna (mm);

L_{fless} è la lunghezza del braccio elastico (mm).

Se consideriamo una dilatazione dovuta a pressione interna di 22,9 mm e un braccio elastico lungo 6.9 m (dati ricavati da precedenti calcoli sopra visti), calcoliamo la spinta sui punti fissi:

$F = 12 * 22,9 \text{ mm} * 1100 * 10^6 \text{ N/m}^2 * 1,2 * 10^9 \text{ mm}^4 / (6900^3 \text{ mm}^3 * 10^6) = 1,1 \text{ KN}$, inferiore di tre ordini di grandezza rispetto alla precedente forza calcolata: questo mostra la grande efficacia dell'utilizzo di bracci elastici.

ANCORAGGI

Le tubazioni in cui le giunzioni sono eseguite mediante sistemi a saldare o meccanici dotati di dispositivi antisfilamento non richiedono particolari ancoraggi; comunque devono soddisfare i requisiti di prova descritti nella UNI 9736 e nella UNI 9562.

Le tubazioni aeree, posate sul terreno, devono avere adeguati ancoraggi indipendentemente dal sistema di giunzione. In considerazione delle sollecitazioni idrostatiche e idrodinamiche, tenendo conto delle sollecitazioni aggiuntive dell'eventuale colpo d'ariete, è necessario predisporre dei blocchi di ancoraggio allo scopo di distribuire dette sollecitazioni sul terreno. Il dimensionamento di tali blocchi è funzione delle sollecitazioni e della tipologia di terreno.

Dimensionamento dei blocchi di ancoraggio

La spinta F_A che il fluido esercita sulla condotta in prossimità di cambiamenti di direzione e che deve essere contrastata dai blocchi di ancoraggio è calcolata con la formula seguente:

$$F_A = k \cdot STP \cdot A_i \cdot 10^{-4} \text{ (kN)}$$

dove:

K è uguale a 1,000 per i T a 90° o calotte;

K è uguale a 1,414 per le curve/gomiti a 90°;

K è uguale a 0,766 per le curve/gomiti a 45°;

STP è la pressione di prova (bar);

A_i è la sezione interna del tubo per i gomiti, le curve e le calotte; differenza delle sezioni interne per le riduzioni (mm²).

Se consideriamo un gomito di 90° in PE, una pressione di prova di 50 bar e una sezione corrispondente al nostro diametro interno di 441 mm ($A_i = 441^2 \text{ mm}^2 * \pi / 4 = 152745 \text{ mm}^2$), possiamo calcolare la spinta F_A che il fluido esercita sulla condotta in prossimità di cambiamenti di direzione e che deve essere contrastata dai blocchi di ancoraggio:

$$F_A = 1,414 * 60 \text{ bar} * 152745 \text{ mm}^2 * 10^{-4} = 1295,9 \text{ kN.}$$

La reazione del terreno alla sopraccitata spinta è data da:

$$T_R = k_1 \cdot H \cdot S \text{ (kN)}$$

Il coefficiente di spinta del terreno K_I dipende dalla natura del terreno e vale:

- circa 30 kN/m³ per sabbia argillosa;
- circa 50 kN/m³ per terreni di media compattezza;
- circa 60 kN/m³ per sabbia o ghiaia.

H è la profondità d'interramento misurata rispetto all'asse del tubo (m);

S è la sezione d'appoggio del blocco sul terreno ($a \cdot b$) (m²),

dove:

a, b sono rispettivamente la larghezza e la lunghezza del blocco d'ancoraggio (m).

Se consideriamo ghiaia come terreno di compattazione ($K_I = 60 \text{ kN/m}^3$), una H di 2,75 m e una S di 15 m² (5 m * 3 m), possiamo calcolare la reazione del terreno alla spinta F_A :

$$T_R = 60 \text{ kN/m}^3 \cdot 2,75 \text{ m} \cdot 15 \text{ m}^2 = 2475 \text{ kN}.$$

In ogni caso per valutare le dimensioni del blocco deve essere verificata la seguente condizione:

$$T_R \geq 1,5 F_A$$

Verifichiamo che la condizione sopra detta sia rispettata : $2475 \text{ kN} / 1295,9 \text{ kN} = 1,91 > 1,5$

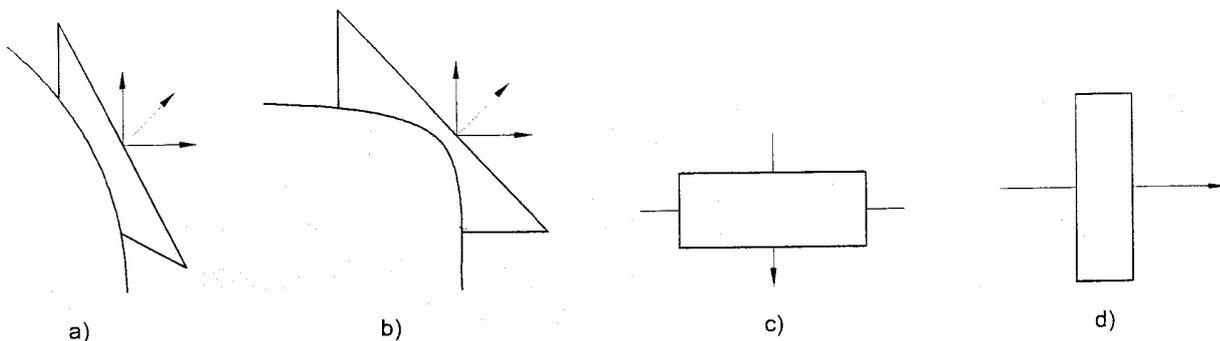
(come dovevasi dimostrare).

figura 13

Sezioni degli ancoraggi per le curve a 45° - 90° - T - condotta cieca

Legenda

- a) Curva a 45°
- b) Curva a 90°
- c) T
- d) Condotta cieca



GESTIONE DEI MATERIALI

Per il carico, il trasporto, lo scarico, l'accatastamento dei tubi e l'immagazzinamento dei raccordi e dei pezzi speciali si deve fare riferimento a quanto previsto dalla legislazione vigente (al momento della pubblicazione della norma è in vigore sull'argomento il D.M. 12/12/85 "Norme tecniche relative alle tubazioni. Disciplina della progettazione, esecuzione e collaudo") ed in particolare:

Trasporto

Nel trasporto dei tubi i piani d'appoggio devono essere privi di asperità. I tubi in rotoli devono essere appoggiati preferibilmente in orizzontale. Le imbracature per il fissaggio del carico possono essere realizzate con funi o bande di canapa o di nylon o simili, adottando gli opportuni accorgimenti in modo che i tubi non vengano danneggiati.

Carico, scarico e movimentazione

Se il carico e lo scarico dai mezzi di trasporto, e comunque la movimentazione, vengono effettuati con gru o con il braccio di un escavatore, i tubi devono essere sollevati nella zona centrale con un bilancino di adeguata ampiezza.

Se queste operazioni vengono effettuate manualmente, occorre evitare in ogni modo di far strisciare i tubi sulle sponde del mezzo di trasporto o, comunque, su oggetti duri ed aguzzi.

Accatastamento dei tubi

Nell'accatastamento il piano d'appoggio dovrà essere livellato, esente da asperità e soprattutto da pietre appuntite. L'altezza di accatastamento per i tubi in barre non deve essere maggiore di 1,5 m qualunque sia il diametro e lo spessore.

I tubi in rotoli vanno appoggiati orizzontalmente e l'altezza dell'accatastamento non deve essere maggiore di 2 m.

Limitatamente ai tubi di diametro esterno maggiore di 500 mm è consigliabile armare internamente le estremità onde evitare eccessive ovalizzazioni.

Bisogna assicurarsi che, dopo l'accatastamento, i tappi di protezione delle testate siano collocati sulle stesse, al fine di evitare che foglie, polvere, piccoli animali o altro possano alloggiarsi all'interno dei tubi.

Raccordi per saldature mediante elementi termici per contatto

Questi pezzi vengono generalmente forniti in appositi imballaggi. Se sono forniti sfusi, si deve avere cura, nel trasporto e nell'immagazzinamento, di non accatastarli disordinatamente e si deve evitare il loro danneggiamento per effetto di urti.

Raccordi elettrosaldabili

Questi devono essere sempre forniti in apposite confezioni di materiale resistente, tale da proteggerli da polvere, umidità, salsedine, raggi UV, ecc. .

Devono essere conservati in magazzini, posati su scaffalature o comunque sollevati dal suolo, lontano da fonti di luce e di calore. In cantiere si deve avere cura che i raccordi elettrosaldabili non vengano esposti agli agenti sopra citati e vengano conservati nella loro confezione originale fino al momento dell'uso.

Criteri di accettazione componenti

I tubi, raccordi, pezzi speciali, valvole ed accessori, prodotti in rispondenza alle relative norme, devono pervenire in cantiere con le marchiature previste dalle norme stesse.

POSA IN OPERA

Scavi

Lo scavo deve essere realizzato a sezione obbligata. La larghezza minima sul fondo dello scavo deve essere 20 cm maggiore del diametro del tubo che deve contenere. La profondità minima di interrimento deve essere di 1 m misurata dalla generatrice superiore del tubo, e in ogni caso deve essere valutata in funzione dei carichi stradali e del pericolo di gelo. Qualora non possa essere rispettato il valore minimo di profondità richiesta, la tubazione deve essere protetta da guaine tubolari, manufatti in cemento o materiali equivalenti.

Classificazione degli scavi

Nella fase di progettazione si deve valutare, in base alla consistenza del terreno e della quota di posa del tubo, il tipo di scavo che si deve realizzare, ossia qual è il più idoneo allo scopo prefissato.

La classificazione, che è stata poi anche ripresa nel calcolo statico del tubo, si basa sulle seguenti sezioni geometriche che si suddividono in:

- trincea stretta, vedere figura 14;
- trincea larga, vedere figura 15;
- trincea infinita (posizione positiva o negativa), vedere figure 16 e 17.

La condizione di trincea stretta si ha quando è presente la seguente relazione:

$$B \leq 3d_e \quad H \geq 2B \quad ;$$

per la trincea larga invece valgono le seguenti condizioni:

$$B > 3d_e < 10d_e \quad H > 2B \quad ,$$

infine la trincea infinita o terrapieno è definita con:

$$B \geq 10d_e \quad H \leq 2B \quad .$$

figura 14 **Trincea stretta**

Legenda

1 Riempimento

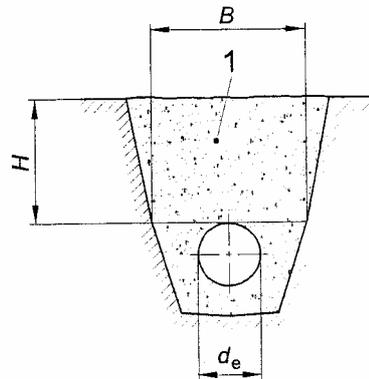


figura 15 **Trincea larga**

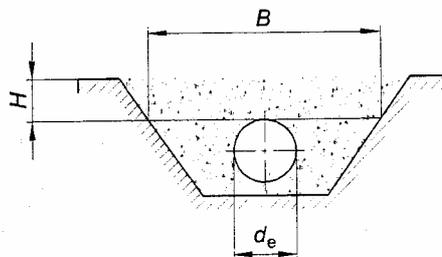
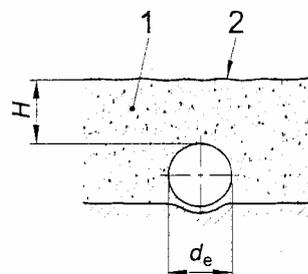


figura 16 **Trincea infinita o posa in terrapieno (posizione positiva)**

Legenda

1 Terreno di riporto

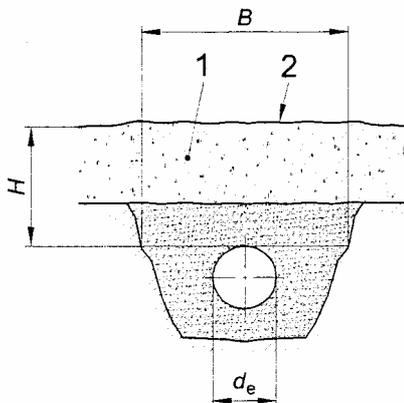
2 Livello nuovo del terreno



Trincea infinita o posa in terrapieno (posizione negativa)

Legenda

- 1 Terreno di riporto
- 2 Livello nuovo del terreno



Minimo interrimento e larghezze di scavo

È necessario, indipendentemente dal risultato del calcolo, rispettare il minimo interrimento dei tubi; se questo per motivi contingenti non è possibile, dopo aver provveduto al regolare interrimento come descritto nel paragrafo del rinterro (a seguire), si deve proteggere il tubo con adeguate solette in cemento.

$$\begin{aligned}
 H_{\min,1} &\geq d_e \geq 1,0 \text{ m} && (\varphi_1) \text{ traffico stradale} \\
 H_{\min,2} &\geq 1,5 d_e \geq 1,2 \text{ m} && (\varphi_2) \text{ traffico ferroviario, aereo}
 \end{aligned}$$

La larghezza degli scavi misurati all’altezza dell’estradosso del tubo deve rispettare le misure minime, riportate nel prospetto 12:

Dimensioni larghezza scavo

Dimensioni del tubo	Larghezza scavo B
$d_e \leq 315$	$d_e + 400$
$d_e > 315 \leq 900$	$d_e + 600$
$d_e > 900 \leq 1\ 600$	$d_e + 800$
$d_e > 1\ 600$	$d_e + 1\ 200$

Consultando il prospetto 12, il tubo con diametro esterno di 500 mm del nostro esempio ci porta a considerare una larghezza di scavo $B = 500 \text{ mm} + 600 \text{ mm} = 1100 \text{ mm}$ (larghezza minima di scavo).

Le larghezze qui riportate possono variare per scavi più profondi o con terreno nativo instabile. Se invece nello scavo non devono operare persone, le misure si possono ridurre.

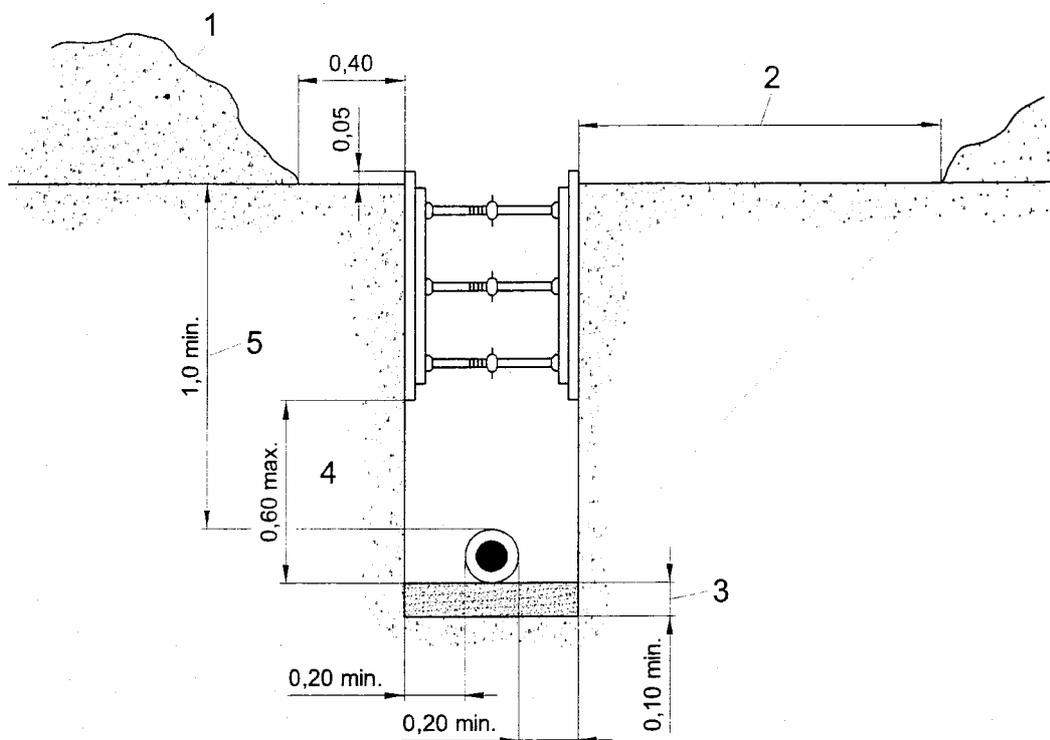
Se gli scavi stretti sono molto instabili a causa del terreno nativo poco consistente, è necessario armare le pareti in modo da garantire un accesso sicuro alla zona di lavoro (vedere esempio nella figura 18).

figura 18 **Esempio di Trincea stretta armata**

Legenda

- 1 Materiale di rinterro
- 2 Zone di instabilità in funzione del tipo di terreno
- 3 Letto posa tubo - materiale selezionato a granulo fine, ben compattato
- 4 Senza armatura
- 5 Profondità di installazione H

Dimensioni in metri



Letto di posa

Le tubazioni posate sul fondo dello scavo devono trovare appoggio continuo lungo tutta la generatrice inferiore e per tutta la loro lunghezza. A questo scopo il fondo dello scavo deve essere piano, costituito da materiale uniforme per evitare possibili sollecitazioni meccaniche al tubo.

In presenza di terreni rocciosi, ghiaiosi o di riporto tali che non sia possibile realizzare condizioni adatte per l'appoggio ed il mantenimento dell'integrità del tubo, il fondo deve essere livellato con sabbia o altro materiale di equivalenti caratteristiche granulometriche. In ogni caso

le tubazioni devono essere sempre posate su di un letto con spessore maggiore di 10 cm di sabbia o terra vagliata e protette su tutta la loro circonferenza con identico materiale ben compattato.

Posa in opera

Le operazioni di collocamento in opera devono essere eseguite da operatori esperti. I tubi devono essere collocati sia altimetricamente che planimetricamente nella precisa posizione risultante dai disegni di progetto, salvo disposizioni da parte della Direzione Lavori. In ogni caso, le singole barre o tratti di condotta realizzati fuori scavo devono essere calati nelle fosse con le prescritte precauzioni, previa predisposizione già citata del fondo, e allineati inizialmente, tanto in senso planimetrico che altimetrico, ricalzandoli in vicinanza dei giunti. In seguito si fissa la loro posizione definitiva in riferimento ai picchetti di quota e di direzione ed in modo che non abbiano a verificarsi contropendenze rispetto al piano di posa. Le tubazioni devono essere ancorate in modo da impedirne lo slittamento durante la prova a pressione. Gli organi di intercettazione, che possono sollecitare i tubi con il loro peso, devono essere sostenuti con supporti autonomi in modo da non trasmettere le loro sollecitazioni alla condotta. Dopodiché i tubi vengono fissati definitivamente nella loro posizione, ricalzandoli opportunamente lungo tutta la linea senza impiegare cunei di metallo, legno o pietrame.

Curvatura

Per non sollecitare il materiale in maniera eccessiva, le barre del tubo di PE possono essere curvate ai raggi di curvatura (R) indicati nel prospetto 13, alla temperatura di 20°C:

prospetto 13

Raggio di curvatura

SDR	Raggio di curvatura
Da 7,4 a 17	$\geq 25 d_e$
Da 21 a 26	$\geq 35 d_e$
33	$\geq 40 d_e$

Nel nostro caso, con un tubo con SDR di 17, dobbiamo avere un minimo raggio di curvatura di $25 * 500 \text{ mm} = 12,5 \text{ m}$.

Qualora i raggi di curvatura richiesti siano inferiori a quelli sopra menzionati, si dovranno utilizzare curve stampate o formate a settori. La curvatura a caldo della tubazione è assolutamente da evitare.

Parallelismi e attraversamenti

In percorsi paralleli a linee tranviarie urbane, la distanza minima misurata orizzontalmente fra la superficie esterna della tubazione e la rotaia più prossima non deve essere minore di 0,50 m.

Nell'attraversamento di linee tranviarie la profondità di posa delle tubazioni non deve essere minore di 1 m misurato fra la generatrice superiore della tubazione ed il piano di ferrovia.

Inoltre la tubazione deve essere inserita in un tubo di protezione prolungato, dall'una e dall'altra parte dell'attraversamento, per almeno 1 m, misurato a partire dalla rotaia esterna.

Per l'attraversamento di corsi d'acqua, per il superamento di dislivelli, ecc. può essere consentita l'utilizzazione di opere d'arte preesistenti (ponti, sottopassi, ecc.).

Nel caso appena citato, o nel caso di sottopassaggi con altre tubature, la distanza fra le superfici affacciate deve consentire gli interventi di manutenzione su entrambi i servizi.

Riempimento dello scavo

Rinterri

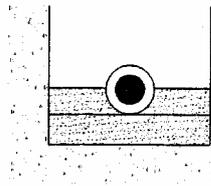
Ultimata la posa dei tubi nello scavo, si dispone sopra di essi uno strato di sabbia non minore di cm 10 misurati sulla generatrice superiore del tubo. Il compattamento dello strato fino a circa 2/3 del tubo deve essere particolarmente curato ed eseguito manualmente, cercando di evitare lo spostamento del tubo. La sabbia compattata deve presentare un'ottima consistenza ed una buona uniformità, rinfiancando il tubo da ogni lato.

Poi si prosegue con l'apporto di materiali di riempimento selezionati, che devono avere una adeguata consistenza e caratteristica, costipando con mezzi meccanici strati ≥ 150 mm per volta (vedere lo spessore minimo prima della compattazione: prospetto 14) e continuando finché lo scavo non si sia riempito (vedere figura 19) e non si sia ottenuta la classe di compattazione richiesta.

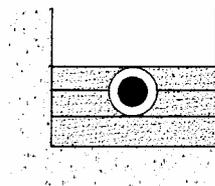
Compattamento del terreno

Legenda

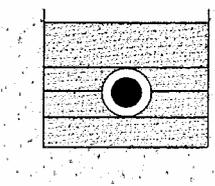
- a) 1° strato di riempimento ben compatto a piedi o con mazza a mano
- b) 2° strato di riempimento con materiale uguale o leggermente più costipabile
- c) Riempimento fino a minima altezza necessaria per la costipazione meccanica. L'altezza deve essere in funzione del procedimento di costipazione
- d) In presenza di rinterri granulari fini, è anche possibile riempire immediatamente la zona del tubo fino a 200 mm oltre estradosso del tubo, purchè si curi con attenzione il riempimento delle zone inferiori del tubo
- e) Riempimento con materiale di riempimento in strati di 200 mm. Compattare con vibratori leggeri
- f) Riempimento totale con materiale nativo in strati da 200 mm, con inserimento del nastro segnalatore



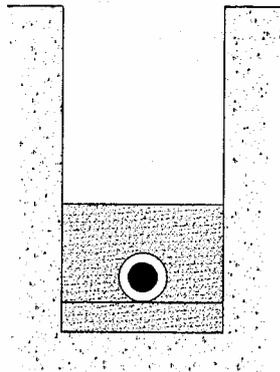
a)



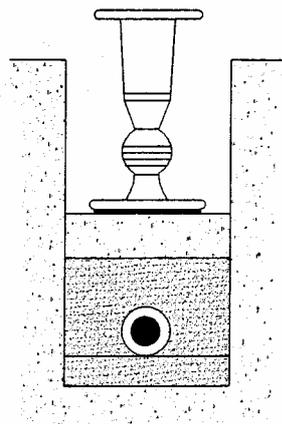
b)



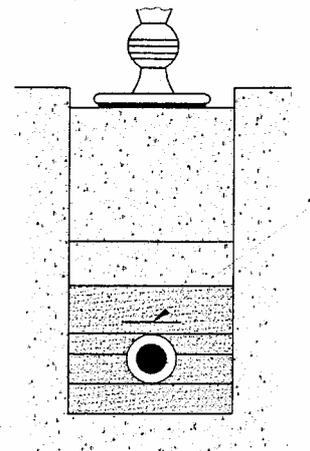
c)



d)



e)



f)

1

Metodi di costipazione

Per ottenere il livello di costipazione necessario a raggiungere i valori di densità Proctor stabiliti (vedere prospetto 9), si possono adottare tecniche diverse in relazione al tipo di terreno di rinterro. Tali tecniche consentono di ottenere i dati richiesti e stabiliti durante la fase progettuale (vedere prospetto 14).

Durante la posa ed il successivo rinterro si consiglia di adottare i mezzi meccanici di costipamento solo dopo aver raggiunto l'altezza minima di copertura del tubo indicata nel prospetto 14.

prospetto 14 Indicazioni per i metodi di costipamento

Metodo di costipamento	Numero di passaggi per le varie classi di compattazione			Spessore dopo la compattazione per le varie classi di terreno (in m)				Spessore minimo prima della compattazione (in m)
	B (buona)	M (media)	N (senza)	Gruppo 1	Gruppo 2	Gruppo 3	Gruppo 4	
A piedi o mazza a mano 15 kg minimo	3	1	0	0,15	0,10	0,10	0,10	0,20
Mazza vibrante 70 kg minimo	3	1	0	0,30	0,25	0,20	0,15	0,35
Vibratore piatto 50 kg minimo	4	1	0	0,10	-	-	-	0,15
100 kg minimo	4	1	0	0,15	0,10	-	-	0,20
200 kg minimo	4	1	0	0,20	0,15	0,10	-	0,25
400 kg minimo	4	1	0	0,30	0,25	0,15	0,10	0,35
600 kg minimo	4	1	0	0,40	0,30	0,20	0,15	0,50
Rullo vibrante 15 kW/m minimo	6	2	0	0,35	0,25	0,20	-	0,60
30 kW/m minimo	6	2	0	0,60	0,50	0,30	-	1,20
45 kW/m minimo	6	2	0	1,00	0,75	0,40	-	1,80
65 kW/m minimo	6	2	0	1,50	1,10	0,60	-	2,40
Rullo doppio vibrante 5 kW/m minimo	6	2	0	0,15	0,10	-	-	0,20
10 kW/m minimo	6	2	0	0,25	0,20	0,15	-	0,45
20 kW/m minimo	6	2	0	0,35	0,30	0,20	-	0,60
30 kW/m minimo	6	2	0	0,50	0,40	0,30	-	0,85
Rullo triplo pesante, senza vibrazione 50 kW/m minimo	6	2	0	0,25	0,20	0,20	-	1,00

Riempimento dello scavo

Tenuto conto che il tubo, se bloccato alle estremità prima del riempimento dello scavo, può assumere delle tensioni uniformandosi alla temperatura del terreno, si deve procedere come segue:

1. il riempimento (almeno per i primi 50 cm sopra il tubo) deve essere eseguito per tutta la condotta nelle medesime condizioni di temperatura esterna e si consiglia la sua esecuzione nelle ore meno calde della giornata;

2. si procede sempre a tratti di 20-30 m avanzando in una sola direzione, e possibilmente in salita; si lavorerà su tre tratte consecutive e verrà eseguito contemporaneamente il ricoprimento (fino a 50 cm sopra il tubo) in una zona, il ricoprimento (fino a 15-20 cm) nella zona adiacente e la posa della sabbia attorno al tubo nella tratta più avanzata;
3. si potrà procedere su tratte più lunghe solo in condizioni di temperatura più o meno costanti.

Per consentire che il tubo si assesti assumendo la temperatura del terreno, una delle estremità della tratta di condotta deve essere sempre mantenuta libera di muoversi e l'attacco ai pezzi speciali o all'altra estremità della condotta deve essere eseguito solo dopo che il ricoprimento sia stato portato a 5-6 m dal pezzo stesso.

Il riempimento successivo dello scavo potrà essere costituito da materiale di risulta dello scavo stesso, disposto per strati successivi, di volta in volta costipati con macchine leggere vibrocompattatrici.

È necessario porre un nastro blu continuo con la dicitura "Tubazione acqua" sulla generatrice superiore della condotta ad una distanza da essa di 30 cm, per indicarne la presenza in caso di successivi lavori di scavo. Nel caso di posa in opera con altri servizi, il nuovo scavo non deve mai mettere in luce la sabbia che ricopre la condotta.

SISTEMI DI GIUNZIONE

Sistemi di giunzione

Le giunzioni dei tubi, dei raccordi e dei pezzi speciali di PE possono avvenire con due sistemi:

- per saldatura;
- per serraggio meccanico.

Giunzione per saldatura

La giunzione per saldatura può essere effettuata:

- mediante elettrofusione nel rispetto della UNI 10521 ;
- mediante procedimento ad elementi termici per contatto nel rispetto della UNI 10520;
- mediante termoelemento per polifusione nel bicchiere.

Attrezzature per la giunzione per saldatura

Le attrezzature per la lavorazione e la posa di tubazioni in PE si distinguono in:

- attrezzature per saldare

- saldatrici ad elementi termici per contatto (vedere UNI 10565),
- saldatrici per elettrofusione (vedere UNI 10566),
- saldatrici a termoelemento per saldare nel bicchiere;

- attrezzature complementari:

sono quelle utilizzate per la lavorazione e la preparazione dei pezzi da saldare (come raschiatori, tagliatubi, allineatori, morsetti, perforatori, chiavi, ecc).

Le operazioni di saldatura vengono eseguite in ambienti umidi (negli scavi) e in alcuni casi anche in presenza di acqua; pertanto le saldatrici alimentate elettricamente, a garanzia dell'incolumità e della sicurezza del personale addetto, devono essere costruite ed usate secondo le norme UNI 10520, UNI 10521, 10565 e 10566.

Giunzioni per serraggio meccanico

Il sistema di giunzione meccanico deve garantire caratteristiche di antisfilamento e le giunzioni devono garantire l'assoluta tenuta dell'intero impianto nelle condizioni di esercizio indicate nel progetto e per la durata prevista per l'impianto stesso.

***Sistemi di tubazioni di materia plastica in pressione, interrati e non,
per il trasporto di acqua per usi generali, per fognature e scarichi -
Polietilene (PE) – Tubi
(UNI EN 13244-2)***

La presente parte della EN 13244 specifica le caratteristiche dei tubi realizzati con il polietilene (PE) destinati ai sistemi di tubazioni in pressione interrati e non, per il trasporto d'acqua per usi generali, per fognature e scarichi. Essa è anche applicabile per i sistemi di fognature in depressione.

L'acqua per usi generali non è destinata al consumo umano ed i componenti conformi alla presente norma non dovrebbero ovviamente essere usati nei sistemi per il trasporto dell'acqua per il consumo umano. Per i componenti di PE destinati al trasporto di acqua per consumo umano e l'acqua grezza prima del trattamento, si veda EN 12201.

Essa specifica anche i parametri di prova per i metodi di prova riferiti a cui ci si riferisce nella presente norma.

La presente norma si applica a tubi di PE, alle loro giunzioni e a giunzioni con componenti di altri materiali non plastici da utilizzarsi alle seguenti condizioni:

- interrati nel suolo; sbocchi a mare; posati in acqua;
- sopra il suolo, inclusi i tubi sospesi sotto i ponti;
- alla pressione massima operativa, MOP, fino a 25 bar compresi;
- una temperatura di esercizio di riferimento di 20°C.

La EN 13244 copre una gamma di pressioni operative massime e fornisce requisiti relativi ai colori ed agli additivi.

È responsabilità del fornitore o di chi prepara le specifiche fare le appropriate scelte tra questi aspetti, tenendo conto delle particolari esigenze e dei relativi regolamenti nazionali e pratiche o codici di installazione.

CARATTERISTICHE GENERALI

Aspetto

Se osservate senza ingrandimento, le superfici interne ed esterne dei tubi devono essere lisce, pulite ed esenti da rigature, cavità e altri difetti superficiali che potrebbero influire sulla conformità del tubo alla presente norma.

Le estremità del tubo devono essere tagliate in modo netto e perpendicolarmente all'asse del tubo.

Colore

I tubi devono essere neri o neri con strisce di colore marrone, a meno che altri colori (o forme d'identificazione) non vengano specificati dai regolamenti nazionali.

Dove i regolamenti nazionali richiedono un colore alternativo al nero, i tubi di colore blu o neri con strisce blu non dovrebbero essere usati per questa applicazione. Il colore blu indica che i componenti sono adatti per il convogliamento di acqua destinata al consumo umano. Per installazioni sopra terra i tubi non neri dovrebbero essere protetti dalla luce UV diretta.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Misurazione delle dimensioni

Le dimensioni del tubo devono essere misurate in conformità alla EN ISO 3126. In caso di controversia le dimensioni dei tubi devono essere misurate non prima di 24 h dalla fabbricazione, dopo condizionamento per almeno 4 h a (23 ± 2) °C.

Diametri medi esterni e scostamento dalla circolarità (ovalizzazione)

Il diametro medio esterno, d_{em} , e lo scostamento dalla circolarità (ovalizzazione) del tubo devono essere conformi al prospetto 1.

prospetto 1 **Diametri esterni medi e scostamento dalla circolarità**
Dimensioni in mm

Dimensione nominale DN/OD	Diametro nominale esterno d_n	Diametro esterno medio ^{a)}		Massimo scostamento dalla circolarità (ovalizzazione) ^{b)}
		$d_{em,min}$	$d_{em,max}$	
32	32	32,0	32,3	1,3
40	40	40,0	40,4	1,4
50	50	50,0	50,4	1,4
63	63	63,0	63,4	1,5
75	75	75,0	75,5	1,6
90	90	90,0	90,6	1,8
110	110	110,0	110,7	2,2
125	125	125,0	125,8	2,5
140	140	140,0	140,9	2,8
160	160	160,0	161,0	3,2
180	180	180,0	181,1	3,6
200	200	200,0	201,2	4,0
225	225	225,0	226,4	4,5
250	250	250,0	251,5	5,0
280	280	280,0	281,7	9,8
315	315	315,0	316,9	11,1
355	355	355,0	357,2	12,5
400	400	400,0	402,4	14,0
450	450	450,0	452,7	15,6
500	500	500,0	503,0	17,5
560	560	560,0	563,4	19,6
630	630	630,0	633,8	22,1
710	710	710,0	716,4	-
800	800	800,0	807,2	-
900	900	900,0	908,1	-
1 000	1 000	1 000,0	1 009,0	-
1 200	1 200	1 200,0	1 210,8 ^{*)}	-
1 400	1 400	1 400,0	1 412,6 ^{*)}	-
1 600	1 600	1 600,0	1 614,4 ^{*)}	-

a) In conformità alla ISO 11922-1[2] grado B per dimensioni ≤ 630 e grado A per dimensioni ≥ 710 .
b) In conformità alla ISO 11922-1[2] grado N per dimensioni ≤ 630 ed è misurato nel luogo di produzione.
*) Tolleranza calcolata come $0,009 d_{em}$ e non conforme al grado A della ISO 11922-1[2].
Nota Per tubi in rotoli e lunghezze diritte con diametri ≥ 710 mm la massima ovalizzazione deve essere concordata tra il fabbricante e acquirente.

Nel nostro caso di diametro esterno di 500 mm, il massimo scostamento dalla circolarità, cioè l'ovalizzazione massima, è di 17,5 mm.

Spessori di parete e relative tolleranze

Lo spessore di parete deve essere in conformità al prospetto 2. Le relazioni tra PN, MRS, S e SDR sono fornite nel prospetto A.1.

prospetto 2 **Spessori di parete**
Dimensioni in mm

Dimensioni nominali DN/OD	Serie del tubo											
	SDR 6 S 2,5		SDR 7,4 S 3,2		SDR 9 S 4		SDR 11 S 5		SDR 13,6 S 6,3		SDR 17 S 8	
	Pressione nominale, PN ^{a)}											
PE 63	-		-		-		PN 10		PN 8		-	
PE 80	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10		PN 8	
PE 100	-		PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10	
Dimensioni nominali DN/OD	Spessore di parete ^{b)}											
	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}
32	5,4	6,1	4,4	5,0	3,6	4,1	3,0 ^{c)}	3,4	2,4	2,8	2,0 ^{c)}	2,3
40	6,7	7,5	5,5	6,2	4,5	5,1	3,7	4,2	3,0	3,5	2,4	2,8
50	8,3	9,3	6,9	7,7	5,6	6,3	4,6	5,2	3,7	4,2	3,0	3,4
63	10,5	11,7	8,6	9,6	7,1	8,0	5,8	6,5	4,7	5,3	3,8	4,3
75	12,5	13,9	10,3	11,5	8,4	9,4	6,8	7,6	5,6	6,3	4,5	5,1
90	15,0	16,7	12,3	13,7	10,1	11,3	8,2	9,2	6,7	7,5	5,4	6,1
110	18,3	20,3	15,1	16,8	12,3	13,7	10,0	11,1	8,1	9,1	6,6	7,4
125	20,8	23,0	17,1	19,0	14,0	15,6	11,4	12,7	9,2	10,3	7,4	8,3
140	23,3	25,8	19,2	21,3	15,7	17,4	12,7	14,1	10,3	11,5	8,3	9,3
160	26,6	29,4	21,9	24,2	17,9	19,8	14,6	16,2	11,8	13,1	9,5	10,6
180	29,9	33,0	24,6	27,2	20,1	22,3	16,4	18,2	13,3	14,8	10,7	11,9
200	33,2	36,7	27,4	30,3	22,4	24,3	18,2	20,2	14,7	16,3	11,9	13,2
225	37,4	41,3	30,8	34,0	25,2	27,9	20,5	22,7	16,6	18,4	13,4	14,9
250	41,5	45,8	34,2	37,8	27,9	30,8	22,7	25,1	18,4	20,4	14,8	16,4
280	46,6	51,3	38,3	42,3	31,3	34,6	25,4	28,1	20,6	22,8	16,6	18,4
315	52,3	57,7	43,1	47,6	35,2	38,9	28,6	31,6	23,2	25,7	18,7	20,7
355	59,0	65,0	48,5	53,5	39,7	43,8	32,2	35,6	26,1	28,9	21,1	23,4
400	-	-	54,7	60,3	44,7	49,3	36,3	40,1	29,4	32,5	23,7	26,2
450	-	-	61,5	67,8	50,3	55,5	40,9	45,1	33,1	36,6	26,7	29,5
500	-	-	-	-	55,8	61,5	45,4	50,1	36,8	40,6	29,7	32,8
560	-	-	-	-	-	-	50,8	56,0	41,2	45,5	33,2	36,7
630	-	-	-	-	-	-	57,2	63,1	46,3	51,1	37,4	41,3
710	-	-	-	-	-	-	-	-	52,2	57,6	42,1	46,5
800	-	-	-	-	-	-	-	-	58,8	64,8	47,4	52,3
900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53,3	58,8
1 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59,3	65,4
1 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- a) I valori di PN sono calcolati con $C=1,25$.
b) Tolleranze in conformità al grado V della ISO 11922-1[2].
c) Il valore calcolato di e_{min} (vedere ISO 4065[3]) è arrotondato al più vicino valore di 2,0 o 3,0. Questo per soddisfare certi requisiti nazionali.

Considerando il nostro tubo di diametro esterno 500 mm, vediamo che in corrispondenza di un SDR di 17 possiamo avere uno spessore che va da 29,7 mm a 32,8 mm.

Dimensioni in mm

Dimensioni Nominali DN/OD	Serie del tubo									
	SDR 17,6 S 8,3		SDR 21 S 10		SDR 26 S 12,5		SDR 33 S 16		SDR 41 S 20	
	Pressione nominale, PN ^{a)}									
PE 63	PN 6		PN 5		PN 4		PN 3,2		PN 2,5	
PE 80	-		PN 6 ^{c)}		PN 5		PN 4		PN 3,2	
PE 100	-		PN 8		PN 6 ^{c)}		PN 5		PN 4	
Dimensioni Nominali DN/OD	Spessore di parete ^{b)}									
	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}
32	2,0 ^{d)}	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
40	2,3	2,7	2,0 ^{d)}	2,3	-	-	-	-	-	-
50	2,9	3,3	2,4	2,8	2,0	2,3	-	-	-	-
63	3,6	4,1	3,0	3,4	2,5	2,9	-	-	-	-
75	4,3	4,9	3,6	4,1	2,9	3,3	-	-	-	-
90	5,1	5,8	4,3	4,9	3,5	4,0	-	-	-	-
110	6,3	7,1	5,3	6,0	4,2	4,8	-	-	-	-
125	7,1	8,0	6,0	6,7	4,8	5,4	-	-	-	-
140	8,0	9,0	6,7	7,5	5,4	6,1	-	-	-	-
160	9,1	10,2	7,7	8,6	6,2	7,0	-	-	-	-
180	10,2	11,4	8,6	9,6	6,9	7,7	-	-	-	-
200	11,4	12,7	9,6	10,7	7,7	8,6	-	-	-	-
225	12,8	14,2	10,8	12,0	8,6	9,6	-	-	-	-
250	14,2	15,8	11,9	13,2	9,6	10,7	-	-	-	-
280	15,9	17,6	13,4	14,9	10,7	11,9	-	-	-	-
315	17,9	19,8	15,0	16,6	12,1	13,5	9,7	10,8	7,7	8,6
355	20,1	22,3	16,9	18,7	13,6	15,1	10,9	12,1	8,7	9,7
400	22,7	25,1	19,1	21,2	15,3	17,0	12,3	13,7	9,8	10,9
450	25,5	28,2	21,5	23,8	17,2	19,1	13,8	15,3	11,0	12,2
500	28,3	31,3	23,9	26,4	19,1	21,2	15,3	17,0	12,3	13,7
560	31,7	35,0	26,7	29,5	21,4	23,7	17,2	19,1	13,7	15,2
630	35,7	39,4	30,0	33,1	24,1	26,7	19,3	21,4	15,4	17,1
710	40,2	44,4	33,9	37,4	27,2	30,1	21,8	24,1	17,4	19,3
800	45,3	50,0	38,1	42,1	30,6	33,8	24,5	27,1	19,6	21,7
900	51,0	56,2	42,9	47,3	34,4	38,3	27,6	30,5	22,0	24,3
1 000	56,6	62,4	47,7	52,6	38,2	42,2	30,6	33,8	24,5	27,1
1 200	-	-	57,2	63,1	45,9	50,6	36,7	40,5	29,4	32,5
1 400	-	-	-	-	53,5	59,0	42,9	47,3	34,3	37,9
1 600	-	-	-	-	61,2	67,5	49,0	54,0	39,2	43,3

a) I valori di PN sono calcolati con $C = 1,25$.
b) Tolleranze in conformità al grado V della ISO 11922-1[2].
c) I valori reali calcolati sono PE100 6,4 bar e PE80 6,3 bar.
d) Il valore calcolato di e_{min} (vedere ISO 4065[3]) è arrotondato al più vicino valore di 2,0 o 3,0. Questo per soddisfare certi requisiti nazionali.

Tubi in rotoli

Il tubo deve essere arrotolato in modo che siano impediti deformazioni localizzate, come per esempio instabilità locali e deformazioni.

Il diametro interno minimo del rotolo non deve essere minore di $18d_n$.

Lunghezze dei tubi

Non sono stati fissati requisiti particolari per le lunghezze dei rotoli e dei tubi diritti o per le tolleranze; perciò è necessario che le lunghezze dei tubi siano concordate tra acquirente e fornitore.

Rigidità dei tubi

I tubi destinati ad essere usati nei sistemi di fognatura in depressione devono avere una rigidità circonferenziale iniziale $S_{calc} \geq 4$. Vedere appendice B.

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Condizionamento

Se non diversamente specificato dal metodo di prova applicabile, i provini devono essere condizionati a (23 ± 2) °C prima delle prove, in conformità al prospetto 3.

Requisiti

Quando sottoposto a prova in conformità ai metodi di prova specificati nel prospetto 3, usando i parametri indicati, il tubo deve avere caratteristiche meccaniche conformi ai requisiti forniti nel prospetto 3.

prospetto 3 **Caratteristiche meccaniche**

Caratteristiche	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
		Parametri	Valore	
Resistenza alla pressione idrostatica a 20 °C	Nessun cedimento durante le prove di tutti i provini	Tappi di estremità Periodo di condizionamento Numero di provini ^{b)} Tipo di prova Temperatura di prova Periodo di prova Sforzo circonferenziale per: - PE 63 - PE 80 - PE 100	Tipo a) ^{a)} Deve essere conforme alla EN 921:1994 3 acqua in acqua 20 °C 100 h 8,0 MPa 10,0 MPa 12,4 MPa	EN 921:1994
Resistenza alla pressione idrostatica a 80 °C	Nessun cedimento durante la prova di tutti i provini	Tappi di estremità Periodo di condizionamento Numero di provini ^{b)} Tipo di prova Temperatura di prova Periodo di prova Sforzo circonferenziale per: - PE 63 - PE 80 - PE 100	Tipo a) ^{a)} Deve essere conforme alla EN 921:1994 3 acqua in acqua 80 °C 165 h ^{c)} 3,5 MPa 4,5 MPa 5,4 MPa	EN 921:1994

prospetto 3 **Caratteristiche meccaniche (Continua)**

Caratteristiche	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
		Parametri	Valore	
Resistenza alla pressione idrostatica a 80 °C	Nessun cedimento durante la prova di tutti i provini	Tappi di estremità Periodo di condizionamento Numero di provini ^{b)} Tipo di prova Temperatura di prova Periodo di prova Sforzo circonferenziale per: - PE 63 - PE 80 - PE 100	Tipo a) ^{a)} Deve essere conforme alla EN 921:1994 3 acqua in acqua 80 °C 1 000 h 3,2 MPa 4,0 MPa 5,0 MPa	EN 921:1994
<p>a) I tappi di estremità tipo b) possono essere impiegati per le prove di rilascio del lotto per diametri ≥ 500 mm.</p> <p>b) Il numero dei provini fornito indica la quantità necessaria per stabilire un valore per la caratteristica descritta nel prospetto. Il numero di provini necessari per il controllo di produzione in fabbrica e per il controllo del processo dovrebbero essere elencati nel piano di qualità del fabbricante. (Per una guida vedere prCEN/TS 13244-7[4]).</p> <p>c) Rotture duttili premature non sono tenute in conto. Per il procedimento di riprova vedere 7.3.</p>				

Riprova in caso di rottura a 80°C

Una frattura di tipo fragile in meno di 165 h deve essere considerata un mancato superamento della prova; tuttavia, se un provino entro le 165 h si rompe in modo duttile, deve essere eseguita

una riprova ad uno sforzo minore prescelto, in modo da ottenere il tempo minimo richiesto per lo sforzo scelto, ottenuto per interpolazione lineare tra i punti raccomandati di sforzo/tempo, forniti nel prospetto 4.

prospetto 4

Parametri di prova per la riprova della resistenza idrostatica a 80 °C

PE 63		PE 80		PE 100	
Sforzo MPa	Periodo di prova h	Sforzo MPa	Periodo di prova h	Sforzo MPa	Periodo di prova h
3,5	165	4,5	165	5,4	165
3,4	295				
3,3	538	4,4	233	5,3	256
3,2	1 000	4,3	331	5,2	399
		4,2	474	5,1	629
		4,1	685	5,0	1 000
		4,0	1 000		

CARATTERISTICHE FISICHE

Condizionamento

Se non diversamente specificato dal metodo di prova applicabile, i provini devono essere condizionati a (23 ± 2) °C prima della prova in conformità al prospetto 5.

Requisiti

Quando sottoposto a prova, in conformità ai metodi di prova specificati nel prospetto 5, usando i parametri indicati, il tubo deve avere caratteristiche fisiche conformi ai requisiti forniti nel prospetto 5.

Caratteristiche	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
Allungamento alla rottura per $e \leq 5$ mm	$\geq 350\%$	Forma del provino Velocità di prova Numero di provini ^{a)}	Tipo 2 100 mm/min Deve essere conforme alla ISO 6259-1:2001	EN ISO 6259-1:2001 e ISO 6259-3:1997
Allungamento alla rottura per $5 \text{ mm} < e \leq 12$ mm	$\geq 350\%$	Forma del provino Velocità di prova Numero di provini ^{a)}	Tipo 1 ^{b)} 50 mm/min Deve essere conforme alla ISO 6259-1:2001	EN ISO 6259-1:2001 e ISO 6259-3:1997
Allungamento alla rottura per $e > 12$ mm	$\geq 350\%$	Forma del provino Velocità di prova Numero di provini ^{a)}	Tipo 1 ^{b)} 25 mm/min Deve essere conforme alla ISO 6259-1:2001	EN ISO 6259-1:2001 e ISO 6259-3:1997
		oppure		
		Forma del provino Velocità di prova Numero di provini ^{a)}	Tipo 3 ^{b)} 10 mm/min Deve essere conforme alla ISO 6259-1:2001	
Indice di fluidità in massa MFR per PE 63, PE 80 e PE 100	Variazione del MFR a seguito della lavorazione minore del 20% ^{c)}	Carico Temperatura di prova Tempo Numero di provini ^{a)}	5 kg 190 °C 10 min Deve essere conforme alla EN ISO 1133:1999	EN ISO 1133:1999 condizione T
Tempo di induzione all'ossidazione	≥ 20 min	Temperatura di prova Numero di provini ^{a) e)}	200 °C ^{d)} 3	EN 728
<p>a) Il numero di provini fornito indica la quantità necessaria per stabilire un valore per la caratteristica descritta nel prospetto. Il numero di provini necessari per il controllo di produzione in fabbrica e processo di controllo dovrebbero essere descritti nel piano di qualità del fabbricante (per una guida vedere prCEN/TS 13244-7[4]).</p> <p>b) Dove praticabile, provini tipo 2 di macchina possono essere usati per tubi con spessori di parete ≤ 25 mm. La prova può essere interrotta quando il requisito è raggiunto senza continuare fino alla rottura del provino.</p> <p>c) Valore misurato sul tubo in confronto al valore misurato sulla composizione.</p> <p>d) La prova può essere condotta come una prova indiretta a 210 °C purché ci sia una chiara correlazione dei risultati a quelli a 200 °C, in caso di controversia la temperatura di riferimento deve essere 200 °C.</p> <p>e) I campioni devono essere presi dalla parte interna della parete del tubo.</p>				

APPENDICE A (informativa): RELAZIONI TRA PN, MRS, S E SDR

Relazioni tra la pressione nominale PN, lo sforzo di progetto σ_s e le serie S/SDR sono fornite dalle seguenti formule:

$$[PN] = \frac{10\sigma_s}{[S]} \quad \text{oppure} \quad [PN] = \frac{20\sigma_s}{[SDR] - 1}$$

Esempi delle relazioni tra PN, MRS, S ed SDR sono basati sulla formula:

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

Essi sono forniti nel prospetto A.1, dove $C = 1,25$ ed è applicabile all'acqua a 20°C.

Esempi della relazione tra PN, MRS, S ed SDR a 20 °C con il valore di $C=1,25$

SDR	S	Pressione nominale PN, in bar, per la classe di materiale		
		PE 63	PE 80	PE 100
41	20	2,5	3,2	4
33	16	3,2	4	5
26	12,5	4	5	6 ^{a)}
21	10	5	6 ^{a)}	8
17,6	8,3	6	-	-
17	8	-	8	10
13,6	6,3	8	10	12,5
11	5	10	12,5	16
9	4	-	16	20
7,4	3,2	-	20	25
6	2,5	-	25	-

a) I valori reali sono calcolati per il PE 100: 6,4 bar e per PE 80: 6,3 bar.
 Nota Le pressioni nominali "PN" nel prospetto sono basate su un coefficiente totale di progetto $C=1,25$. Se è richiesto un valore maggiore di "C" i valori di PN, necessitano di essere ricalcolati in base allo sforzo di progetto σ_s impiegato per ciascuna classe di materiale. Un valore maggiore di "C" può anche essere ottenuto scegliendo una classe più alta di PN.

Osserviamo che, avendo fatto l'ipotesi di un C di 1,25, abbiamo ottenuto gli stessi valori forniti dalla precedente tabella per un tubo in PE 100.

Applicando le formule suddette, otteniamo i seguenti valori:

$$\sigma_s = 8 \text{ bar} \quad \text{e} \quad MRS = 10 \text{ bar.}$$

APPENDICE B (normativa): *RIGIDITÀ DEL TUBO*

Quando si applica un calcolo della deflessione iniziale del tubo per i tubi in pressione e sistemi di fognatura a vuoto, la rigidità iniziale deve essere presa dal prospetto B.1.

Rigidità circonferenziale iniziale del tubo

SDR	Serie dei tubo S	Modulo elastico E (MPa)			
		600	800	1 000	1 200
		Rigidità circonferenziale iniziale (S_{calc}) (kN/m ²)			
41	20	0,75	1,0	1,3	1,6
33	16	1,5	2,0	2,5	3,1
26	12,5	3,2	4,3	5,3	6,4
21	10	6,2	8,3	10,4	12,5
17	8	12,2	16,3	20,3	24,4
13,6	6,3	25,0	33,3	41,7	50,0
11	5	66,5	88,7	83,3	100,0
9	4	97,7	130,2	162,8	195,3
7,4	3,2	190,7	254,3	317,9	381,5
6	2,5	400,0	533,3	668,7	800,0

La rigidità circonferenziale iniziale S_{calc} nel prospetto B.1 è calcolata usando la seguente formula:

$$S_{calc} = \frac{E \times I}{(d_n - e_n)^3} = \frac{E}{96[S]^3}$$

dove:

S_{calc} è la rigidità circonferenziale iniziale, calcolata in kilonewton al metro quadrato (kN/m²);

E è il momento di elasticità a flessione (MPa);

I è il momento d'inerzia, in millimetri cubici, espresso dalla seguente formula:

$$\frac{1 \times e_n^3}{12};$$

d_n è il diametro esterno nominale, in millimetri;

e_n è lo spessore nominale della parete, in millimetri;

S è la serie del tubo.

Nel nostro caso, avendo un tubo con $SDR = 17$, $S = 8$ e avendo assunto un modulo elastico $E = 1100$ MPa, possiamo considerare una rigidità circonferenziale calcolata con la precedente formula:

$$S_{calc} = 1100 \text{ MPa} / (96 * 8^3) = 22,38 \text{ kN/m}^2.$$

Quando i tubi con una rigidità circonferenziale iniziale $S_{calc} < 4$ kN/m² sono installati sotto il suolo, si dovrebbe aver cura di evitare una ovalizzazione eccessiva.

Tubi di polietilene a bassa densità - Dimensioni, requisiti e metodi di prova

(UNI 7990)

La presente norma definisce le caratteristiche ed i metodi di prova dei tubi di polietilene a bassa densità da impiegarsi per trasporto di fluidi in pressione.

Questi tubi non sono idonei all'impiego negli acquedotti (rete e derivazioni d'utenza), nelle reti antincendio, per usi industriali e comunque in tutti gli impianti per i quali è prevista una condizione di esercizio costantemente in pressione.

DEFINIZIONI

Diametro esterno nominale (d_n): il diametro esterno specificato, in millimetri, relativo ad un diametro nominale DN/OD.

Dimensione nominale DN/OD: dimensione nominale, relativa al diametro esterno.

Diametro esterno in un punto qualunque (d_n): il valore della misura del diametro esterno in una sua sezione trasversale in qualsiasi punto del tubo, arrotondato allo 0,1 mm superiore.

Diametro esterno medio (d_{em}): il valore della misura della circonferenza esterna di un tubo o codolo di un raccordo in una sezione retta qualsiasi, diviso per π (= 3,142), arrotondato allo 0,1 mm superiore più prossimo.

Diametro esterno medio minimo ($d_{em,min}$): il valore minimo del diametro esterno medio specificato per un dato diametro nominale.

Diametro esterno medio massimo ($d_{em,max}$): il valore massimo del diametro esterno specificato per un dato diametro nominale.

Spessore di parete in un punto qualsiasi (e): il valore della misura dello spessore di parete in un punto qualsiasi lungo la circonferenza del tubo.

MATERIALI

I tubi sono ottenuti aggiungendo a polimeri a base di polietilene bassa densità nerofumo (carbon black) ed altri additivi necessari alla lavorazione e all'uso finale.

Il nerofumo usato deve avere una dimensione media (primaria) delle particelle da 10 nm a 25 nm.

Le caratteristiche delle materie prime e le condizioni di lavorazione devono essere tali da ottenere tubi con requisiti conformi a quelli indicati nei prospetti 2 e 3.

CARATTERISTICHE GENERALI

Aspetto

Se osservate senza ingrandimento, le superfici interne ed esterne dei tubi devono essere lisce, pulite ed esenti da rigature, cavità e altri difetti superficiali che possono influire sulle prestazioni del tubo. Le estremità del tubo devono essere tagliate in modo netto e perpendicolarmente all'asse del tubo.

Colore

I tubi devono essere esclusivamente di colore nero uniforme.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEI TUBI

Le dimensioni dei tubi devono essere misurate in accordo con la norma EN ISO 3126.

Nel caso di contrasto le dimensioni dei tubi devono essere misurate non prima di 24 h dopo la fabbricazione, dopo condizionamento per almeno 4 h a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Diametri, spessori e relative tolleranze dei tubi sono riportati nel prospetto 1.

prospetto 1 **Diametri, spessori e relative tolleranze**

Diametro Esterno nominale d_n	Diametro esterno medio		Spessore di parete e		
	$d_{em,min}$	$d_{em,max}$	PN 4	PN 6	PN 10
16	16	16,3	$1,4^{+0,4}_0$	$1,6^{+0,4}_0$	$2,2^{+0,5}_0$
20	20	20,3	$1,6^{+0,4}_0$	$1,7^{+0,4}_0$	$2,7^{+0,5}_0$
25	25	25,3	$1,7^{+0,4}_0$	$2,2^{+0,5}_0$	$3,4^{+0,6}_0$
32	32	32,3	$1,9^{+0,4}_0$	$2,8^{+0,5}_0$	$4,4^{+0,7}_0$
40	40	40,4	$2,4^{+0,5}_0$	$3,5^{+0,6}_0$	$5,4^{+0,8}_0$
50	50	50,5	$3,0^{+0,5}_0$	$4,3^{+0,7}_0$	$6,8^{+0,9}_0$
63	63	63,6	$3,7^{+0,6}_0$	$5,4^{+0,8}_0$	$8,6^{+1,1}_0$
75	75	75,7	$4,5^{+0,7}_0$	$6,5^{+0,9}_0$	$10,2^{+1,3}_0$
90	90	90,9	$5,3^{+0,8}_0$	$7,8^{+1,0}_0$	$12,2^{+1,5}_0$
110	110	111,0	$6,5^{+0,9}_0$	$9,5^{+1,2}_0$	$14,9^{+1,7}_0$

Tolleranze

La differenza fra un diametro esterno qualunque e il diametro esterno medio corrispondente non deve superare le seguenti quantità con arrotondamento a 0,1 mm per eccesso:

$$\pm 0,06 d_{em} \text{ per } d_n \leq 63^a)$$

$$\pm 0,10 d_{em} \text{ per } d_n > 63^a)$$

- a) Agli effetti di eventuale saldatura testa a testa, la differenza fra i due diametri non deve superare $\pm 0,025 d_{em}$ (con arrotondamento a 0,1 mm per eccesso) dopo aver riscaldato la zona del tubo da saldare fra 50 °C e 100 °C.

Tubi in rotoli

Il tubo deve essere arrotolato in modo che siano impediti deformazioni localizzate come per esempio instabilità locali e/o deformazioni.

Lunghezze

Non sono stati fissati requisiti particolari per le lunghezze dei rotoli e dei tubi dritti o per le tolleranze; perciò è necessario che le lunghezze dei tubi siano concordate tra acquirente e fornitore.

CARATTERISTICHE FISICHE DEI TUBI

Condizionamento

Se non diversamente specificato dai metodi di prova applicabili, i provini devono essere condizionati a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ prima delle prove.

Requisiti

Quando sottoposti a prova in conformità ai metodi ed ai parametri indicati nel prospetto 2, i tubi devono avere caratteristiche tali da soddisfare i requisiti indicati.

prospetto 2 **Caratteristiche fisiche dei tubi**

Caratteristiche	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
Massa volumica	$\geq 920 \text{ kg m}^{-3}$ $\leq 945 \text{ kg m}^{-3}$			ISO 1183
Allungamento a rottura per $E \leq 5 \text{ mm}$	$\geq 350\%$	Forma del provino	Tipo 2	EN ISO 6259-1:1997 ed ISO 6259-3:1997
Allungamento a rottura per $E > 5 \text{ mm}$		Velocità di prova	100 mm/min	
		Forma del provino	Tipo 1	
		Velocità di prova	50 mm/min	
Indice di fluidità in massa MFR	$\leq 0,8$ $\geq 0,2$	Carico	2,16 kg	UNI EN ISO 1133:2001 condizione D
		Temperatura di prova	190 °C	
		Tempo	10 min	
		Numero di provini	3	
Tempo di induzione all'ossidazione	$\geq 20 \text{ min}$	Temperatura di prova	200 °C ²⁾	UNI EN 728
		Numero di provini ¹⁾	3	
Contenuto di nero fumo (carbon black)	$\geq 2 \leq 2,5\%$ in massa			UNI 9556:1990
Dispersione del nerofumo	≤ 3			ISO 18553
Ripartizione del nerofumo	$\leq C2$			ISO 18553
1) I campioni devono essere presi dalla parte interna della superficie del tubo.				
2) La prova può essere condotta come una prova indiretta a 210 °C purché ci sia una chiara correlazione dei risultati a quelli a 200 °C: nel caso di contrasto la temperatura di riferimento deve essere 200 °C.				

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA ALLA PRESSIONE INTERNA

Condizionamento

Se non diversamente specificato dai metodi di prova applicabili, i provini devono essere condizionati a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ prima delle prove.

Requisiti

Quando sottoposti a prova in conformità ai metodi ed ai parametri indicati nel prospetto 2, i tubi devono avere caratteristiche tali da soddisfare i requisiti indicati nel prospetto 3.

prospetto 3 Caratteristiche di resistenza alla pressione interna

Caratteristica	Requisiti	Parametri di prova		Metodo di prova
		Parametri	Valore	
Resistenza alla pressione idrostatica a 80 °C	Nessun cedimento durante la prova di tutti i provini	Tappi di estremità	Tipo a)	UNI EN 921
		Periodo di condizionamento	≥ 1 h	
		Numero di provini	3	
		Tipo di prova	acqua in acqua	
		Temperatura di prova	80 °C	
		Periodo di prova	165 h	
		Sforzo circonferenziale (hoop stress)	2 MPa	
Resistenza alla pressione idrostatica a 80 °C	Nessun cedimento durante la prova di tutti i provini	Tappi di estremità	Tipo a)	UNI EN 921
		Periodo di condizionamento	≥ 1 h	
		Numero di provini	3	
		Tipo di prova	acqua in acqua	
		Temperatura di prova	80 °C	
		Periodo di prova	1 000 h	
		Sforzo circonferenziale (hoop stress)	1,5 MPa	

RESISTENZA ALLA FESSURAZIONE SOTTO SFORZO (ESCR)

Per i tubi di diametro esterno da 16 mm a 32 mm deve essere determinata la resistenza alla fessurazione sotto sforzo secondo la UNI 10207 e i campioni non devono manifestare rotture. Questi tubi possono infatti essere impiegati negli impianti aerei di irrigazione, dove l'inserzione di gocciolatori sui tubi può dar origine a concentrazioni di sforzo localizzate, che, in

combinazione con l'effetto dell'ambiente esterno e dei fluidi trasportati dal tubo, possono provocare fessurazioni tali da compromettere la funzionalità dell'impianto.

Capitolo XI

NORMATIVA TECNICA SU TUBAZIONI E GIUNZIONI IN MATERIALI PLASTICI E

CALCOLO DELLE LORO CARATTERISTICHE TECNICHE

Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Metodi di prova. Ispezione visiva.

(UNI 9033-3)

La presente norma stabilisce le modalità per l'ispezione visiva dei tubi di PRFV e definisce i tipi di difetti e la loro nomenclatura.

Stabilisce inoltre i criteri di accettabilità dei tubi in relazione ai tipi e al numero dei difetti riscontrati.

Ispezione visiva

L'ispezione visiva deve essere eseguita su tutti i tubi. Procedimenti diversi possono essere concordati tra committente e fornitore.

Tutti i tubi che vengono controllati visivamente devono essere esaminati senza l'aiuto di strumenti di ingrandimento e/o di particolari sistemi di illuminazione o di rilevazione. Per

quanto riguarda l'interno dei tubi, viene esaminata la parte visibile e/o raggiungibile senza tagli al tubo stesso per verificare la presenza di eventuali difetti.

Criteri di accettazione

Il rifiuto o l'accettazione del manufatto dipende dalla quantità di difetti ammissibili presenti nell'area di riferimento che, sviluppata in piano, è individuata come un cerchio con diametro di 75 mm.

La presenza di più di due difetti di natura differente nell'area di riferimento è causa di scarto del manufatto, qualora i difetti in questione non siano stati eliminati con una opportuna riparazione. Le aree interessate da difetti devono essere tra di loro intervallate di almeno 40 mm.

Difetti visivi ammissibili

I difetti che per loro natura, contenuto e frequenza non influiscono sull'utilizzazione dei tubi sono classificati come "difetti ammissibili".

Difetti riparabili

I difetti sono classificati riparabili se la riparazione non pregiudica l'utilizzazione del tubo. I metodi di riparazione accettati devono essere concordati tra le parti (o essere oggetto di appositi capitoli).

Inserti

Tutti gli inserti (se presenti), dadi, perni sporgenti ed alette non devono essere danneggiati in alcun modo né presentare residui di resina e/o materiale di rinforzo tali da pregiudicare il funzionamento ed il loro montaggio meccanico.

Filettature stampate o fori

Tutte le filettature o i fori devono essere puliti e privi di difetti visibili (come scheggiature, incrinature, ecc.).

Le filettature stampate possono essere rifelettate o riparate, se non diversamente specificato negli accordi tra le parti.

Descrizione e classificazione dei difetti

Nel prospetto seguente sono indicati:

- la classificazione dei difetti, con le relative definizioni;
- le dimensioni e il numero massimo dei difetti ammissibili nell'area di riferimento.

Difetti e limiti di accettazione

N° d'ordine	Tipo del difetto	Definizione	Massima dimensione - Quantità accettabile nell'area di riferimento
1	Scheggiatura della superficie	Piccolo pezzo mancante	Nessuna
2	Scheggiatura sui bordi	Piccolo pezzo mancante su un bordo	5 mm 1
3	Fessura passante	Frattura dello stratificato in senso normale alla laminazione visibile in trasparenza ed estesa a tutto lo spessore	Nessuna
4	Incrinatura superficiale interna	Fessura sulla superficie interna del manufatto	Nessuna
5	Incrinatura superficiale esterna	Fessura sulla superficie esterna del manufatto interessante solo lo strato esterno protettivo, se esiste	20 mm 1
6	Delaminazione sui bordi	Separazione degli strati del materiale del laminato sul bordo	5 mm 1
7	Delaminazione interna	Separazione di strati continui del laminato	Nessuna

8	Punto asciutto	Aree in cui il rinforzo non è impregnato di resina	Nessuna
9	Fibre affioranti	Fibre di vetro affioranti sulla superficie	Nessuna
10	Brucciatura	Zona con segni di decomposizione termica sotto forma di variazione di colore, distorsione e distruzione della superficie del laminato	Nessuna
11	Buccia di arancia	Superficie interna irregolare somigliante a buccia di arancia con rugosità non maggiore di 0,2 mm	Ammissa senza restrizione purché ne sia chiarita l'origine e non sia compromessa l'efficienza del tubo
12	Sacca di resina	Zona eccessivamente ricca di resina in una piccola area localizzata all'interno dello stratificato	5 mm 1
13	Vermicolatura	Imprigionamenti allungati di aria che si trovano nello spessore dello stratificato	3 mm di larghezza 2
14	Piega	Imperfezione nello spessore dello stratificato simile ad un'onda stampata in uno o più strati di tessuto o altro materiale di rinforzo	Ammissa senza restrizione
15	Graffio	Graffio per azione meccanica	Sulla superficie interna: non ammesso. Sulla superficie esterna: per profondità massima interna dello spessore dello strato esterno protettivo, se esiste: nessuna limitazione
16	Bolle d'aria (vuoti) o intrusioni di sostanze estranee	Imprigionamento all'interno dello stratificato di aria o materiali estranei o mancanza di materiali	Strato interno: non maggiore di 1 mm e comunque non maggiore di 0,5 volte lo spessore dello strato: 5 al cm ² . Per gli altri strati: 5 mm e 10 nell'area di riferimento
17	Crateri o butteratura	Piccoli pori sulla superficie interna del tubo	Per profondità maggiore del 30% dello spessore dello stratificato (liner): nessuno. Per profondità minore del 30% dello spessore del liner: 5 al cm ²
18	Irregolarità della superficie interna	Ondulazioni, grinze, solchi con superficie liscia ed arrotondata dovuti a irregolarità del mandrino o altre cause	Profondità 0,5 max. volte lo spessore dello strato interno
19	Irregolarità della superficie	Sporgenze dovute a fibre impregnate, accumuli di resina o altre cause con bordi taglienti, pericolosi per il maneggio dei tubi ma senza influenza sulle loro caratteristiche	Nessuna. Se presenti eliminarle con molatura e successiva spalmatura di resina sulla superficie abrasa

Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Metodi di prova. Controllo delle dimensioni. (UNI 9033-4)

La presente norma stabilisce i criteri per la verifica delle dimensioni dei tubi di PRFV e relative tolleranze.

I metodi di misura sono quelli di seguito indicati.

Diametro

Per diametro si intende la misura del diametro interno e/o esterno che viene ricavata come media di 4 misure di diametro effettuate a 45° circa tra di loro, con tubo posato su un piano orizzontale e in posizione fissa durante l'esecuzione dei rilievi. Essendo d_1 , d_2 , d_3 , d_4 i valori rilevati, la misura del diametro è data da:

$$D = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4}{4}$$

Lo strumento usato per i rilievi deve avere precisione pari ad almeno 1/4 della tolleranza prescritta.

Spessore

Lo spessore deve essere determinato in maniera diversa secondo che si tratti di tubi monoparete o a doppia parete.

Tubi monoparete

Lo spessore di un tubo o di parte di esso è il valore minimo di 10 misure eseguite in 10 punti diversi distribuiti uniformemente sulla circonferenza, fuori dalle zone a spessore ridotto per esigenze di montaggio o per altre necessità.

Gli spessori devono essere misurati con qualsiasi strumento capace delle seguenti precisioni ed avente punta sferica con raggio di 6 mm:

- per spessori fino a 10 mm inclusi: $\pm 0,2$ mm
- per spessori maggiori di 10 mm: $\pm 0,5$ mm

Tubi a doppia parete

Il controllo dei tubi a doppia parete, se determinato mediante misura effettiva dei vari spessori, comporta la distruzione della struttura.

Poiché ciò non è sopportabile economicamente, la determinazione dello spessore di tali tubi è effettuata con il procedimento indicato sotto.

Si praticano sulla parete esterna due fori da 12,5 mm a 45° con mola a tazza; si prelevano i dischetti tagliati e su questi si esegue la misura dello spessore, mediante opportuni calibri, su 4 punti a 90° tra di loro; lo spessore del tubo esterno s_c è il minimo delle 8 misure effettuate.

Si misurano le distanze d_e tra le facce esterne della parete esterna e le facce esterne della parete interna e se ne osserva la massima.

Si calcola lo spessore totale del tubo:

$$s = \frac{D_e - D_i}{2}$$

(in base ai diametri esterno ed interno del tubo) in corrispondenza di d_e massimo.

Si ricava lo spessore s_i della parete interna mediante la relazione:

$$s_i = \frac{(D_e - D_i)}{2} - d_e$$

Lunghezze

Il valore della lunghezza è ottenuto come media di 3 misure effettuate lungo 3 generatrici a 120° circa con tubo appoggiato su un piano orizzontale in posizione fissa durante l'esecuzione delle misure.

Lo strumento usato deve avere suddivisione di lettura di 1 mm e precisione pari almeno a 1/1000 della misura da effettuare. Essendo l_1 , l_2 e l_3 le misure effettuate, la lunghezza del tubo sarà pari a:

$$l = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{3}$$

Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Metodi di prova. Determinazione della resistenza all'urto mediante caduta di un corpo percussore.

(UNI 9033-9)

La presente norma stabilisce un metodo per determinare la resistenza all'urto dei tubi in PRFV. Il valore della resistenza all'urto dipende, a parità degli altri parametri, dallo spessore e dal diametro dei tubi; poiché tale dipendenza non è lineare con lo spessore e con il diametro, questi devono sempre essere precisati.

Principio

Una massa determinata, munita di un percussore cilindrico a testa emisferica, viene lasciata cadere verticalmente sulla provetta da un'altezza variabile; si verifica la formazione di fessure o screpolature visivamente e/o per trasudamento di acqua sotto pressione.

Provette

Le provette vengono ricavate mediante taglio da uno spezzone di tubo della lunghezza di:

$2 D + 200 \text{ mm}$	per	$D < 500 \text{ mm}$
$2 D$	per	$500 \text{ mm} \leq D_1 < 800 \text{ mm}$
$1 D + 500 \text{ mm}$	per	$D_1 \geq 800 \text{ mm}$

Nel nostro caso di tubo con diametro esterno di 500 mm, prenderemo uno spezzone di 1000 mm. Il numero di provette per tubi aventi $D \leq 300 \text{ mm}$ è 5; per tubi di D maggiore il numero di provette è minore e su ogni provetta vengono effettuate più battute in punti diversi, come indicato nel prospetto nel seguente paragrafo sul procedimento.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura è costituita essenzialmente da un percussore che cade verticalmente fra tre guide, con minima resistenza d'attrito, da altezza variabile.

Il percussore è di acciaio ed ha la parte inferiore di forma emisferica con raggio 50 mm.

La massa complessiva del percussore è 250 g per ogni millimetro di spessore della parete resistente del tubo (strato meccanico resistente escluso liner). Nel nostro caso, avendo un tubo

con spessore e di 29,4 mm (ricavato dalla formula $e = d_e/SDR$), avremo un percussore di massa $m_p = 250 \text{ g/mm} * 29,4 \text{ mm} = 7,35 \text{ kg}$.

La base di appoggio della provetta è costituita da un blocco rigido a V con angolo di 120° lungo almeno quanto la provetta e sistemato in modo tale che il percussore colpisca la provetta sulla sua generatrice superiore e nel punto di mezzo della lunghezza della provetta.

L'apparecchiatura deve essere dotata di un dispositivo di bloccaggio che eviti la ricaduta del corpo percussore sulla provetta dopo il primo urto.

Procedimento

Per verificare che un tubo soddisfi i requisiti di resistenza all'urto, si procede come segue.

Prima della prova occorre esaminare visivamente le provette per accertarsi che non vi siano incrinature o altri difetti che possano falsare il risultato.

Si deve poi sollevare il percussore e bloccarlo alla distanza dalla provetta prevista nella specificazione relativa al tubo in esame o concordata tra committente e fornitore.

Si sistema la provetta nel telaio in modo che la zona che deve ricevere l'urto corrisponda alla generatrice superiore e si trovi a metà lunghezza circa della provetta stessa.

Si lascia quindi cadere il percussore, avendo cura che a causa del rimbalzo esso non ricada sulla provetta. Per i tubi aventi $D > 300 \text{ mm}$ (come nel nostro caso) si eseguono più battute successive, in base al prospetto seguente:

D mm	N° provette	N° battute per provette
oltre 300 fino a 600	4	2 a 180°C
oltre 600 fino a 1 000	3	3 a 120°C
oltre 1 000	2	4 a 90°C

Osserviamo che, nel nostro caso, avendo un diametro di 500 mm, avremo bisogno di 4 provette, con due battute per provetta, a 180°C .

Si esamina visivamente la provetta dopo l'urto e quindi, se non vi sono evidenti fessure passanti o chiare fessurazioni del liner, si sottopone la provetta per 24 h ad una pressione idraulica interna pari a 1,5 PN.

La prova si ritiene superata se dopo il periodo di prova non si verificano perdite o trasudamenti nella zona interessata dall'urto. Nel caso in cui il tubo sia stato protetto con strati esterni opachi che impediscano il controllo visivo, prima di sottoporre la provetta alla prova di pressione occorre asportare tali strati dalla zona interessata dall'urto.

Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Metodi di prova. Determinazione della resistenza al taglio della parete del tubo.

(UNI 9033-10)

La presente norma descrive un metodo per la determinazione della resistenza al taglio mediante punzonatura di provette ricavate dallo stratificato costituente la parete dei tubi di PRFV.

Definizione

La resistenza al taglio è il massimo carico richiesto per tranciare una provetta, riferito alla superficie dei bordi tranciati, e può essere misurata in direzione normale o parallela alla stratificazione; viene espressa in megapascal.

Provette

Devono essere sottoposte alla prova almeno 5 provette per ognuna delle condizioni di sollecitazione.

Sollecitazione normale alla stratificazione

Le provette devono essere dei quadrati di lato 50 mm o dischi di diametro 50 mm ricavati dal tubo in prova.

Al centro delle provette viene ricavato un foro di diametro 10,5 mm che serve a bloccare la provetta sul punzone.

Sollecitazione parallela alla stratificazione

Le provette devono avere un'altezza di $6,5 \pm 0,25$ mm (parallelismo di 0,03 mm) ricavata secondo l'asse del tubo e una lunghezza di 32 mm ricavata secondo la circonferenza. La larghezza è quella dello spessore della parete del tubo in prova.

Apparecchiatura

Macchina di prova

Può essere usato qualsiasi tipo di macchina di prova (dinamometro) con traversa a movimento costante. La macchina di prova deve essere equipaggiata in modo da poter ottenere una velocità uniforme e controllata della traversa rispetto alla base.

Il sistema di rilevamento dei carichi deve essere senza inerzia alla velocità di prova ed avere precisione di almeno 1% del valore indicato.

Attrezzatura di taglio

Deve essere usata un'attrezzatura a punzone costruita in modo che la provetta sia rigidamente fissata e non possa flettersi durante la prova. Attrezzature idonee allo scopo sono indicate in fig. 1 per carichi applicati normalmente alla stratificazione ed in fig. 2 per carichi applicati parallelamente alla stratificazione.

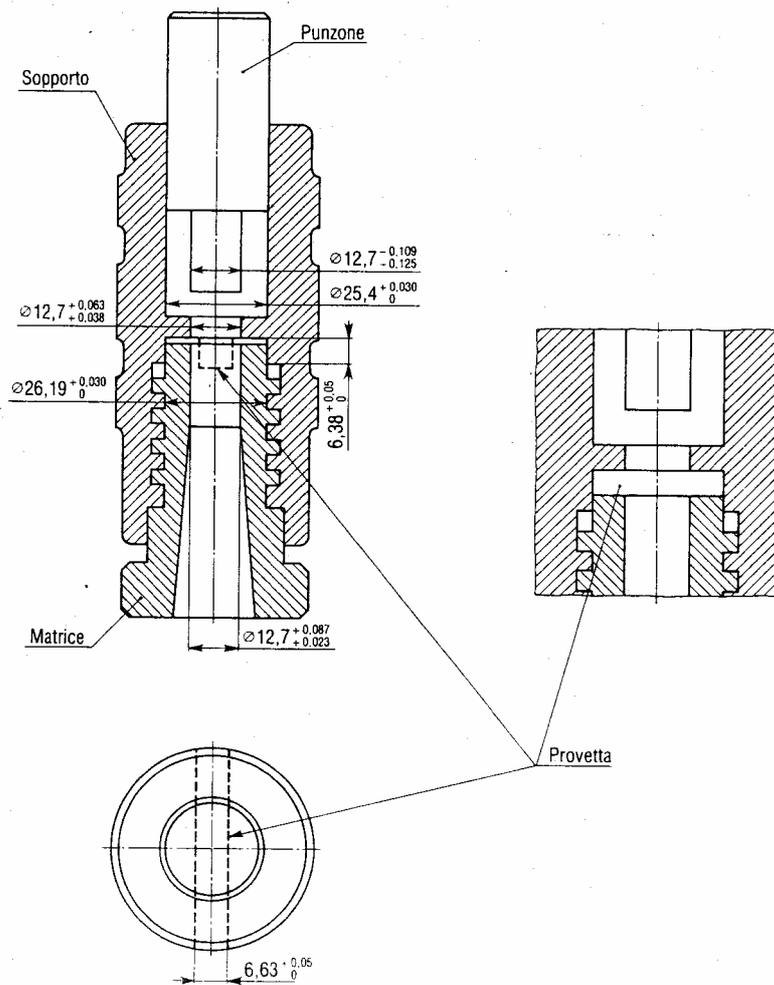


Fig. 2 — Dispositivo per prova di taglio per carichi applicati parallelamente

Procedimento

Le prove sono eseguite a temperatura ambiente.

Occorre misurare lo spessore delle provette con precisione di almeno 0,03 mm e sistemare le provette nell'apparecchiatura di punzonatura.

Per la sollecitazione normale alla stratificazione le provette devono essere infilate attraverso il foro ricavato al centro sul perno di diametro 10 mm del punzone e fissate strettamente per mezzo di rondella e dado. L'apparecchiatura di fig.1 deve poi essere assiemata e i bulloni devono essere serrati.

Per la sollecitazione parallela alla stratificazione le provette devono essere poste nella cavità ricavata sul supporto (fig. 2) e bloccate avvitando la matrice nella sua sede.

Occorre predisporre la traversa della macchina per una velocità a vuoto di 2 mm/min e applicare il carico alla provetta tramite il punzone fino alla rottura.

La resistenza al taglio normale τ_N alla stratificazione, in megapascal, è data da:

$$\tau_N = \frac{F}{\pi d \cdot s}$$

dove:

F è il carico di rottura, in newton;

d è il diametro del punzone, in millimetri;

s è lo spessore della provetta, in millimetri.

La resistenza al taglio parallelo τ_p alla stratificazione, in megapascal, è data da:

$$\tau_p = \frac{F}{2 \cdot bsK} = \frac{F}{2,096 \cdot bs}$$

dove:

F è il carico di rottura, in newton;

b è l'altezza della provetta, in millimetri;

s è lo spessore della provetta, in millimetri;

K è un fattore (1,048) di correzione per la curvatura del punzone.

Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Metodi di prova. Determinazione della resistenza all'abrasione dello strato interno.

(UNI 9033-11)

La presente norma descrive un metodo per la determinazione del valore di resistenza all'abrasione di un campione relativo ad un materiale di riferimento per la determinazione di una graduatoria di resistenza all'abrasione tra vari campioni. Essa si applica agli stratificati di PRFV costituenti la parte interna delle pareti dei tubi.

Provette

Le provette devono essere preparate appositamente per eseguire la prova e quindi, per la parte interessata al fenomeno abrasivo corrispondente alla parete interna del tubo, devono rispecchiare esattamente le caratteristiche del tubo che rappresentano.

Le provette consistono in dischi di diametro 102 mm o in lastre quadrate di 102 mm di lato con spessore non minore di 3 mm. Entrambe le superfici delle provette devono essere il più possibile piane e parallele e devono essere centrate da un foro di diametro 6,3 mm. Le provette devono essere 7 per ogni campione da provare.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura è costituita da quanto segue:

Abrasore. Può essere usato un abrasimetro tipo Taber o equivalente, dotato di contagiri.

Dischi abrasivi, tipo CS 17 (vedere manuale Taber o equivalente), caricati con peso di 2,45 N, rotanti liberamente sui loro assi.

Piccolo aspiratore per rimuovere i residui dell'abrasione.

Supporto rotante della provetta, che deve rotare in un piano con una deviazione non maggiore di 0,05 mm misurata a 1,6 mm dal bordo.

Bilancia analitica, con precisione di 0,001 g.

Procedimento

Determinare le dimensioni e la massa delle provette con le seguenti precisioni: massa $\pm 0,001$ g, spessori $\pm 0,01$ mm, dimensioni trasversali $\pm 0,1$ mm.

Montare i dischi abrasivi prescelti e la prima provetta sull'abrasore.

Posizionare l'aspiratore il più vicino possibile alla zona dove avviene l'abrasione. Applicare il peso di 2,45 N, azzerare il contagiri e avviare l'abrasore.

Arrestare la prova quando risulta abraso uno spessore corrispondente a circa l'80% dello strato chimico-resistente previsto per i diversi tipi di tubi, che dev'essere di almeno 2 mm, e annotare il numero dei giri.

Ripulire con uno spazzolino la superficie abrasa e pesare il campione.

Determinare nuovamente lo spessore e la massa della provetta con la precisione indicata nella parte iniziale del paragrafo del procedimento visto.

Ripetere la prova con le altre 6 provette con il medesimo numero di giri dell'abrasore; pesare ciascuna provetta e misurarne lo spessore dopo la prova.

Valutazione dei risultati

Verificare che sulla superficie abrasa della provetta sia ancora presente uno strato continuo dello spessore di materiale chimico-resistente.

La perdita di massa e/o di spessore, riferita al numero di giri, è un indice della resistenza all'abrasione.

Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Metodi di prova. Determinazione del rilassamento. (UNI 9033-16)

La presente norma stabilisce un metodo per la determinazione del rilassamento dello sforzo nella parete dei tubi in PRFV sottoposti a deformazione costante per lunghi periodi di tempo.

Provette

Le provette sono degli spezzoni di tubo; devono essere sottoposte a prova almeno tre provette.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura è costituita da quanto segue.

Due piatti di carico paralleli, di cui uno fisso e uno guidato. Il piatto mobile deve poter essere fissato in una determinata posizione corrispondente ad una deformazione prefissata della provetta.

Le dimensioni minime dei piatti devono essere maggiori della lunghezza della provetta e le facce a contatto con il tubo devono essere rivestite con una foglia di elastomero, avente spessore 1 mm e durezza 40 a 60 Shore A.

Dispositivo per la misura del carico sul piatto mobile fissato nella posizione determinata per tutta la durata della prova (per esempio: dinamometro con celle di carico e traversa ferma), con precisione dell'1 %.

Apparecchi di misura dei diametri con precisione dello 0,5%.

Condizionamento

La provetta deve essere condizionata, prima dell'inizio della prova, per 24 h a (23 ± 2) °C in aria. La prova viene eseguita alla temperatura di (23 ± 2) °C.

Deformazione di prova

La deformazione costante cui è sottoposta la provetta deve essere del 3% (in per cento del diametro indeformato).

Procedimento

Sistemare la provetta sotto i piatti e fissare il piatto mobile in modo che la deformazione del diametro verticale rispetti le prescrizioni di cui si parla nel precedente paragrafo.

Misurare il carico sul piatto mobile, tenendo conto anche della massa del piatto, a intervalli di tempo di 1, 3, 8, 24, 48, 96, 168, 500 e 1000 h.

Sospendere la prova, che è da considerarsi ultimata, quando, anche se prima del limite delle 1000 h, il carico residuo diventa minore del 5% del carico iniziale.

Tracciare la curva del carico in funzione del tempo in coordinate cartesiane scegliendo le scale compatibili con la precisione di lettura desiderata. Può essere conveniente riportare le curve, anziché in scala naturale, in scala logaritmica sia per i tempi sia per i carichi.

Tubi di resine termoindurenti rinforzate con fibre di vetro (PRFV) con o senza cariche. Metodo di prova. Determinazione della pressione esterna o depressione interna di collasso (UNI 9033-17)

La presente norma stabilisce un metodo per determinare la pressione di rottura per depressione interna o per pressione uniforme esterna e verificare il valore della depressione massima ammissibile.

Possono essere usati due sistemi: per pressione esterna e per depressione interna.

Provette

Le provette sono costituite da tronchi di tubo aventi lunghezza utile pari ad almeno $5D_i$ fino ad un massimo di 3 m (nel nostro caso essendo il diametro interno di 441 mm, avremo tronchi di

tubo di almeno 2,2 m). La lunghezza utile è la lunghezza libera misurata all'interno degli organi di tenuta alle estremità. La prova deve essere eseguita su almeno tre provette.

Apparecchiatura per la prova a pressione esterna

L'apparecchiatura per la prova è costituita da quanto segue:

Camera di prova, consistente in un recipiente esterno al tubo capace di sopportare la pressione di prova, munito di opportuni dispositivi di tenuta. Tale camera di prova può essere anche costituita da un tubo di diametro maggiore della provetta, munito di dispositivo di tenuta.

Un dispositivo di chiusura del tubo in prova, che può trasmettere al tubo sforzi di tipo sia assiale sia circonferenziale (cioè senza tirante interno).

Un sistema di misura della pressione nella camera di prova con precisione del 2%.

Un sistema per lo spurgo dell'aria durante il riempimento della camera di prova e del tubo.

Un sistema per la messa in pressione della camera di prova.

Un sistema di misura della variazione del volume del tubo costituito da un tubo trasparente munito di scala e collegato al tubo stesso.

Apparecchiatura per la prova a depressione interna

Due dischi o altri organi di tenuta idraulica alle estremità del tubo, vincolati o meno alla parete.

Un sistema di misura della pressione assoluta interna con precisione del 2%.

Un sistema di messa in depressione.

Procedimento per la verifica della pressione di collasso

Procedimento per la verifica con pressione esterna (camera di prova)

Montare la provetta sull'apparecchiatura di prova.

Serrare le guarnizioni curando di non indurre sulle pareti sollecitazioni anormali.

Riempire sia la camera di prova sia il tubo in prova con acqua colorata o addizionata di una soluzione fluorescente, ecc.

Mettere in pressione il liquido nella camera di prova con velocità massima non maggiore di 1 bar/min (0,1 MPa/min).

Durante l'aumento della pressione leggere i valori della stessa e i corrispondenti valori del cambiamento di volume. Il collasso del tubo è indicato dal rapido incremento della variazione di volume del tubo associato alla riduzione della pressione nella camera di prova.

Tracciare il grafico della variazione di volume in funzione della pressione nella camera di prova.

Procedimento per la verifica con depressione interna

Montare la provetta sull'apparecchiatura di prova.

Serrare le guarnizioni curando di non indurre sulle pareti sollecitazioni anormali.

Mettere in depressione il tubo con velocità non maggiore di 0,10 bar/min (0,01 MPa/min).

Durante la messa in depressione verificare la stabilità delle dimensioni del tubo e la variazione della pressione assoluta interna.

Tracciare un grafico in cui viene riportato il valore della pressione interna in funzione del tempo.

Determinazione del modo di collasso

La rottura per instabilità elastica è riconoscibile da una marcata discontinuità sui grafici di cui si è parlato nei precedenti due paragrafi e dalla successiva rottura della provetta. Tale tipo di rottura si verifica generalmente per tubi a parete sottile.

Se la prova è condotta in depressione, tale rottura è riconoscibile dalla comparsa sul tubo di grosse deformazioni e da oscillazioni del valore della depressione.

La rottura che avviene per superamento della sollecitazione di rottura a compressione del materiale del tubo è riconoscibile dall'improvvisa caduta di pressione nella camera di prova.

Tale tipo di rottura si verifica generalmente per tubi a parete spessa. Lo stesso fenomeno con la prova in depressione è riconoscibile dal comparire sulla parete del tubo di grossi fenomeni di delaminazione accompagnati da rapida caduta della depressione interna.

Sistemi di tubazioni di materie plastiche - Tubi e raccordi di materiale termoidurente rinforzato con fibre di vetro (PRFV) - Metodi di prova per determinare la tenuta idraulica della parete sottoposta ad una pressione interna di breve durata
(UNI EN 1229)

La presente norma specifica due metodi di prova, designati come “metodo A” e “metodo B”, per una prova rapida della tenuta idraulica di tubi e raccordi di materie plastiche termoidurenti rinforzate con vetro (PRFV) sotto una pressione interna di breve durata.

Il metodo A è una prova idraulica applicabile a un tubo sotto una sollecitazione uniassiale. Il metodo B è una prova applicabile a tubi e raccordi. Per i tubi esso è inteso come un metodo di prova complementare, non alternativo.

DEFINIZIONE

Ai fini della presente norma si applica la definizione seguente:

perdita: Trasmissione di acqua o aria attraverso la parete della provetta.

METODO A

Principio

Una provetta, in aria, è sottoposta ad una pressione idraulica interna. La provetta viene osservata per evidenziare perdite attraverso la parete come, per esempio, segni di trasudamento o passaggio di un indicatore, entro un tempo specificato.

Si assume che i seguenti parametri di prova siano fissati dalla norma che a questa fa riferimento:

- a) la pressione di prova e il tempo necessario per raggiungerla;
- b) il numero delle provette da usare;
- c) il tempo per il quale la pressione deve essere applicata.

Apparecchiatura

Sistema di pressurizzazione, capace di mantenere per la durata della prova una specificata pressione idraulica misurata nel punto più alto della provetta con un'accuratezza tra - 2% e +

5%. L'acqua usata per mettere in pressione la provetta può contenere un indicatore (come un colorante) per aiutare la rilevazione di ogni passaggio attraverso la parete della provetta.

Strumento per la misurazione della pressione, di sufficiente precisione per ottenere la conformità alle prescrizioni del paragrafo precedente.

Dispositivi di chiusura delle estremità, come coperchi, tappi interni o sacchetti gonfiabili, secondo il diametro della provetta. Devono essere provvisti mezzi per impedire movimenti dei dispositivi di chiusura sotto pressione. Tali dispositivi non devono trasmettere spinte di estremità alla provetta.

Sostegno per la provetta, se necessario, per rendere minima la deformazione della provetta dovuta alla sua massa ed al suo contenuto.

Questo sostegno non deve trattenere la provetta circonferenzialmente o longitudinalmente.

Provette

La/e provetta/e deve/devono comprendere un tubo o uno spezzone ricavato da un tubo, come specificato dalla norma di riferimento.

Il numero delle provette deve essere specificato nella norma di riferimento.

Procedimento

AVVERTENZA: Si attira l'attenzione sui pericoli connessi alla pressione e alla necessità di applicare tutte le precauzioni necessarie per evitare lesioni al personale coinvolto. Applicare i dispositivi di chiusura dell'estremità della provetta e riempirla con acqua, espellendo tutta l'aria. Collegare la provetta al sistema di pressurizzazione, assicurandosi di evitare l'inclusione di aria. Aumentare in modo continuo la pressione idrostatica, in modo da raggiungere la pressione specificata nel tempo specificato dalla norma di riferimento.

Mantenere la pressione di prova per il tempo specificato nella norma di riferimento o fino a che si osservi una perdita (secondo quello dei due eventi che si presenta per primo). Registrare ogni comparsa di perdite attraverso la parete della provetta e il periodo di tempo dopo cui è stata osservata.

METODO B

Principio

Una provetta, in aria o in acqua, è sottoposta ad una pressione d'aria interna. La provetta viene osservata per verificare eventuali perdite per un tempo specificato.

Apparecchiatura

Sistema di pressurizzazione, capace di applicare e mantenere, con un'accuratezza di $\pm 2\%$, la pressione d'aria interna specificata nella norma di riferimento e provvista di un dispositivo automatico di limitazione della pressione.

Dispositivo di misurazione della pressione, di sufficiente precisione per ottenere la conformità alla prescrizione del precedente paragrafo.

Dispositivi di chiusura delle estremità, come coperchi, tappi interni o sacchetti gonfiabili, in relazione al diametro della provetta. Devono essere predisposti mezzi per impedire movimenti del dispositivo di chiusura sottoposto a pressione. Tali dispositivi non devono trasmettere alla provetta una spinta di estremità.

Provette

Le provette devono comprendere uno o l'altro dei seguenti tipi, come specificato nella norma di riferimento:

- a) un tubo;
- b) uno spezzone di tubo;
- c) un raccordo.

Il numero di provette deve essere specificato nella norma di riferimento.

Procedimento

AVVERTENZA: Si deve fare attenzione ai pericoli connessi con la pressione pneumatica e alla necessità di applicare tutte le precauzioni atte ad evitare danni al personale coinvolto. Per motivi di sicurezza si raccomanda che la pressione di prova non superi 1 bar, se non diversamente specificato nella norma di riferimento.

Applicare i dispositivi di chiusura alle estremità della provetta, assicurandosi che non vi siano trasmesse spinte di estremità. Collegare la provetta al sistema di pressurizzazione attraverso uno dei dispositivi di chiusura. Spalmare la superficie esterna della provetta con una soluzione di sapone o con un agente simile, se la prova è eseguita in aria, oppure immergere completamente la provetta nell'acqua.

Pressurizzare la provetta alla pressione di prova specificata.

Mantenere la pressione di prova per il tempo specificato oppure fino a quando si osservi una perdita (secondo quello dei due eventi che si verifica per primo).

Osservare e registrare qualsiasi formazione di bolle causate da fuoriuscita dalla parete della provetta.

Sistemi di tubazioni di materie plastiche. Tubi di materiale termoidurente rinforzato con fibre di vetro (PRFV). Determinazione della rigidità anulare specifica iniziale.

(UNI EN 1228)

La presente norma specifica i metodi per la determinazione della rigidità anulare iniziale specifica dei tubi di materie termoidurenti rinforzate con vetro (PRFV). Sono dati due metodi: entro i limiti di deformazione specificati ciascuno dei due è ugualmente valido e può essere usato per qualsiasi diametro.

DEFINIZIONI

Ai fini della presente norma si applicano le definizioni seguenti.

Carico di compressione (F): Carico applicato a un tubo per provocare una deformazione diametrale. Viene espresso in Newton.

Deformazione (y): Variazione del diametro di un tubo a seguito di un carico di compressione diametrale. Viene espressa in metri.

Deformazione relativa (y/d_m): Rapporto tra la deformazione y e il diametro medio del tubo d_m.

Diametro medio (d_m): Diametro del cerchio corrispondente alla sezione trasversale nella mezzzeria del tubo. Esso è dato, in metri, da una o dall'altra delle due seguenti equazioni:

$$\begin{aligned}d_m &= d_i + e \\d_m &= d_e - e\end{aligned},$$

dove:

d_i è la media delle misure dei diametri interni, in metri;

d_e è la media delle misure dei diametri esterni, in metri;

e è la media delle misure degli spessori di parete del tubo, in metri.

Nel caso del nostro esempio, riferito a un tubo con $d_e = 500$ mm e un $e = 10$ mm (= 500 mm / 50, applicando la formula $e = d_e / SDR$), il diametro medio sarà $d_m = 500$ mm – 10 mm = 490 mm.

Rigidità anulare specifica (S): Caratteristica fisica del tubo, che è una misura della resistenza alla deformazione anulare sotto un carico esterno.

Questa caratteristica viene determinata con prove ed è definita, in Newton al metro quadrato, dall'equazione:

$$S = \frac{E \times I}{d_m^3},$$

dove:

E è il modulo apparente di elasticità come determinato nella prova di rigidità anulare, in Newton per metro quadrato;

d_m è il diametro medio del tubo, in metri;

I è il momento d'inerzia (il secondo momento di area) nella direzione longitudinale, al metro di lunghezza, espresso in metri alla quarta al metro, cioè:

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

dove

e è lo spessore della parete del tubo, in metri.

Vediamo di fare qualche calcolo specifico riferito al nostro esempio:

$$I = (0,01 \text{ m})^3 / 12 = 0,08 * 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m};$$

La rigidità anulare specifica risulterà:

$$S = 23 * 10^6 \text{ N/m}^2 * 0,08 * 10^{-6} \text{ m}^4/\text{m} / (0,490 \text{ m})^3 = 15,6 \text{ N/m}^2.$$

Rigidità anulare iniziale specifica (S_0): Valore iniziale di S ottenuto con le prove secondo la presente norma ed espresso in Newton al metro quadrato.

PRINCIPIO

Uno spezzone di tubo è caricato in tutta la sua lunghezza per comprimerlo diametralmente; si determina la deformazione risultante o il carico raggiunto.

Ci sono due metodi, ciascuno dei quali può essere usato, designati A o B, come segue:

metodo A: dopo applicazione del carico per raggiungere una deformazione relativa del $(3 \pm 0,5)\%$, si mantiene il carico costante per un periodo di tempo; alla fine di tale periodo si determina la deformazione finale;

metodo B: dopo applicazione del carico per raggiungere la deformazione iniziale specificata nella norma di riferimento, si mantiene costante la deformazione per un periodo di tempo; alla fine di tale periodo si determina il carico finale applicato.

Si assume che i seguenti parametri siano stabiliti nella norma che a questa fa riferimento:

- a) il metodo per determinare la rigidità anulare iniziale specifica;
- b) la lunghezza della provetta;
- c) il numero di provette;
- d) se è il caso, il condizionamento della provetta;
- e) per il metodo B, la deformazione relativa che si deve applicare.

APPARECCHIATURA

Macchina di compressione, comprendente un sistema capace di applicare una compressione a velocità controllata (idonea per i metodi A e B) oppure un sistema di carico a peso morto (idoneo solamente per il metodo A) senza scosse, per mezzo di due piastre di carico parallele in modo che una provetta di tubo orientata orizzontalmente possa venire compressa verticalmente. L'accuratezza del carico deve essere $\pm 1\%$ del carico massimo indicato.

Superfici per l'applicazione del carico

Disposizione generale

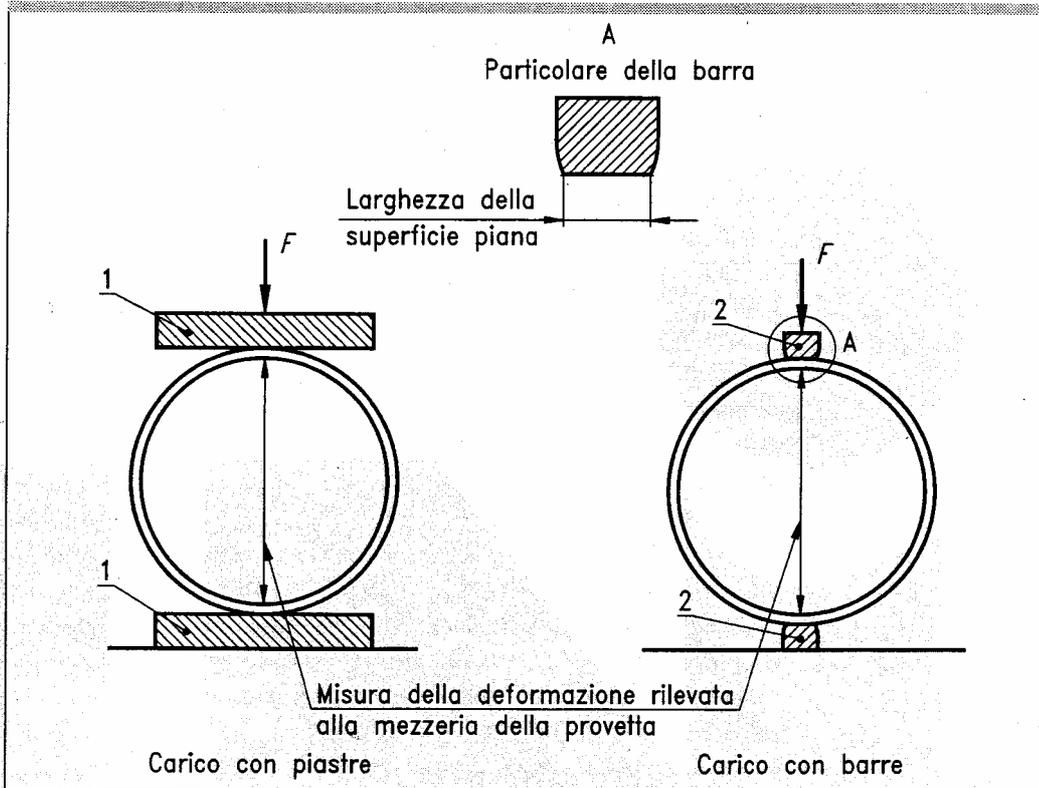
Le superfici devono essere costituite da un paio di piastre o da un paio di barre o dalla combinazione di una di tali piastre e una di tali barre, con i loro assi maggiori perpendicolari e centrati nella direzione di applicazione del carico F da parte della macchina di compressione, come mostrato nella figura 1. Le superfici che vanno in contatto con la provetta devono essere piane e lisce, pulite e parallele.

Le piastre e le barre devono avere una lunghezza almeno uguale a quella della provetta ed avere uno spessore tale da impedire che si verifichino deformazioni visibili durante la prova.

figura 1 Schema del dispositivo di prova

Legenda

- 1 Piastre
- 2 Barre



Piastre

Le piastre devono avere una larghezza di almeno 100 mm.

Barre

Ciascuna barra deve avere bordi arrotondati, una superficie piana (vedere figura 1) senza spigoli e una larghezza dipendente dal tubo, come segue:

- a) per tubi con dimensione nominale non maggiore di DN 300 la larghezza deve essere (20 ± 2) mm;
- b) per tubi di dimensione nominale maggiore di DN 300 (come nel nostro caso) la larghezza deve essere (50 ± 5) mm. Le barre devono essere costruite e sostenute in modo che nessun'altra superficie della struttura della barra venga in contatto con la provetta durante la prova.

Strumenti per le misurazioni dimensionali, idonei per determinare:

- le dimensioni necessarie (lunghezza, diametro, spessore di parete) con accuratezza entro 0,1 mm;
- la deformazione della provetta in direzione verticale con accuratezza entro 1,0% del valore massimo.

PROVETTE

Preparazione

La provetta deve essere un anello completo ritagliato dal tubo in prova. La lunghezza della provetta deve essere quella specificata nella norma di riferimento, con uno scostamento ammesso del 5%.

Le estremità tagliate devono essere lisce e perpendicolari all'asse del tubo.

Linee rette, che devono servire come linee di riferimento, devono essere tracciate all'interno o all'esterno lungo la lunghezza della provetta, a intervalli di 60° intorno alla circonferenza.

Numero

Il numero delle provette deve essere quello specificato nella norma di riferimento.

Determinazione delle dimensioni

Lunghezza

Misurare la lunghezza della provetta lungo ciascuna linea di riferimento con accuratezza di 0,2 mm.

Calcolare la lunghezza media, L , in metri, della provetta in base ai 6 valori rilevati.

Spessore di parete

Misurare lo spessore della parete del tubo all'estremità di ciascuna linea di riferimento, con accuratezza di $\pm 0,2$ mm.

Calcolare lo spessore di parete medio, e , come media dei 12 valori misurati, in metri.

Diametro medio

Misurare, con accuratezza di $\pm 0,5$ mm uno o l'altro dei seguenti:

- a) il diametro interno d_i della provetta tra ciascun paio di linee di riferimento diametralmente opposte a metà della loro lunghezza, per esempio con un calibro;
- b) il diametro esterno d_e della provetta alla metà delle linee di riferimento, per esempio per avvolgimento con un nastro di acciaio.

Calcolare il diametro medio d_m della provetta usando i valori rilevati per lo spessore della parete e per il diametro interno o per quello esterno.

CONDIZIONAMENTO

Se non diversamente specificato nella norma di riferimento, mantenere le provette per almeno 0,5 h alla temperatura di prova (spiegata di seguito) prima della prova.

PROCEDIMENTO

Temperatura di prova

Eeguire la prova alla temperatura specificata nella norma di riferimento.

Posizionamento della provetta

Disporre la provetta nell'apparecchio con il paio di linee di riferimento diametralmente opposte, in contatto con la/le piastra/e e/o la/le barra/e.

Assicurarsi che il contatto tra la provetta e ciascuna piastra o barra sia il più uniforme possibile e che la/le piastra/e o la/le barra/e non sia/siano spostata/e lateralmente.

Applicazione del carico e misurazione della deformazione

Generalità

Effettuare una prova per ciascun paio di linee di riferimento. Lasciare che la provetta rinvenga dopo ciascuna prova. In caso di contestazione, lasciare trascorrere 15 min tra ciascuna prova.

Metodo A: *A carico costante*

Applicare il carico di compressione in una delle seguenti condizioni:

a) ad una velocità sostanzialmente costante, in modo da raggiungere una deformazione relativa tra 2,5% e 3,5% in (60 ± 10) s;

b) in tre stadi di compressione (vedere figura 2) in periodo totale di (60 ± 10) s.

Mantenere costante questo carico per 2 min e alla fine di tale periodo determinare e registrare il carico e la deformazione.

figura 2 **Metodo A: Carico e corrispondente deformazione in funzione del tempo [nella condizione di carico b)]**

Legenda

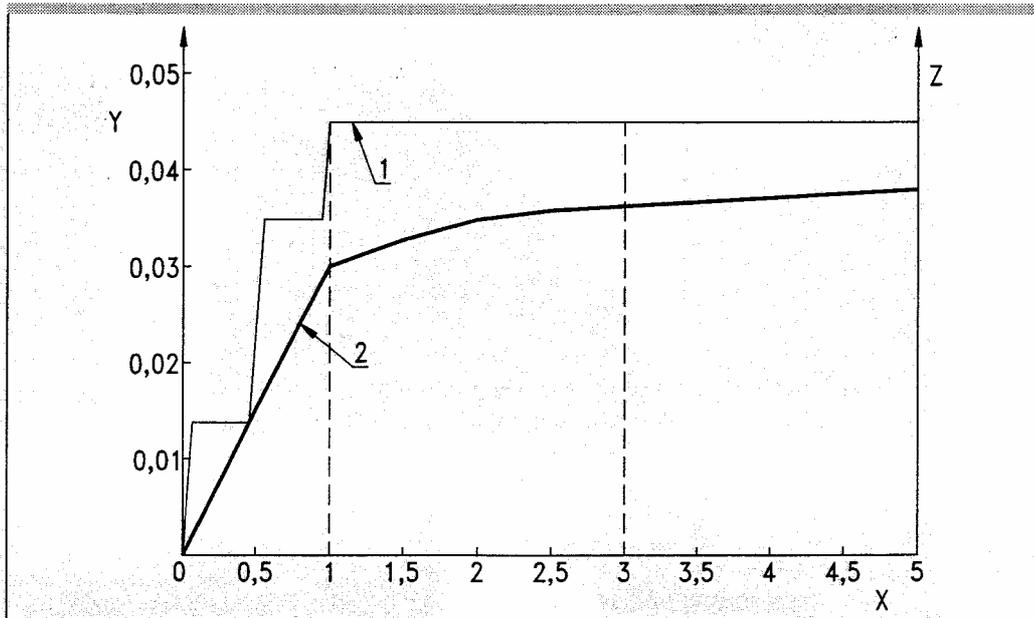
X Tempo in min

Y y/d_m

Z Carico F in N

1 Carico $F =$ costante

2 Deformazione relativa y/d_m



Metodo B: A deformazione costante

Applicare il carico a compressione in modo che la deformazione relativa specificata dalla norma di riferimento sia raggiunta in (60 ± 10) s in uno o l'altro dei seguenti modi:

a) con una velocità di applicazione sostanzialmente costante (vedere figura 3);

b) in tre stadi di carico.

Mantenere questa deformazione costante per 2 min e alla fine di tale periodo determinare e registrare la deformazione e il carico.

Metodo B: Deformazione e corrispondente carico in funzione del tempo [nella condizione di carico a)]

Legenda

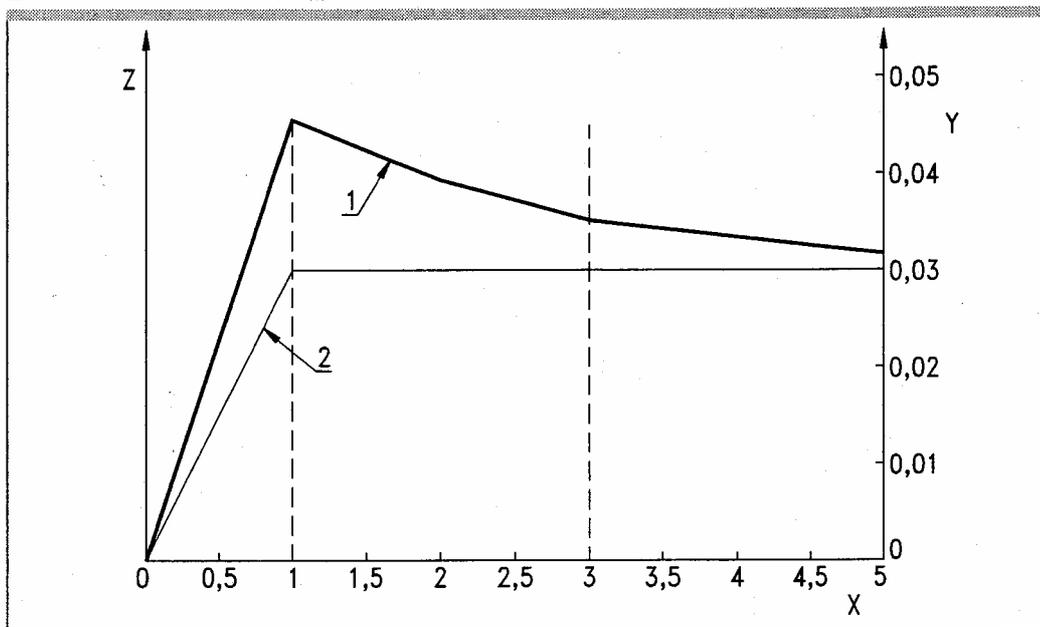
X Tempo in min

Y y/d_m

Z Carico F in N

1 Carico F

2 Deformazione relativa $y/d_m = \text{costante}$



Nota Una stima del carico a compressione richiesto per ottenere una relativa deformazione può essere fatta dalla conoscenza della rigidità nominale (SN).

CALCOLO

Calcolare la rigidità anulare iniziale specifica S_0 per ciascuna delle tre posizioni usando l'equazione seguente:

$$S_0 = \frac{f \times F}{L \times y}$$

dove:

f è il coefficiente di deformazione:

$$f = (1860 + 2500 y/d_m) * 10^{-5};$$

L è la lunghezza media della provetta, in metri.

Calcolare la media dei tre valori e registrarla come la rigidità anulare iniziale specifica della provetta.

Sistemi di tubazioni di materie plastiche. Tubi di materiale termoidurente rinforzato con fibre di vetro (PRFV). Metodo di prova per verificare la resistenza alla deformazione anulare iniziale. (UNI EN 1226)

La presente norma specifica un metodo per verificare la capacità dei tubi di materie plastiche termoidurenti rinforzate con vetro (PRFV) di resistere a determinati livelli di deformazione anulare iniziale senza presentare danneggiamenti superficiali e/o cedimenti strutturali.

DEFINIZIONI

Ai fini della presente norma, si applicano le definizioni seguenti.

Deformazione verticale (y): Variazione verticale del diametro di un tubo in posizione orizzontale in seguito a un carico di compressione verticale. Essa viene espressa in metri.

Deformazione verticale relativa (y/d_m): Rapporto tra la deformazione verticale y e il diametro medio del tubo d_m.

Diametro medio (d_m): Diametro del cerchio corrispondente alla sezione trasversale nella mezzeria del tubo. Esso è dato, in metri, da una o dall'altra delle due seguenti equazioni:

$$\begin{aligned}d_m &= d_i + e \\d_m &= d_e - e\end{aligned},$$

dove:

d_i è la media delle misure dei diametri interni, in metri;

d_e è la media delle misure dei diametri esterni, in metri;

e è la media delle misure degli spessori di parete del tubo, in metri.

Nel caso del nostro esempio, riferito a un tubo con $d_e = 500$ mm e un $e = 10$ mm (= 500 mm / 50, applicando la formula $e = d_e / SDR$), il diametro medio sarà $d_m = 500$ mm – 10 mm = 490 mm.

Cedimento strutturale: Cedimento che si presenta in una delle forme seguenti:

- separazione interlaminare;
- rottura a trazione delle fibre di vetro di rinforzo;
- curvatura della parete del tubo;
- se è il caso, separazione del rivestimento termoplastico dalla parete strutturale.

PRINCIPIO

Uno spezzone del tubo, supportato orizzontalmente, viene caricato su tutta la sua lunghezza per comprimerlo diametralmente a due livelli successivi specificati di deformazione verticale (vedere figura 2). Al primo livello di deformazione si esamina il tubo per eventuali danneggiamenti superficiali e/o cedimento strutturale ed al secondo livello di deformazione per cedimento strutturale.

APPARECCHIATURA

Macchina di compressione, comprendente un sistema capace di applicare una compressione a velocità controllata (idonea per i metodi A e B) oppure un sistema di carico a peso morto (idoneo solamente per il metodo A) senza scosse, per mezzo di due piastre di carico parallele in modo che una provetta di tubo orientata orizzontalmente possa venire compressa verticalmente. L'accuratezza del carico deve essere $\pm 1\%$ del carico massimo indicato.

Superfici per l'applicazione del carico

Disposizione generale

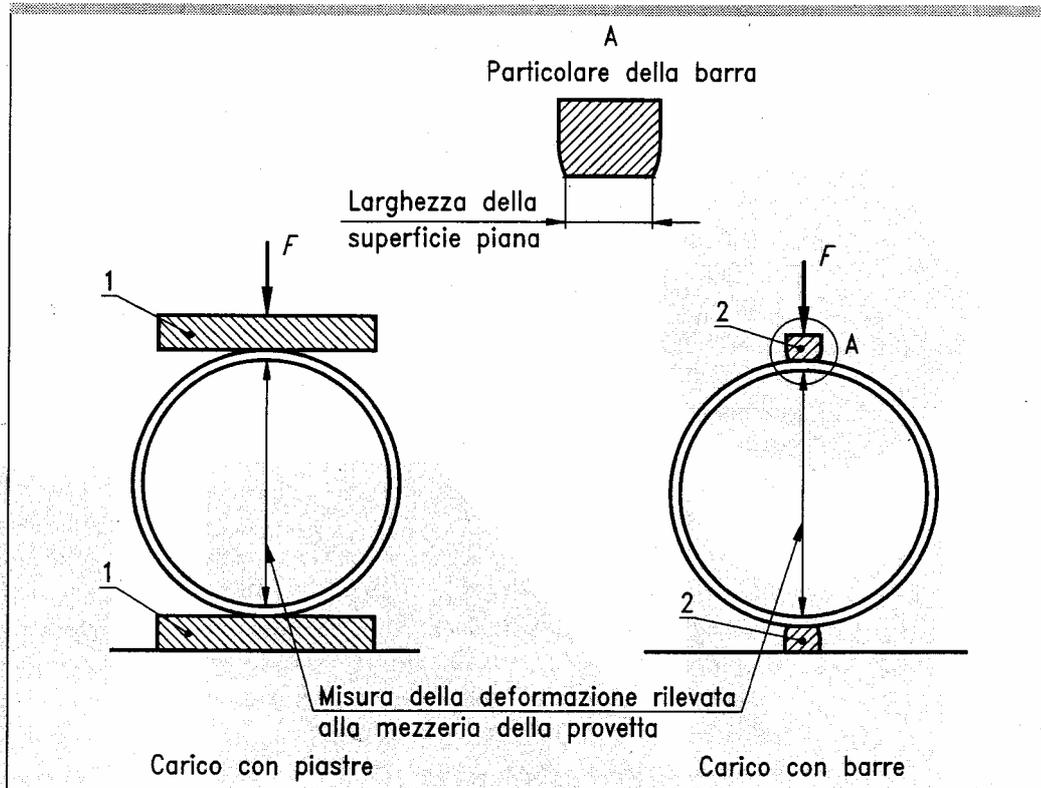
Le superfici devono essere costituite da un paio di piastre o da un paio di barre o dalla combinazione di una di tali piastre e di una di tali barre, con i loro assi maggiori perpendicolari e centrati nella direzione di applicazione del carico F da parte della macchina di compressione, come mostrato nella figura 1. Le superfici che vanno in contatto con la provetta devono essere piane e lisce, pulite e parallele.

Le piastre e le barre devono avere una lunghezza almeno uguale a quella della provetta ed avere uno spessore tale da impedire che si verifichino deformazioni visibili durante la prova.

figura 1 Schema del dispositivo di prova

Legenda

- 1 Piastre
- 2 Barre



Piastre

Le piastre devono avere una larghezza di almeno 100 mm.

Barre

Ciascuna barra deve avere bordi arrotondati, una superficie piana (vedere figura 1) senza spigoli e una larghezza dipendente dal tubo, come segue:

- a) per tubi con dimensione nominale non maggiore di DN 300 la larghezza deve essere (20 ± 2) mm;
- b) per tubi di dimensione nominale maggiore di DN 300 (come nel nostro caso) la larghezza deve essere (50 ± 5) mm. Le barre devono essere costruite e sostenute in modo che nessun'altra superficie della struttura della barra venga in contatto con la provetta durante la prova.

Strumenti per le misurazioni dimensionali, idonei per determinare:

- le dimensioni necessarie (lunghezza, diametro, spessore di parete) con accuratezza entro 0,1 mm;
- la deformazione della provetta in direzione verticale con accuratezza entro 1,0% del valore massimo.

PROVETTE

Preparazione

La provetta deve essere un anello completo ritagliato dal tubo in prova. La lunghezza della provetta deve essere quella specificata nella norma di riferimento, con uno scostamento ammesso del 5%.

Le estremità tagliate devono essere lisce e perpendicolari all'asse del tubo.

Linee rette, che devono servire come linee di riferimento, devono essere tracciate all'interno o all'esterno lungo la lunghezza della provetta, a intervalli di 60° intorno alla circonferenza.

Numero

Il numero delle provette deve essere quello specificato nella norma di riferimento.

Determinazione delle dimensioni

Lunghezza

Misurare la lunghezza della provetta lungo ciascuna linea di riferimento con accuratezza di 0,2 mm.

Calcolare la lunghezza media, L , in metri, della provetta in base ai 6 valori rilevati.

Spessore di parete

Misurare lo spessore della parete del tubo all'estremità di ciascuna linea di riferimento, con accuratezza di $\pm 0,2$ mm.

Calcolare lo spessore di parete medio, e , come media dei 12 valori misurati, in metri.

Diametro medio

Misurare, con accuratezza di $\pm 0,5$ mm uno o l'altro dei seguenti:

- a) il diametro interno d_i della provetta tra ciascun paio di linee di riferimento diametralmente opposte a metà della loro lunghezza, per esempio con un calibro;
- b) il diametro esterno d_e della provetta alla metà delle linee di riferimento, per esempio per avvolgimento con un nastro di acciaio.

Calcolare il diametro medio d_m della provetta usando i valori rilevati per lo spessore della parete e per il diametro interno o per quello esterno.

CONDIZIONAMENTO

Se non diversamente specificato nella norma di riferimento, mantenere le provette per almeno 0,5 h alla temperatura di prova (spiegata di seguito) prima della prova.

PROCEDIMENTO

Temperatura di prova

Eeguire la prova alla temperatura specificata nella norma di riferimento.

Scelta delle superfici per l'applicazione del carico e posizionamento della provetta

Se uno dei limiti di deformazione relativa richiesti (per danneggiamenti superficiali o cedimenti strutturali) è maggiore del 28%, usare le barre; altrimenti usare le piastre e/o le barre.

Disporre la provetta in contatto con la piastra superiore e inferiore o la barra, con il paio di linee di riferimento diametralmente opposte allineate verticalmente.

Assicurarsi che il contatto tra la provetta e ciascuna piastra o barra sia il più uniforme possibile e che le piastre e/o le barre non siano spostate lateralmente.

Applicazione del carico e misurazione della deformazione

Comprimere o caricare la provetta ad una velocità costante in modo che si raggiunga la prima deformazione verticale iniziale minima o la minima deformazione iniziale relativa verticale specificata nella norma di riferimento in $(2 \pm 0,5)$ min con accuratezza di $\pm 2,0\%$ del valore della deformazione specificata e registrare il corrispondente carico F_1 (vedere figura 2).

Mantenere tale deformazione per $(2 \pm 0,25)$ min mentre si esamina la provetta, senza ingrandimenti, per eventuali danni superficiali.

Registrare ogni osservazione di danneggiamento superficiale, con la corrispondente deformazione.

Aumentare la deformazione usando una velocità costante di compressione o di carico in modo che la seconda deformazione iniziale verticale minima o la minima deformazione iniziale verticale relativa sia raggiunta con un'accuratezza entro $\pm 2,0\%$ del valore di deformazione specificato entro $(2 \pm 0,5)$ min e registrare il corrispondente carico F_2 .

Mantenere tale deformazione per $(2 \pm 0,25)$ min con continua osservazione e registrazione del carico applicato (vedere figura 2) e una continua osservazione della provetta per cedimenti strutturali.

Se durante il periodo di osservazione non si è notato un calo istantaneo del carico, registrare che non si siano verificate rotture e scaricare la provetta.

Se durante il periodo di osservazione si è notato un calo istantaneo del carico non maggiore del 10% di F_2 , rilevare l'entità del calo e aumentare il carico, alla fine del periodo di osservazione, di un valore doppio di quello del calo stesso (al massimo il 20% di F_2).

Se si raggiunge tale carico, registrare che non si è verificata alcuna rottura (indipendentemente dall'apparenza) e scaricare la provetta.

Se tale aumento del carico non può essere raggiunto, registrare che il cedimento è avvenuto e scaricare la provetta.

Se il calo istantaneo del carico è maggiore del 10% di F_2 durante il periodo di osservazione, registrare che si è verificato un cedimento e scaricare la provetta.

figura 2 Diagramma schematico del carico in funzione del tempo

Legenda

X Tempo in min

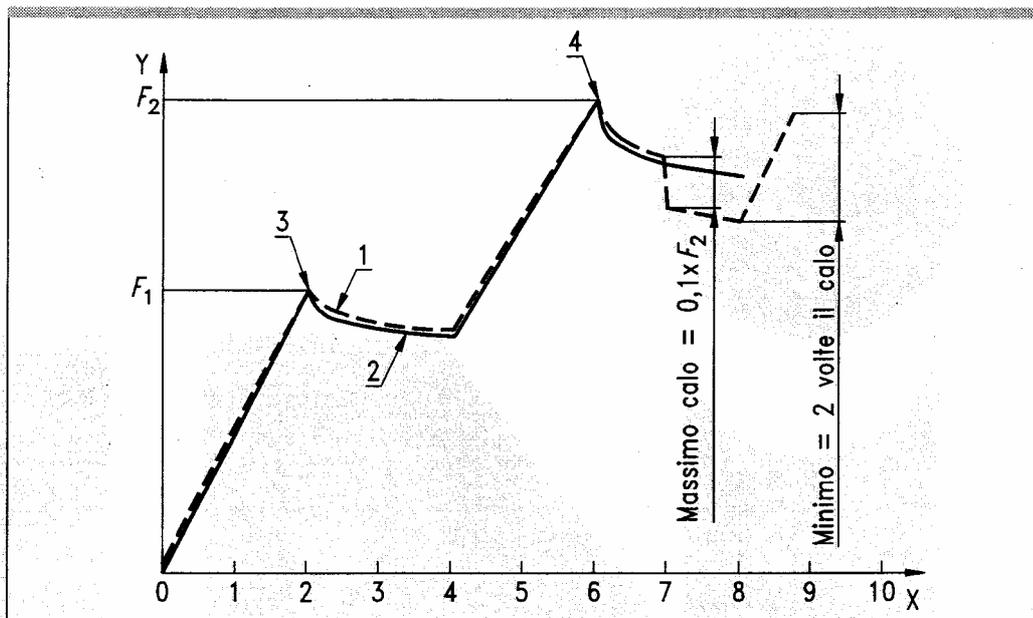
Y Carico

1 Caso eccezionale

2 Caso normale

3 Primo limite di deformazione relativa

4 Secondo limite di deformazione relativa



Materie plastiche - Determinazione della viscosità dei polimeri in una soluzione diluita per mezzo di viscosimetro capillare - Resine di policloruro di vinile

(UNI EN ISO 1628-2)

La presente parte della ISO 1628 specifica le condizioni per la determinazione della viscosità ridotta (anche nota come numero di viscosità) e del valore K delle resine di PVC. Essa è applicabile a resine in forma di polvere consistenti di omopolimeri del cloruro di vinile monomero e copolimeri, terpolimeri, ecc. del cloruro di vinile con uno o più altri monomeri, ma dove il cloruro di vinile è il costituente principale. Le resine possono contenere piccole quantità

di sostanze non polimerizzate (per esempio agenti emulsificanti o sospendenti, residui di catalizzatori, ecc.) e altre sostanze introdotte durante la polimerizzazione. La presente parte della ISO 1628 non è tuttavia applicabile a resine aventi un contenuto di volatili maggiore del $(0,5 \pm 0,1) \%$, determinato in conformità con la ISO 1269. Inoltre essa non è applicabile a resine non completamente solubili nel cicloesano.

La viscosità ridotta ed il valore K di una particolare resina sono relativi alla loro massa molecolare, ma la relazione varia in dipendenza dalla concentrazione e dal(i) tipo(i) di altro(i) monomero(i) presente(i). Perciò gli omopolimeri ed i copolimeri che hanno la stessa viscosità ridotta ed il medesimo numero K possono non avere la stessa massa molecolare.

I valori determinati per la viscosità ridotta e il numero K , per un particolare campione di resina PVC, sono influenzati differentemente dalla concentrazione della soluzione scelta per la determinazione. Quindi l'utilizzo dei procedimenti descritti nella presente parte della ISO 1628 darà solamente valori per la viscosità ridotta ed il valore K confrontabile se le concentrazioni delle soluzioni utilizzate sono identiche.

Il numero di viscosità limite non è utilizzato per le resine PVC.

I procedimenti sperimentali descritti nella presente parte della ISO 1628 possono essere utilizzati per caratterizzare la frazione polimerica ottenuta durante l'analisi di una composizione di PVC. Tuttavia i valori calcolati per la viscosità ridotta e il valore K in queste circostanze possono non indicare i valori effettivi per la resina utilizzata nella preparazione della composizione, a causa dell'impurità della frazione di polimero recuperata.

Il numero K è un indice convenzionale del peso molecolare derivato da misure di viscosità eseguite su soluzioni (in speciali solventi) del polimero.

PRINCIPIO

Una porzione di prova è disciolta in un solvente. La viscosità ridotta ed il valore K sono calcolati dai tempi di efflusso del solvente e dalla soluzione in un viscosimetro a tubo capillare.

MATERIALI

Cicloesano, avente un rapporto viscosità/massa (viscosità cinematica) tra $2,06 * 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ e $2,33 * 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ($2,06 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$ e $2,33 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$) a 25°C . Il punto di ebollizione specificato deve

essere 155°C. Conservare il solvente al buio in una bottiglia di vetro scuro munita di un tappo di vetro smerigliato. Verificare la viscosità cinematica prima dell'utilizzo.

APPARECCHIATURA

Viscosimetro: tra i viscosimetri descritti nel punto 5.1 della ISO 1628-1: 1998, il modello 1 C, con un diametro del capillare di $0,77 \text{ mm} \pm 2\%$ del prospetto B.4 della ISO 3105:1994 deve essere utilizzato come viscosimetro di riferimento.

Altri viscosimetri possono essere utilizzati, purché la correlazione tra il viscosimetro prescelto ed il viscosimetro di riferimento sia stata stabilita per l'intervallo delle viscosità ridotte e dei valori K da misurare, e che i risultati siano corretti di conseguenza.

Matraccio graduato: recipiente volumetrico ad una sola marcatura di classe A con volume di 50 ml.

L'utilizzo di un recipiente tarato alla temperatura di 20°C causa un errore sistematico, che tuttavia può essere trascurato.

Imbuto filtrante, con un disco di vetro sinterizzato di porosità media (dimensione dei pori da 40 μm a 50 μm) o un imbuto di vetro con filtro di carta.

Agitatore meccanico, con un dispositivo di riscaldamento per tenere il matraccio e il suo contenuto ad una temperatura tra 80°C e 85°C.

In alternativa si può utilizzare un agitatore rotativo in una stufa regolata ad una temperatura tra 80°C e 85°C.

Bilancia analitica, con accuratezza di 0,1 mg.

Bagno a temperatura regolata, che può essere portato a $(25 \pm 0,5)^\circ\text{C}$ con incrementi di $0,1^\circ\text{C}$ e mantenuto con stabilità di $\pm 0,05^\circ\text{C}$ alla temperatura prefissata.

Termometro, con sensibilità di $0,05^\circ\text{C}$.

Dispositivo per misurare il tempo, con una sensibilità di 0,1 s.

CAMPIONATURA

Prendere un campione che sia rappresentativo della resina di cui si devono determinare le proprietà, di dimensioni sufficienti per almeno due determinazioni.

NUMERO DELLE DETERMINAZIONI

Effettuare due determinazioni complete, partendo ogni volta con una nuova porzione di prova.

PROCEDIMENTO

Preparazione della soluzione

Preparare una soluzione con concentrazione di $(5 \pm 0,1)$ g/l a (25 ± 1) °C, come segue: pesare, al più vicino 0,2 mg, $(0,250 \pm 0,005)$ g di resina e trasferirli quantitativamente nel matraccio da 50 ml. Aggiungere al matraccio circa 40 ml di cicloesano, agitando il matraccio a mano, per impedire la coagulazione o la formazione di grumi. Proseguire la dissoluzione agitando per 1 h tra $(80 \text{ e } 85)$ °C per mezzo dell'agitatore. Controllare a occhio nudo che la dissoluzione sia completa. Se si distinguono ancora delle particelle gelatinose, ricominciare l'operazione con una nuova porzione di prova della resina. Raffreddare la soluzione fino a (25 ± 1) °C e diluire fino al segno con cicloesano alla medesima temperatura. Mescolare accuratamente la soluzione agitando.

Determinare la concentrazione reale della soluzione con accuratezza di $\pm 0,1$ %.

Se una massa di $(0,250 \pm 0,00025)$ g è prelevata e impiegata per preparare una soluzione di 50 ml come descritto sopra, il prospetto 1 può essere utilizzato per leggere la viscosità ridotta e il valore K partendo dal rapporto tra il tempo di scorrimento della soluzione e quello del solvente (denominato "rapporto di viscosità").

La soluzione può essere preparata secondo altri metodi, che consistono, per esempio, nell'aggiungere un volume misurato di solvente a una massa misurata della porzione di prova, a condizione che sia dimostrato che i valori della viscosità ridotta e il valore K così determinato siano equivalenti a quelli ottenuti con i metodi di preparazione della soluzione descritti sopra. Questi metodi alternativi di preparazione della soluzione richiedono quantità di solventi e porzioni di prova prelevate da determinarsi sperimentalmente e possono anche richiedere una compensazione causata da perdite di solvente per evaporazione durante il processo di dissoluzione.

Con le resine che hanno un valore K maggiore di 85, il rapporto del tempo di scorrimento della soluzione a quello del solvente supera il valore massimo di 2,0: ciò è contrario al requisito

specificato al punto 6.2 della ISO 1628-1:1998. Al fine di garantire l'uniformità delle prove per il PVC, questa non conformità deve essere ignorata e tutte le resine attualmente disponibili devono essere sottoposte a prova utilizzando la stessa massa della porzione di prova.

Determinazione del tempo di scorrimento

La temperatura del termostato deve essere regolata in modo che la temperatura effettiva, misurata dal termometro, sia compresa nell'intervallo $(25 \pm 0,5)$ °C. La temperatura misurata deve essere stabile a $\pm 0,05$ °C attorno alla temperatura a cui il termostato è stato regolato. Quando si riempie il viscosimetro, filtrare il solvente e la soluzione utilizzando un filtro ad imbuto o un imbuto di vetro e filtro di carta.

Precauzioni particolari devono essere prese per la pulizia del viscosimetro, pulizia che deve essere effettuata conformemente al procedimento descritto nella ISO 1628-1:1998, appendice A. Per una viscosità data, i tempi di scorrimento del solvente di riferimento (cicloesano) devono rimanere costanti entro 0,2 s. Con la soluzione, la misurazione di questo tempo di scorrimento deve essere ripetuta fino a che due misurazioni successive differiscano l'una dall'altra per meno dello 0,25%. Scartare sempre la prima lettura del tempo di scorrimento.

AVVERTENZA: Questo è un metodo manuale. Esistono delle apparecchiature di marca che effettuano automaticamente il riempimento del viscosimetro con la soluzione ed il solvente e la misurazione dei rispettivi tempi di scorrimento. L'utilizzo di queste apparecchiature è incluso nello scopo e campo di applicazione della presente parte della ISO 1628 a condizione che il metodo automatizzato permetta di rispettare la totalità delle operazioni e i controlli descritti sopra.

ESPRESSIONE DEI RISULTATI

Viscosità ridotta

La viscosità ridotta l di ciascuna porzione di prova viene calcolata con l'equazione:

$$l = \frac{t - t_0}{t_0 c}$$

dove:

t e t_0 sono i tempi di scorrimento, in secondi, della soluzione e del solvente (rispettivamente);

c è la concentrazione della soluzione in grammi al millilitro.

Calcolare la viscosità ridotta l del campione di resina facendo la media di due risultati singoli ottenuti con le due determinazioni e arrotondandola al più vicino numero intero. Se le viscosità ridotte l determinate partendo da due determinazioni differiscono più del $\pm 0,4\%$ dal valore medio, devono essere rifiutati questi risultati e devono essere ripetute le determinazioni su due nuove porzioni di prova.

Se la concentrazione della soluzione è di $(5 \pm 0,005)$ g/l, è più conveniente leggere i valori di l nel prospetto 1, dove l è espresso in $(\text{m}^3/\text{kg}) * 10^{-3}$, cioè in millilitri al grammo, arrotondati al primo decimale.

Valore K

Calcolare il valore K di ciascuna porzione di prova con l'equazione:

$$K = \frac{1,5 \log \eta_r - 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2}{c} + 2 + 1,5 \log \eta_r\right) 1,5 \log \eta_r}}{150 + 300c} \times 1000$$

dove:

$\eta_r = \eta / \eta_0 = t / t_0$ è il rapporto di viscosità (tempo di scorrimento) della soluzione e del solvente;

t e t_0 sono i tempi di scorrimento, in secondi, della soluzione e del solvente (rispettivamente);

c è la concentrazione della soluzione in grammi al millilitro.

Calcolare il valore K del campione di resina facendo la media dei due valori K ottenuti in due determinazioni, esprimendo il risultato con un decimale. Se i valori K determinati partendo da due determinazioni differiscono più di $\pm 0,4\%$ dal valore medio, devono essere scartati questi risultati e devono essere ripetute le determinazioni su due nuove porzioni di prova.

Se la concentrazione della soluzione è di $(5 \pm 0,005)$ g/l, è più conveniente leggere il valore K nel prospetto 1 arrotondato al secondo decimale.

PRECISIONE

Le prove interlaboratori, eseguite utilizzando tre resine in 11 laboratori in quattro date differenti, hanno dato i risultati seguenti per lo scarto tipo di ripetibilità s_r (entro un medesimo laboratorio) e per lo scarto tipo della riproducibilità S_R (tra diversi laboratori):

	Valore K		
	Circa 50	Circa 70	Circa 90
s_r	0,132	0,115	0,120
S_R	0,420	0,291	0,495

	Viscosità ridotta		
	Circa 61	Circa 124	Circa 227
s_r	0,313	0,458	0,742
S_R	0,984	1,202	3,042

prospetto 1

Conversione del rapporto di viscosità (VR) in viscosità ridotta (I) e valore K

Unità per viscosità ridotta: $(m^3/kg) \times 10^{-3}$ cioè ml/g

Concentrazione della resina in soluzione = 5 g/ml

VR	I	K	VR	I	K	VR	I	K
1,195	39,0	39,74	1,237	47,4	44,02	1,279	55,8	47,87
1,196	39,2	39,85	1,238	47,6	44,12	1,280	56,0	47,95
1,197	39,4	39,95	1,239	47,8	44,22	1,281	56,2	48,04
1,198	39,6	40,06	1,240	48,0	44,31	1,282	56,4	48,13
1,199	39,8	40,17	1,241	48,2	44,41	1,283	56,6	48,21
1,200	40,0	40,27	1,242	48,4	44,50	1,284	56,8	48,30
1,201	40,2	40,38	1,243	48,6	44,60	1,285	57,0	48,38
1,202	40,4	40,49	1,244	48,8	44,69	1,286	57,2	48,47
1,203	40,6	40,59	1,245	49,0	44,79	1,287	57,4	48,55
1,204	40,8	40,70	1,246	49,2	44,88	1,288	57,6	48,64
1,205	41,0	40,80	1,247	49,4	44,98	1,289	57,8	48,72
1,206	41,2	40,91	1,248	49,6	45,07	1,290	58,0	48,81
1,207	41,4	41,01	1,249	49,8	45,16	1,291	58,2	48,89
1,208	41,6	41,12	1,250	50,0	45,26	1,292	58,4	48,98
1,209	41,8	41,22	1,251	50,2	45,35	1,293	58,6	49,06
1,210	42,0	41,33	1,252	50,4	45,44	1,294	58,8	49,15

Sistemi di tubazioni e canalizzazioni di materia plastica. Tubi e raccordi di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U).

Preparazione del campione per la determinazione dell'indice di viscosità e per il calcolo del valore K

(UNI EN 922)

La presente normativa specifica un metodo per determinare l'indice di viscosità ed il valore K di una resina policloruro di vinile (PVC) ricavata da un tubo, un raccordo o una mescola. Viene descritto in dettaglio il metodo per isolare la resina PVC. È riportata un'equazione per il calcolo del valore K (secondo Fikentscher). In appendice sono riportati i valori K corrispondenti ad una serie di indici di viscosità per la resina PVC.

La presenza di altri polimeri oltre al PVC può invalidare l'intero metodo.

PRINCIPIO

La resina in PVC, contenuta in un campione preso da un tubo o una giunzione, viene separata dalla maggior parte degli additivi da una soluzione di *tetraidrofurano* (THF) e dalla precipitazione con *etanolo* di una porzione di soluzione che viene isolata mediante centrifugazione e decantazione.

La presenza di additivi nei composti per la formatura ad iniezione può influire sui risultati relativi a materiali usati nella formatura a iniezione per ottenere le giunzioni.

Se sono presenti altri polimeri solubili in THF e insolubili in etanolo, questo metodo non può essere utilizzato.

Il precipitato è usato per la stima dell'indice di viscosità e del valore K .

REAGENTI PER L'ISOLAMENTO DELLA RESINA IN PVC

Tetraidrofurano (THF) stabilizzato.

Metanolo (CH₃OH).

APPARECCHIATURA PER L'ISOLAMENTO DELLA RESINA IN PVC

Contenitore di vetro di capacità di almeno 100 ml;

Agitatore magnetico;

Becher di vetro di 600 ml (grande);

Filtro a imbuto;

Carta per filtro da laboratorio, in grado di trattenere i polimeri precipitati;

Centrifuga con canali da centrifuga, con 50 ml di capacità del canale;

Essiccatore nel vuoto;

Bagno d'acqua, se necessario.

Pipetta Pasteur.

PROCEDIMENTO

Isolamento della resina in PVC

Prendere circa 2 g di PVC (2,5 g se la quantità di additivo è alta), tagliare, se necessario, da un tubo o un raccordo e dissolvere in circa 50 ml di THF in un contenitore di vetro agitando.

La reazione dovrebbe essere lenta e scaldata con cautela in un bagno d'acqua.

È importante che la resina in PVC sia completamente dissolta prima di procedere.

Trasferire la soluzione in un canale di centrifuga e centrifugare per circa 40 min.

Travasare la parte di soluzione di THF libera da impurità, se necessario usando la pipetta Pasteur, nel becher di vetro, senza l'aggiunta di alcun riempitivo.

Nel becher, far precipitare il polimero con una cauta aggiunta di metanolo, agitando, finché per ogni parte di soluzione di THF non siano state aggiunte 10 parti di metanolo.

Filtrare la sospensione utilizzando una carta filtrante e bagnare il precipitato con metanolo.

Trasferire il polimero precipitato (ma non la carta filtrante) in una coppa e far seccare per almeno 12 h in un essiccatore da vuoto a 50 °C.

Determinazione dell'indice di viscosità

Determinare e registrare l'indice di viscosità, in ml/g, in accordo con quanto già detto nella precedente norma, utilizzando (0,2510 ± 0,0002) g di resina con una soluzione di cicloesano, come già detto nella precedente norma.

Calcolo del valore K

Calcolare il valore *K* servendosi della seguente equazione:

$$K = \frac{1,5 \lg \frac{t_s}{t_0} - 1 + \left[1 + \left(402 + 1,5 \lg \frac{t_s}{t_0} \right) 1,5 \lg \frac{t_s}{t_0} \right]^{0,5}}{151,5} \times 1000,$$

dove:

t_s è il tempo di scorrimento della soluzione;

t_0 è il tempo di scorrimento del solvente.

Questi tempi sono in accordo con quanto già detto nella norma precedente.

Precisione

Il metodo consente di determinare il valore *K* con un'accuratezza di ± 2.

APPENDICE A (informativa): VALORI *K* PER RESINE IN PVC E LORO RELAZIONI CON

L'INDICE DI VISCOSITÀ

Per le resine in PVC, il valore *K* secondo Fikentscher viene calcolato con l'equazione precedentemente vista in questa norma.

Per convenienza vengono forniti nella seguente tabella i valori *K* corrispondenti agli indici di viscosità compresi fra 60 ml/g e 178 ml/g, per una soluzione contenente 5 g di resina/l.

Table A.1 Viscosity numbers and corresponding K-values (for 5 g PVC resin/per litre solution in cyclohexanone)					
Viscosity number ml/g	K-value	Viscosity number ml/g	K-value	Viscosity number ml/g	K-value
60	49,6	100	63,5	140	73,8
62	50,5	102	64,1	142	74,3
64	51,3	104	64,7	144	74,7
66	52,1	106	65,2	146	75,1
68	52,8	108	65,8	148	75,6
70	53,6	110	66,3	150	76,0
72	54,3	112	66,9	152	76,5
74	55,1	114	67,4	154	76,9
76	55,8	116	67,9	156	77,3
78	56,5	118	68,5	158	77,7
80	57,2	120	69,0	160	78,1
82	57,9	122	69,5	162	78,5
84	58,5	124	70,0	164	78,9
86	59,2	126	70,5	166	79,3
88	59,8	128	71,0	168	79,7
90	60,5	130	71,5	170	80,1
92	61,1	132	71,9	172	80,5
94	61,7	134	72,4	174	80,9
96	62,3	136	72,9	176	81,3
98	62,9	138	73,3	178	81,7

Sistemi di tubazioni di materia plastica - Tubi, raccordi e materiali di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Metodo di valutazione del contenuto di PVC in base al contenuto totale di cloro (UNI EN 1905)

La norma descrive un metodo per calcolare il contenuto di PVC in una composizione da stampaggio o estrusione o anche in un prodotto finito (tubo, raccordo) a base di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) tenendo conto di eventuali cariche e additivi e di altri polimeri clorurati.

Se il materiale contiene, o si suppone che possa contenere, PVC-C (cioè polivinilcloruro clorato) o PE-C (polietilene clorato), viene calcolato un contenuto apparente di PVC.

PRINCIPIO

Viene fatta una stima sul contenuto di PVC, tenendo conto della presenza di additivi o cariche (come altri polimeri, se possibile), attraverso un calcolo basato sulla determinazione del contenuto di cloro.

PROVINI

Essi devono esser presi da campioni di tubo o raccordo o materiale.

PROCEDIMENTO

Determinazione del contenuto di cloro

Determinare il contenuto di cloro m_{Cl} in accordo con la norma ISO 1158, o con altri metodi analitici che danno risultati equivalenti (esempio i metodi che usano analisi a infrarossi o analisi a raggi X).

Calcolo del contenuto di PVC o del contenuto apparente di PVC

Calcolare il contenuto di PVC, o il contenuto apparente di PVC, in percentuale di massa, m_v , servendosi della seguente equazione:

$$m_v = \frac{m_{Cl}}{56,8} \times 100$$

dove

m_{Cl} è il contenuto di cloro espresso in percentuale di massa.

Se il materiale in analisi contiene PVC-C, PE-C o polimeri liberi da cloro, il contenuto di PVC calcolato può deviare dall'effettivo contenuto di PVC.

Determinazione del contenuto di additivi o cariche

Determinare il contenuto di additivi, in percentuale di massa, m_f , in accordo con la norma ISO 3451-5, o con altri metodi analitici che portano a risultati equivalenti (esempio i metodi che usano analisi a infrarossi o analisi a raggi X).

Validazione della composizione

Verificare la validità dei valori m_v e m_f calcolando la somma dei contenuti di PVC, cariche e additivi, M , in percentuale di massa, utilizzando l'equazione seguente:

$$M = m_v + m_f + 2$$

dove:

m_v è il contenuto di PVC;

m_f è il contenuto di additivo o carica.

Viene assunto che la somma equivalente di additivi incorporati (come pigmenti, stabilizzanti e lubrificanti) sia di almeno il 2% in massa.

Se $M \geq 97\%$, calcolare il contenuto di PVC m_v , in percentuale di massa, servendosi dell'equazione:

$$m_v = 100 - (m_f + 2)$$

In questo caso possono essere presenti PVC-C o miscele di PVC-C/ABS; queste miscele non hanno un effetto dannoso sui prodotti in PVC e quindi vengono inclusi come PVC-U.

Se $M < 97\%$, il materiale può contenere uno o più dei seguenti componenti:

- PE-C in gran quantità;
- altri polimeri liberi da cloro;
- additivi in eccesso del 2% in massa.

Se non sono presenti additivi per più del 2% in massa o polimeri addizionali diversi dal PE-C, calcolare i contenuti di PVC, m_v , e di PE-C, m_e , seguendo e risolvendo contemporaneamente le seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} m_E + m_v + m_f + 2 &= 100 \\ 0,37m_E + 0,57m_v &= m_{Cl^*} \end{aligned}$$

dove:

m_{Cl^*} è il contenuto di cloro, in percentuale di massa delle parti polimeriche, calcolato usando la seguente equazione:

$$m_{Cl^*} = m_{Cl} \times \frac{100}{100 - m_f}$$

Se sono presenti additivi per più del 2% o altri polimeri, assumere il contenuto di PVC uguale al contenuto apparente di PVC.

Tubi e raccordi di polietilene ad alta densità (PE ad). Resistenza chimica nei confronti dei fluidi.

(UNI ISO/TR 7474)

I quattro prospetti della presente norma riassumono i dati contenuti in varie tabelle di resistenza chimica del polietilene ad alta densità (PE ad), attualmente in uso in vari Paesi, e derivate sia dall'esperienza pratica sia dai risultati di prove.

Il prospetto I contiene una valutazione della resistenza chimica per un certo numero di fluidi, che sono giudicati aggressivi o no, nei confronti del PE ad. Questa valutazione è basata su valori ottenuti per immersione di provette di PE ad nei fluidi interessati a 20°C e 60°C e a pressione atmosferica, seguita in certi casi dalla determinazione delle caratteristiche a trazione.

I prospetti II, III e IV contengono elenchi di questi stessi fluidi raggruppati secondo la possibilità di impiego del PE ad al loro contatto e senza pressione.

Una successiva classificazione sarà stabilita nei confronti di un numero ristretto di fluidi ritenuti tecnicamente o commercialmente importanti, usando apparecchiature che permettano di effettuare prove sotto pressione e di determinare il coefficiente di resistenza chimica per ciascun fluido. Tali prove forniranno così più complete indicazioni sull'uso di tubi di PE ad per il trasporto di determinati fluidi, anche sotto pressione.

La presente norma stabilisce una classificazione provvisoria della resistenza chimica del PE ad nei confronti di circa 180 fluidi.

Essa è intesa a dare direttive generali sulla possibile utilizzazione di tubi di PE ad per il trasporto di fluidi:

- a temperature fino a 20 e 60°C;
- in assenza di pressione interna e di sollecitazioni meccaniche esterne (per esempio sforzi a flessione, sforzi dovuti a spinte e ai carichi rotolanti).

DEFINIZIONI, SIMBOLI E ABBREVIAZIONI

I criteri di classificazione, le definizioni, i simboli e le abbreviazioni adottati nella presente norma sono i seguenti:

S = soddisfacente

La resistenza chimica del PE ad esposto all'azione di un fluido è classificata "soddisfacente" quando i risultati delle prove sono riconosciuti soddisfacenti dalla maggioranza dei Paesi partecipanti alla valutazione.

L = limitata

La resistenza del PE ad esposto all'azione di un fluido è classificata "limitata" quando i risultati delle prove sono riconosciuti limitati dalla maggioranza dei Paesi partecipanti alla valutazione. Sono anche classificate limitate le resistenze all'azione dei fluidi chimici per i quali i giudizi S e NS oppure S e L sono ripartiti in parti uguali.

NS = non soddisfacente

La resistenza chimica del PE ad esposto all'azione di un fluido è classificata "non soddisfacente" quando i risultati delle prove sono considerati come non soddisfacenti dalla maggioranza dei Paesi partecipanti alla valutazione. Sono anche classificate non soddisfacenti le resistenze all'azione dei fluidi chimici per i quali i giudizi L e NS sono ripartiti in parti uguali.

Sol. sal. = Soluzione acquosa satura, preparata a 20°C;

Sol. = Soluzione acquosa di concentrazione maggiore del 10%, ma non satura;

Sol. dil. = Soluzione acquosa diluita di concentrazione minore o uguale al 10%;

Conc. lav. = Concentrazione di lavoro, cioè la concentrazione abituale di soluzione acquosa per utilizzazione industriale.

Le concentrazioni indicate sono espresse come percentuali in massa.

Le soluzioni acquose dei prodotti chimici debolmente solubili sono considerate, per quanto riguarda la loro azione sul PE ad, come soluzioni sature.

Nel prospetto I della presente norma le caratteristiche di resistenza (S, L, NS) sono riportate alla destra di ciascun fluido, ma sono da considerare come relative al PE ad e non ai fluidi.

In ogni tabella dei seguenti prospetti sono sottolineate le sostanze più conosciute e che più facilmente possiamo trovare in acquedotti o fognature in PEAD.

Prospetto I - Resistenza chimica del PE ad, non sottoposto a sollecitazioni meccaniche,
a fluidi diversi, a 20 e 60 °C

Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura	
		20 °C	60 °C
Acetato (vedere al nome dell'acetato)			
Acetica, aldeide	100%	S	L
Acetica, anidride	100%	S	L
Acetico, acido glaciale	> 96%	S	L
Acetico, acido	10%	S	S
<u>Aceto</u>		<u>S</u>	<u>S</u>
Acetone	100%	L	L
Acido (vedere al nome dell'acido)			
<u>Acqua</u>		<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Acqua di cloro</u>	Sol. sat.	L	NS
<u>Acqua ossigenata</u>	30%	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Acqua ossigenata</u>	90%	<u>S</u>	<u>NS</u>
<u>Acqua regia</u>	HCl/HNO ₃ = 3/1	<u>NS</u>	<u>NS</u>
Adipico, acido	Sol. sat.	S	S
Alcole (vedere al nome dell'alcole)			
Allilico, alcole	96%	S	S
Allume	Sol.	S	S
Alluminio cloruro	Sol. sat.	S	S
Alluminio fluoruro	Sol. sat.	S	S
Alluminio solfato	Sol. sat.	S	S
Amile acetato (1-pentanolo acetato)	100%	S	L
Amilico, alcole (1-pentanolo)	100%	S	L
<u>Ammoniaca (gas)</u>	100%	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Ammoniaca (liquefatta)</u>	100%	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Ammoniaca (soluzione)</u>	Sol. dil.	<u>S</u>	<u>S</u>
Ammonio cloruro	Sol. sat.	S	S
Ammonio fluoruro	Sol.	S	S
Ammonio nitrato	Sol. sat.	S	S
Ammonio solfato	Sol. sat.	S	S
Ammonio solfuro	Sol.	S	S
Anidride (vedere al nome dell'anidride)			
Anilina	100%	S	L
Antimonio (III) cloruro	90%	S	S
Argento acetato	Sol. sat.	S	S
Argento cianuro	Sol. sat.	S	S
Argento nitrato	Sol. sat.	S	S
Arsenico, acido	Sol. sat.	S	S
Bario carbonato	Sol. sat.	S	S
Bario cloruro	Sol. sat.	S	S
Bario idrossido	Sol. sat.	S	S
Bario solfato	Sol. sat.	S	S
Benzaldeide	100%	S	L
Benzene	100%	L	L
<u>Benzina (idrocarburi alifatici)</u>		<u>S</u>	<u>L</u>
Benzoico, acido	Sol. sat.	S	S
<u>Birra</u>		<u>S</u>	<u>S</u>
Borace	Sol. sat.	S	S
Borico, acido	Sol. sat.	S	S
Bromidrico, acido	50%	S	S
Bromidrico, acido	100%	S	S
Bromo (liquido)	100%	NS	NS
Bromo (vapori secchi)	100%	NS	NS
<u>Butano (gas)</u>	100%	<u>S</u>	<u>S</u>
Butilici, alcoli (butanoli)	100%	S	S
Butirrico, acido	100%	S	L
<u>Calcio carbonato</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Calcio clorato	Sol. sat.	S	S
Calcio cloruro	Sol. sat.	S	S
<u>Calcio idrossido</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Calcio ipoclorito	Sol.	S	S
Calcio nitrato	Sol. sat.	S	S

(segue)

(seguito del prospetto)			
Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura	
		20 °C	60 °C
<u>Calcio solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Calcio solfuro	Sol. dil.	L	L
<u>Carbonica, anidride (secca)</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Carbonio, ossido</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Carbonio, solfuro	100%	L	NS
Carbonio, tetracloruro	100%	L	NS
<u>Cianidrico, acido</u>	<u>10%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Cicloesano	100%	S	S
Cicloesanone	100%	S	L
<u>Citrico, acido</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Cloridrato (vedere al nome del cloridrato)			
<u>Cloridrico, acido</u>	<u>10%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Cloridrico, acido</u>	<u>Conc.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Cloro acetico, acido (mono)	Sol.	S	S
<u>Cloro (gas) secco</u>	<u>100%</u>	<u>L</u>	<u>NS</u>
<u>Cloroformio</u>	<u>100%</u>	<u>NS</u>	<u>NS</u>
Cresilici (metil-benzoici), acidi	Sol. sat.	L	-
Cromico, acido	20%	S	L
Cromico, acido	50%	S	L
Decalina (decaidronaftalina)	100%	S	L
Destrina	Sol.	S	S
Diossano	100%	S	S
Diottilftalato	100%	S	L
Eptano	100%	S	NS
Etandiolo (vedere Glicole etilenico)			
<u>Etanolo (vedere Etilico, alcole)</u>			
Etile acetato	100%	S	NS
<u>Etilico, alcole</u>	<u>40%</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
Etilico, etere (dietyl-etero)	100%	L	-
Fenolo	Sol.	S	S
<u>Ferro (II) cloruro</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Ferro (II) solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Ferro (III) cloruro</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Ferro (III) nitrato</u>	<u>Sol.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Ferro (III) solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Fluoridrico, acido</u>	<u>4%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Fluoridrico, acido</u>	<u>60%</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
<u>Fluoridrico, acido</u>	<u>100%</u>	<u>L</u>	<u>NS</u>
Fluoro	100%	NS	NS
Fluosilicico, acido	40%	S	S
<u>Formaldeide</u>	<u>40%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Formico, acido</u>	<u>50%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Formico, acido</u>	<u>98 a 100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Fosforico orto, acido</u>	<u>50%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Fosforico orto, acido</u>	<u>95%</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
Fosforo tricloriguro	100%	S	L
Furfurilico, alcole	100%	S	L
<u>Glicerina</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Glicole etilenico	100%	S	S
Glicolico, acido	Sol.	S	S
<u>Glucosio</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Idrochinone	Sol. sat.	S	S
<u>Idrogeno</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Idrogeno perossido (vedere Acqua ossigenata)</u>			
<u>Idrogeno solforato</u>	100%	S	S
<u>Latte</u>		<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Lattico, acido</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>

(segue)

(seguito del prospetto)

Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura	
		20 °C	60 °C
<u>Lievito</u>	<u>Sol.</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
Magnesio carbonato	Sol. sat.	S	S
Magnesio cloruro	Sol. sat.	S	S
Magnesio idrossido	Sol. sat.	S	S
Magnesio nitrato	Sol. sat.	S	S
Maleico, acido	Sol. sat.	S	S
Melassa	Conc. lav.	S	S
<u>Mercurio</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Mercurio (I) nitrato	Sol.	S	S
Mercurio (II) cianuro	Sol. sat.	S	S
Mercurio (II) cloruro	Sol. sat.	S	S
Metanolo (vedere Metilico, alcole)			
Metile cloruro	100%	L	-
Metilene cloruro	100%	NS	NS
<u>Metilico, alcole</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Nichel cloruro	Sol. sat.	S	S
Nichel nitrato	Sol. sat.	S	S
Nichel solfato	Sol. sat.	S	S
Nicotinico, acido	Sol. dil.	S	-
<u>Nitrico, acido</u>	<u>25%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Nitrico, acido</u>	<u>50%</u>	<u>L</u>	<u>NS</u>
<u>Nitrico, acido</u>	<u>75%</u>	<u>NS</u>	<u>NS</u>
<u>Nitrico, acido</u>	<u>100%</u>	<u>NS</u>	<u>NS</u>
<u>Oleico, acido</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
<u>Oli e grassi</u>	<u>---</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
<u>Oli minerali</u>	<u>---</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
Ossalico, acido	Sol. sat.	S	S
<u>Ossigeno</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>L</u>
<u>Ozono</u>	<u>---</u>	<u>L</u>	<u>NS</u>
Picrico, acido	Sol. sat.	S	-
Piombo acetato	Sol. sat.	S	-
Piridina	100%	S	L
Potassio bicarbonato	Sol. sat.	S	S
Potassio bicromato	Sol. sat.	S	S
Potassio bisolfato	Sol. sat.	S	S
Potassio bromato	Sol. sat.	S	S
Potassio bromuro	Sol. sat.	S	S
Potassio carbonato	Sol. sat.	S	S
Potassio cianuro	Sol.	S	S
Potassio clorato	Sol. sat.	S	S
Potassio cloruro	Sol. sat.	S	S
Potassio cromato	Sol. sat.	S	S
Potassio ferricianuro	Sol. sat.	S	S
Potassio ferrocianuro	Sol. sat.	S	S
Potassio fluoruro	Sol. sat.	S	S
Potassio fosfato (orto)	Sol. sat.	S	S
Potassio idrossido	10%	S	S
Potassio idrossido	Sol.	S	S
Potassio ipoclorito	Sol.	S	L
Potassio nitrato	Sol. sat.	S	S
Potassio perclorato	Sol. sat.	S	S
Potassio permanganato	20%	S	S
Potassio persolfato	Sol. sat.	S	S
Potassio solfato	Sol. sat.	S	S
Potassio solfito	Sol.	S	S
Potassio solfuro	Sol.	S	S
Propionico, acido	50%	S	S
Propionico, acido	100%	S	L

(segue)

(seguito del prospetto)

Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura	
		20 °C	60 °C
Rame (II) cloruro	Sol. sat.	S	S
Rame (II) nitrato	Sol. sat.	S	S
<u>Rame (II) solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Salicilico, acido</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Sodio benzonato	Sol. sat.	S	S
Sodio bicarbonato	Sol. sat.	S	S
Sodio bisolfito	Sol.	S	S
Sodio bromuro	Sol. sat.	S	S
<u>Sodio carbonato</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Sodio cianuro	Sol. sat.	S	S
Sodio clorato	Sol. sat.	S	S
<u>Sodio cloruro</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Sodio ferricianuro	Sol. sat.	S	S
Sodio ferrocianuro	Sol. sat.	S	S
Sodio fluoruro	Sol. sat.	S	S
Sodio fosfato (orto)	Sol. sat.	S	S
Sodio idrossido	40%	S	S
Sodio idrossido	Sol.	S	S
Sodio ipoclorito	15% di cloro	S	S
Sodio nitrato	Sol. sat.	S	S
Sodio nitrito	Sol. sat.	S	S
Sodio solfato	Sol. sat.	S	S
Sodio solfuro	Sol. sat.	S	S
<u>Solforica anidride</u>	<u>100%</u>	<u>NS</u>	<u>NS</u>
<u>Solforico, acido</u>	<u>10%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Solforico, acido</u>	<u>50%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Solforico, acido</u>	<u>98%</u>	<u>S</u>	<u>NS</u>
<u>Solforico, acido fumante (oleum)</u>		<u>NS</u>	<u>NS</u>
<u>Solforosa anidride (secca)</u>	<u>100%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Solforoso, acido</u>	<u>30%</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Stagno (II) cloruro</u>	<u>Sol. sat.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Stagno (IV) cloruro	Sol. sat.	S	S
<u>Sviluppatore fotografico</u>	<u>Conc. lav.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
Tannico, acido	Sol.	S	S
Tartarico, acido	Sol.	S	S
Tionile, cloruro	100%	NS	NS
<u>Toluene</u>	<u>100%</u>	<u>L</u>	<u>NS</u>
Tricloroetilene	100%	NS	NS
Trietanolammina	Sol.	S	L
<u>Urea</u>	<u>Sol.</u>	<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Urina</u>		<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Vino e spiritosi</u>		<u>S</u>	<u>S</u>
<u>Xilene</u>	<u>100%</u>	<u>L</u>	<u>NS</u>
Zinco carbonato	Sol. sat.	S	S
Zinco cloruro	Sol. sat.	S	S
Zinco ossido	Sol. sat.	S	S
Zinco solfato	Sol. sat.	S	S

Prospetto II – Fluidi di cui è ritenuto possibile il trasporto, senza pressione, fino a 60 °C per mezzo di tubi di PE ad che non subiscano sollecitazioni meccaniche

Reagente o prodotto	Concentrazione
<u>Aceto</u>	
Acido acetico	<u>10%</u>
<u>Acqua</u>	
Acqua ossigenata	<u>30%</u>
Adipico, acido	Sol. sat.
Allilico, alcoole	96%
Allume	Sol.
Alluminio cloruro	Sol. sat.
Alluminio fluoruro	Sol. sat.
Alluminio solfato	Sol. sat.
<u>Ammoniaca (gas)</u>	<u>100%</u>
Ammoniaca (liquida)	<u>100%</u>
<u>Ammoniaca (soluzione)</u>	<u>Sol. dil.</u>
Ammonio cloruro	Sol. sat.
Ammonio fluoruro	Sol.
<u>Ammonio nitrato</u>	<u>Sol. sat.</u>
Ammonio solfato	Sol. sat.
Ammonio solfuro	Sol.
Antimonio (III) cloruro	90%
Argento acetato	Sol. sat.
Argento cianuro	Sol. sat.
Argento nitrato	Sol. sat.
Arsenico, acido	Sol. sat.
Bario carbonato	Sol. sat.
Bario cloruro	Sol. sat.
Bario idrossido	Sol. sat.
Bario solfato	Sol. sat.
<u>Benzoico, acido</u>	<u>Sol. sat.</u>
<u>Birra</u>	
Borace	Sol. sat.
<u>Borico, acido</u>	<u>Sol. sat.</u>
Bromidrico, acido	50%
Bromidrico, acido	100%
<u>Butano (gas)</u>	<u>100%</u>
<u>Butilici alcoli (butanoli)</u>	<u>100%</u>
<u>Calcio carbonato</u>	<u>Sol. sat.</u>
Calcio clorato	Sol. sat.
Calcio cloruro	Sol. sat.
<u>Calcio idrossido</u>	<u>Sol. sat.</u>
Calcio ipoclorito	Sol.
Calcio nitrato	Sol. sat.
<u>Calcio solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>
<u>Carbonica anidride (secca)</u>	<u>100%</u>
<u>Carbonio ossido</u>	<u>100%</u>
<u>Cianidrico, acido</u>	<u>10%</u>
Cicloesano	100%
<u>Citrico, acido</u>	<u>Sol. sat.</u>
Cloridrico, acido	10%
<u>Cloridrico, acido</u>	<u>Conc.</u>
Cloro acetico, acido (mono)	Sol.
Destrina	Sol.
Diossano	100%
Etandiolo (vedere Glicole etilenico)	
<u>Fenolo</u>	<u>Sol.</u>
<u>Ferro (II) cloruro</u>	<u>Sol. sat.</u>
<u>Ferro (II) solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>
<u>Ferro (III) cloruro</u>	<u>Sol. sat.</u>
<u>Ferro (III) nitrato</u>	<u>Sol.</u>
<u>Ferro (III) solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>

(segue)

seguito del prospetto)

Reagente o prodotto	Concentrazione
<u>Fluoridrico, acido</u>	<u>4%</u>
Fluosilicico, acido	40%
<u>Formaldeide</u>	<u>40%</u>
<u>Formico, acido</u>	<u>50%</u>
Formico, acido	98 a 100%
<u>Fosforico, acido (orto)</u>	<u>50%</u>
<u>Glicerina</u>	<u>100%</u>
Glicole etilenico (etandiolo)	100%
Glicolico, acido	Sol.
<u>Glucosio</u>	<u>Sol. sat.</u>
Idrochinone	Sol. sat.
<u>Idrogeno</u>	<u>100%</u>
<u>Idrogeno solforato</u>	<u>100%</u>
<u>Latte</u>	
<u>Lattico, acido</u>	<u>100%</u>
<u>Lievito</u>	<u>Sol.</u>
Magnesio carbonato	Sol. sat.
Magnesio cloruro	Sol. sat.
Magnesio idrossido	Sol. sat.
Magnesio nitrato	Sol. sat.
Maleico, acido	Sol. sat.
Melassa	Conc. lav.
<u>Mercurio</u>	<u>100%</u>
Mercurio (II) cianuro	Sol. sat.
Mercurio (II) cloruro	Sol. sat.
Mercurio (I) nitrato	Sol.
Metanolo (vedere Metilico, alcole)	
<u>Metilico, alcole</u>	<u>100%</u>
Nichel cloruro	Sol. sat.
Nichel nitrato	Sol. sat.
Nichel solfato	Sol. sat.
<u>Nitrico, acido</u>	<u>25%</u>
Ossalico, acido	Sol. sat.
Potassio bicarbonato	Sol. sat.
Potassio bicromato	Sol. sat.
Potassio bisolfato	Sol. sat.
Potassio bisolfito	Sol.
Potassio bromato	Sol. sat.
Potassio bromuro	Sol. sat.
Potassio carbonato	Sol. sat.
Potassio cianuro	Sol.
Potassio clorato	Sol. sat.
Potassio cromato	Sol. sat.
Potassio ferricianuro	Sol. sat.
Potassio ferrocianuro	Sol. sat.
Potassio fluoruro	Sol. sat.
Potassio fosfato (orto)	Sol. sat.
Potassio idrossido	10%
Potassio idrossido	Sol.
Potassio nitrato	Sol. sat.
Potassio perclorato	Sol. sat.
Potassio permanganato	20%
Potassio persolfato	Sol. sat.
Potassio solfato	Sol. sat.
Potassio sulfuro	Sol.
Propionico, acido	50%
Rame (II) cloruro	Sol. sat.
Rame (II) nitrato	Sol. sat.

(segue)

(seguito del prospetto)

Reagente o prodotto	Concentrazione
Rame (II) solfato	Sol. sat.
<u>Salicilico, acido</u>	<u>Sol. sat.</u>
Sodio benzoato	Sol. sat.
<u>Sodio bicarbonato</u>	<u>Sol. sat.</u>
Sodio bisolfito	Sol.
Sodio bromuro	Sol. sat.
<u>Sodio carbonato</u>	<u>Sol. sat.</u>
Sodio cianuro	Sol. sat.
Sodio clorato	Sol. sat.
<u>Sodio cloruro</u>	<u>Sol. sat.</u>
Sodio ferricianuro	Sol. sat.
Sodio ferrocianuro	Sol. sat.
Sodio fluoruro	Sol. sat.
Sodio fosfato (orto)	Sol. sat.
<u>Sodio idrossido</u>	<u>40%</u>
<u>Sodio idrossido</u>	<u>Sol.</u>
<u>Sodio ipoclorito</u>	15% di cloro
Sodio nitrato	Sol. sat.
Sodio nitrito	Sol. sat.
<u>Sodio solfato</u>	<u>Sol. sat.</u>
Sodio solfuro	Sol. sat.
<u>Solforico, acido</u>	<u>10%</u>
<u>Solforico, acido</u>	<u>50%</u>
<u>Solforosa anidride (secca)</u>	<u>100%</u>
<u>Solforoso, acido</u>	<u>30%</u>
Stagno (II) cloruro	Sol. sat.
Stagno (III) cloruro	Sol. sat.
<u>Sviluppatore fotografico</u>	<u>Conc. lav.</u>
Tannico, acido	Sol.
Tartarico, acido	Sol.
<u>Urea</u>	Sol.
<u>Urina</u>	
<u>Vino e spiritosi</u>	
Zinco carbonato	Sol. sat.
Zinco cloruro	Sol. sat.
Zinco ossido	Sol. sat.
Zinco solfato	Sol. sat.

Prospetto III - Fluidi di cui è ritenuto possibile il trasporto, senza pressione, fino a 20 °C
per mezzo di tubi di PE ad che non subiscano sollecitazioni meccaniche

Reagente o prodotto	Concentrazione
<u>Acetaldeide</u>	<u>100%</u>
Acetica, anidride	100%
Acetico, acido glaciale	> 96%
<u>Acqua ossigenata</u>	<u>90%</u>
Amile acetato (1-pentanololo acetato)	100%
Amilico alcole (1-pentanololo)	100%
Anilina	100%
<u>Benzaldeide</u>	<u>100%</u>
<u>Benzina (idrocarburi alifatici)</u>	<u>100%</u>
<u>Butirrico, acido</u>	<u>100%</u>
Cicloesano	100%
Cromico, acido	20%
Cromico, acido	50%
Decalina	100%
Diottilftalato	100%
<u>Eptano</u>	<u>100%</u>
Etanolo (vedere Etilico, alcole)	
Etile acetato	100%
Etilico, alcole (etanolo)	40%
<u>Fluoridrico, acido</u>	<u>60%</u>
<u>Fosforico, acido (orto)</u>	<u>95%</u>
Fosforo triclorigo	100%
Furfurilico, alcole	100%
Nicotinico, acido	Sol. dil.
<u>Oleico, acido</u>	<u>100%</u>
<u>Oli e grassi</u>	<u>100%</u>
<u>Oli minerali</u>	<u>100%</u>
<u>Ossigeno</u>	<u>100%</u>
Picrico, acido	Sol. sat.
Piombo acetato	Sol. sat.
Piridina	100%
Potassio ipoclorito	Sol.
Propionico, acido	100%
<u>Solforico, acido</u>	<u>98%</u>
Trietanolamina	Sol.

Prospetto IV – Fluidi di cui non è ritenuto possibile il trasporto, per mezzo di tubi di PE ad

Reagente o prodotto	Concentrazione
<u>Acqua di cloro</u>	Sol. sat.
<u>Acqua regia</u>	HCl/HNO ₃ = 3/1
<u>Bromo (liquido)</u>	<u>100%</u>
<u>Bromo (vapori secchi)</u>	<u>100%</u>
Carbonio solfuro	100%
Carbonio tetracloruro	100%
<u>Cloro (gas) secco</u>	<u>100%</u>
<u>Cloroformio</u>	<u>100%</u>
Cresilici (metil-benzoici), acidi	Sol. sat.
<u>Fluoro</u>	<u>100%</u>
Metilene cloruro	100%
<u>Nitrico, acido</u>	<u>50%</u>
<u>Nitrico, acido</u>	<u>75%</u>
<u>Nitrico, acido</u>	<u>100%</u>
<u>Ozono</u>	
<u>Solfonica anidride</u>	100%
<u>Solfonico, acido fumante (oleum)</u>	<u> </u>
Tionile cloruro	100%
<u>Toluene</u>	<u>100%</u>
Tricloroetilene	100%
<u>Xilene</u>	<u>100%</u>

***Sistemi di tubazioni di materia plastica - Tubi di polietilene (PE) -
Metodo di prova per la resistenza alla pressione interna dopo
applicazione di schiacciamento.***

(UNI EN 12106)

La presente norma specifica un metodo per la determinazione della resistenza alla pressione interna di tubi di polietilene (PE) dopo che sono stati sottoposti a un procedimento di schiacciamento.

PRINCIPIO

Un tubo di polietilene (PE), condizionato a 0°C, viene schiacciato tra due barre a sezione circolare parallele disposte ad angolo retto rispetto all'asse centrale del tubo, in una posizione mediana tra le estremità del tubo. Lo schiacciamento è tolto dopo un appropriato periodo di tempo. Il tubo è quindi sottoposto ad una prova di resistenza idrostatica a 80°C.

In certi Paesi la tecnica di schiacciamento è usata per ridurre il flusso dei fluidi in sistemi di tubazioni di polietilene mentre si effettuano lavori di manutenzione e riparazione. La prova qui descritta può essere usata per verificare gli effetti dello schiacciamento sulla resistenza dei tubi. Si presume che i seguenti parametri di prova siano stabiliti dalla norma che a questa fa riferimento:

- a) il diametro e la serie del tubo da sottoporre a prova;
- b) il numero delle provette;
- c) i parametri per la prova di resistenza idrostatica a 80°C.

APPARECCHIATURA

Attrezzatura di schiacciamento, comprendente un dispositivo di carico a compressione costituito dalla combinazione di una barra fissa e una barra mobile, in un telaio concepito per resistere alle forze generate dall'azione di schiacciamento.

Ciascuna barra deve avere una sezione trasversale circolare con una rigidità sufficiente ad assicurare una separazione costante tra le barre, in tutta la loro lunghezza, nel corso dello

schacciamento. Le barre devono avere il medesimo diametro, non minore del valore minimo indicato nel prospetto 1.

La barra mobile può essere azionata idraulicamente o meccanicamente per ottenere il livello di schacciamento da applicare, dato nel prospetto 1.

Devono essere predisposti mezzi per la misurazione e il mantenimento dello spostamento della barra entro $\pm 0,2$ mm del livello, L , di schacciamento richiesto durante la fase di schacciamento.

Apparecchio di condizionamento della temperatura, in grado di ottenere e di mantenere la temperatura della provetta (prima dello schacciamento) a $(0 \pm 1,5)^\circ\text{C}$.

Attrezzatura di prova dei tubi, conforme alla EN 921:1994, comprendente gli elementi seguenti:

- a) impianto di pressurizzazione;
- b) contatempo;
- c) vasca piena d'acqua o altro liquido per l'immersione delle provette, mantenuta a $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$;
- d) tappi di chiusura delle estremità del tipo a).

prospetto 1 **Livelli di schacciamento**

Diametro esterno nominale d_n	Diametro minimo della barra mm	Livello di schacciamento L % ¹⁾
$d_n \leq 63$	25,0	80
$63 < d_n \leq 250$	38,0	80
$250 < d_n \leq 630$	50,0	90

1) Il livello di schacciamento, L , è il rapporto percentuale della distanza, in millimetri, tra le barre di schacciamento e il doppio dello spessore di parete minimo specificato del tubo, e_{\min} , in millimetri.

PROVETTE

Preparazione

La provetta deve essere un tubo avente una lunghezza libera minima, tra i tappi di estremità di qualsiasi tipo, di 250 mm o di 6 volte il diametro esterno nominale, d_n , del tubo, secondo il valore maggiore (quindi nel nostro caso avremo come provetta un tubo di lunghezza di $500 \text{ mm} * 6 = 3 \text{ m}$).

Il diametro e la serie del tubo devono essere specificati nella norma di riferimento.

Per le prove di pressione la provetta deve essere chiusa con tappi di estremità del tipo a).

Numero

Il numero delle provette deve essere quello specificato nella norma di riferimento.

PROCEDIMENTO

Calcolare la distanza finale, e_q , che deve essere applicata tra le barre di schiacciamento, in millimetri, con l'equazione seguente:

$$e_q = 0,02L \times e_{min}$$

dove:

e_{min} è lo spessore di parete minimo specificato per il tubo;

L è il livello di schiacciamento conforme al prospetto 1.

Nel nostro caso pratico abbiamo che:

$e_{min} = 29,5$ mm;

$L = 90$ (vedere prospetto 1 sopra);

pertanto, risolvendo l'equazione precedente, otterremo:

$e_q = 0,02 * 90 * 29,5$ mm = 53,1 mm (distanza finale tra le barre di schiacciamento).

Condizionare il tubo a 0°C per una durata almeno uguale a quella richiesta dalla EN 921:1994 per l'appropriato spessore della parete del tubo. Nessun fluido di condizionamento usato deve influenzare le caratteristiche della provetta.

Posizionare la provetta tra le barre di schiacciamento situate ad angolo retto rispetto alla linea centrale del tubo e a metà tra le sue estremità. Usando una velocità di chiusura della barra mobile tra 25 mm/min e 50 mm/min, schiacciare a temperatura ambiente non maggiore di 25°C fino alla distanza e_q , calcolata, entro il seguente intervallo di tempo dopo l'estrazione della provetta dall'ambiente di condizionamento:

- a) 90 s per $d_n \leq 110$;
- b) 180 s per $110 < d_n \leq 250$;
- c) 300 s per $d_n > 250$ (come nel nostro caso).

Mantenere il livello di schiacciamento per una durata di (60 ± 5) min. Immediatamente dopo trascorso tale tempo, diminuire progressivamente la forza di schiacciamento, in modo che lo schiacciamento applicato dalle barre sia completamente tolto entro 1 min.

Preparare la provetta per la determinazione della resistenza idrostatica a 80°C in accordo con la EN 921:1994 ed eseguire tale prova impiegando la pressione, la durata della prova e i criteri di cedimento specificati nella norma di riferimento.

Dopo la prova, ispezionare la provetta e registrare la posizione e il tipo di ogni eventuale cedimento, quando è il caso.

Tubi di polietilene a bassa densità (PEBD). Metodi di prova. (UNI 7991)

La presente norma stabilisce i metodi di prova per la determinazione delle caratteristiche che devono avere i tubi di polietilene a bassa densità.

Per i tipi, le dimensioni e i requisiti dei tubi per condotte in pressione, si veda UNI 7990.

Le prove considerate nella presente norma (vedere prospetto in tabella a seguire) si distinguono in:

- prove non distruttive, che comprendono le determinazioni di cui al gruppo A;
- prove distruttive, che comprendono le determinazioni di cui al gruppo B.

PROVETTE

Forma, dimensioni e numero

Le provette devono essere costituite, secondo i casi, da tubi nella lunghezza originale oppure da parti di tubo (spezzoni e settori) e/o da giunti.

Forma, dimensioni, condizionamento e numero di provette per effettuare le prove sono indicate nel prospetto seguente.

Gruppo	Numero d'ordine	Prova	Provetta	Numero provette	Condizionamento provette	Condizioni ambientali di prova*
A	1	Esame dell'aspetto (vedere 4.1)	Tubo nella lunghezza originale	—	—	Qualunque
	2	Dimensioni (vedere 4.2)	Tubo nella lunghezza originale	—	—	Qualunque
	3	Tenuta idraulica a pressione interna dei tubi e/o giunti (vedere 4.3)	Tubo nella lunghezza originale e/o tratto di condotta comprendente almeno un giunto	—	—	Qualunque
B	4	Tensioni interne (vedere 4.4)	Per $D \leq 355$ mm: spezzone di lunghezza 145 ± 150 mm Per $D > 355$ mm: settore di sviluppo arco 50 ± 1 mm ritagliato in direzione longitudinale ad intervalli angolari di 72° da uno spezzone di tubo di lunghezza 145 ± 150 mm**	5	2 h a 23 ± 2 °C a umidità ambiente	Qualunque
	5	Resistenza a pressione interna a 20 °C (vedere 4.5)	Spezzone con lunghezza utile di $3D + 250$ mm	5	1 h nel bagno termostatico a 20 ± 1 °C	Qualunque
	6	Resistenza a pressione interna a 70 °C (vedere 4.5)			1 h nel bagno termostatico a 70 ± 1 °C	Qualunque
<p>* Per condizioni ambientali qualunque si intendono quelle non influenzate da agenti esterni diretti.</p> <p>** Nel caso di tubi in rotoli, prelevare lo spezzone all'estremità libera del rotolo.</p>						

Preparazione

I tubi nella lunghezza originale devono essere sottoposti tal quali alle prove, salvo eventuale sbavatura delle sezioni terminali.

Gli spezzoni devono essere ricavati per taglio alla fresa o alla sega perpendicolarmente all'asse del tubo. Le sezioni terminali devono essere convenientemente sbavate.

I settori devono essere ricavati da spezzoni con taglio lungo due generatrici.

CONDIZIONAMENTO DELLE PROVETTE

Il condizionamento preventivo delle provette e le condizioni ambientali di prova sono riportati nel prospetto precedentemente visto.

PROVE

Esame dell'aspetto

Le provette devono essere esaminate a vista nei riguardi:

- dello stato della superficie esterna ed interna, con riferimento alla levigatezza (superficie liscia, leggermente o mediamente o fortemente ruvida), alla presenza di ondulazioni o striature ed altri eventuali difetti;
- dello stato della sezione, con riferimento alla presenza di bolle o di cavità.

Dimensioni

Le dimensioni devono essere controllate con strumenti atti a conseguire una precisione di:

5 mm per la misura delle lunghezze;

0,1 mm per la misura delle circonferenze;

0,05 mm per la misura dei diametri;

0,01 mm per la misura degli spessori.

Lo spessore deve essere controllato con un micrometro centesimale con tastatore sferico avente raggio di 4 mm.

Tenuta idraulica a pressione interna dei tubi e/o dei giunti

La prova deve essere effettuata:

- su tubo in rotoli;
- su tratto di condotta in opera, comprendente almeno un giunto.

Gli elementi sui quali si deve effettuare la prova devono essere posti sotto pressione interna per mezzo di un fluido, generalmente acqua, nelle condizioni ambientali. Il valore della pressione da mantenere durante la prova è di 1,5 volte la pressione di esercizio; esso deve essere raggiunto in circa 30 s e mantenuto per un tempo non minore di 2 min.

Controllare se si manifestano perdite, deformazioni localizzate ed altre eventuali irregolarità.

Tensioni interne

Scopo

Lo scopo della prova è di rilevare le variazioni dimensionali delle provette, dopo loro immersione per almeno 30 min in glicole etilenico a $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Apparecchiatura

L'apparecchiatura è costituita da:

- un recipiente contenente glicole etilenico, ad un livello sufficiente ad assicurare la completa immersione della provetta, mantenuto alla temperatura di prova per mezzo di regolazione termostatica;
- un panierino metallico a fondo piano forato, dal quale si dipartono piuoli verticali per mantenere in posizione ad asse verticale le provette ricavate da tubi di $D \leq 355$ mm. Le provette, costituite da settori ricavati da tubi di $D > 355$ mm (come nel nostro caso), devono essere invece appoggiate sul fondo del panierino con la concavità rivolta in alto. Il panierino deve essere munito di maniglie atte a sospenderlo nel recipiente di cui sopra a conveniente altezza dal fondo.

Procedimento

Per $D \leq 355$ mm, dopo condizionamento di 2 h a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, si misura la lunghezza della provetta lungo due generatrici opposte (le quali devono essere contrassegnate per poter ripetere la misura lungo le medesime dopo la prova), assumendo come valore della lunghezza la media delle due misure.

La prova va effettuata su 5 provette costituite da spezzoni di tubo, che devono essere poste nel panierino in posizione verticale; quindi il panierino viene immerso in glicole etilenico a $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ per almeno 30 min. Successivamente si estrae il panierino e si lascia raffreddare a temperatura ambiente per almeno 4 h senza toccare le provette. Si ripetono poi le misure di cui sopra, determinandone la media e calcolandone la variazione percentuale rispetto alla media iniziale.

Per $D > 355$ mm (come nel nostro caso), dopo condizionamento di 2 h a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, si misura la lunghezza delle 5 provette lungo le rispettive generatrici mediane. Si pongono le provette nel panierino con la concavità rivolta verso l'alto e si opera come nel caso precedente.

Le variazioni percentuali così ottenute devono essere valutate separatamente.

Resistenza a pressione interna

Scopo

Scopo della prova è la determinazione della resistenza del tubo ad una pressione interna, corrispondente ad una sollecitazione prefissata, mantenuta costante nel tempo ed alla temperatura di 20°C e di 70°C, come indicato nel prospetto seguente.

Tipi di prova	Serie	Temperatura °C	Durata h	Tensione di prova	
				MPa	kgf/cm ²
Prova di accettazione	PE 25	20	1	7	70
	PE 32	20	1	8	80
Prova di tipo	PE 25	70	100	2,5	25
	PE 32	70	100	3	30

La pressione alla quale i tubi devono essere sottoposti per ottenere sul materiale la tensione di prova richiesta si ricava dalla formula seguente:

$$p = \frac{2 \sigma s}{D_{em} - s}$$

dove:

p è la pressione interna, in MPa;

σ è la tensione, in MPa;

s è lo spessore minimo misurato della provetta, in mm;

D_{em} è il diametro esterno medio della provetta, in mm.

Apparecchiatura

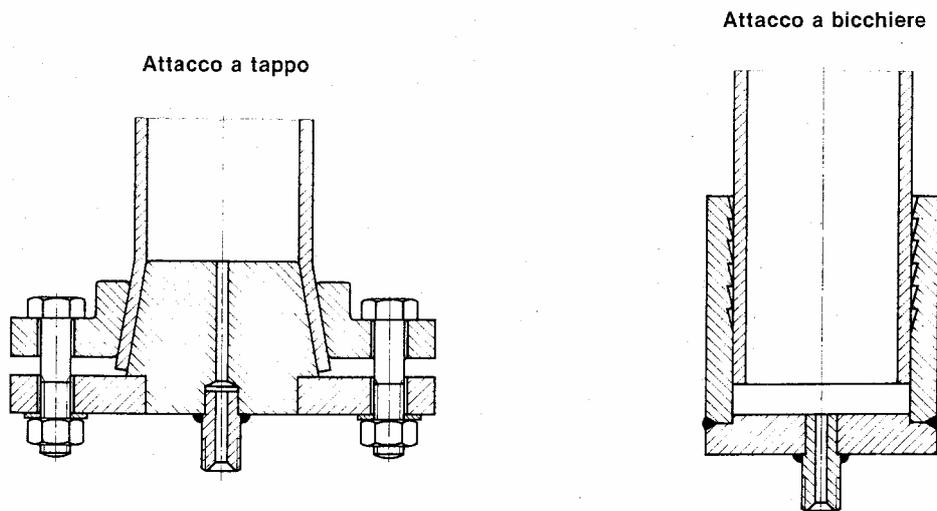
L'apparecchiatura comprende un dispositivo che permette di sottoporre le provette alla pressione interna e alla temperatura prescritta per ogni prova, dato che la pressione interna è stabilita per mezzo di acqua mantenuta sotto pressione d'aria.

Questo dispositivo deve essere provvisto di:

- un bagno di acqua dove sono immerse le provette, mantenuto alla temperatura di $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ o di $(70 \pm 1)^\circ\text{C}$ mediante regolazione termostatica;
- una serie di attacchi a tenuta, non collegati da tirante, per l'inserimento delle provette nel circuito in pressione (vedere esempi nelle figure seguenti). Con questi attacchi, montati liberamente alle estremità delle provette, si realizza, per effetto della pressione interna, anche una sollecitazione di

trazione assiale; l'attacco a bicchiere si può usare soltanto se il diametro esterno del tubo è molto prossimo a quello interno dell'attacco;

- un dispositivo capace di mantenere, durante tutta la prova, la pressione ai valori stabiliti con tolleranza di $\pm 2\%$;
- manometri che permettano una precisione di lettura dell'1%;
- contatemp per misurare la durata di applicazione della pressione fino a rottura delle provette o fino al tempo minimo prescritto;
- valvole di ritegno per escludere il circuito di pressione all'istante della rottura della provetta.



Procedimento

Per l'esecuzione della misura le provette devono essere inserite negli attacchi in modo che la lunghezza utile, esclusa la lunghezza di tubo utilizzata per il collegamento, corrisponda a quanto indicato nel prospetto iniziale, numeri d'ordine 5 e 6.

Effettuato il collegamento, le provette devono essere riempite completamente con acqua alla temperatura di prova prescritta, immerse nel bagno e lasciate per 1 h, finché il materiale acquista la temperatura del bagno, indi messe gradualmente in pressione (in un periodo da 10 s a 20 s) fino a raggiungere la pressione voluta.

La pressione deve essere mantenuta costante con tolleranza di $\pm 2\%$ in tutto il tempo di prova indicato nel secondo prospetto.

Si rileva, per ogni provetta, se la rottura si verifica prima del tempo prescritto.

Se una delle provette si rompe prima del tempo prescritto, la prova deve essere ripetuta su altre 5 provette. Solo se questa seconda serie di provette raggiunge il tempo prescritto, si deve ritenere

soddisfatta la prova. La prova si deve ritenere pertanto negativa quando nella prima serie si rompe più di una provetta e nella seconda serie si rompe anche una sola provetta.

Tubi di polietilene. Resistenza alla fessurazione sotto sforzo (stress-cracking) per effetto ambientale indotto da raccordi ad inserto.

(UNI 10207)

La presente norma descrive un metodo usato per individuare rapidamente i tubi che sono potenzialmente suscettibili allo “stress cracking” (cioè fessurazione sotto sforzo) e che non sono quindi idonei all’impiego con raccordi ad inserto, che li sottoporrebbero a sollecitazioni multiassiali.

La presente norma si applica a tubi di polietilene PE-25 e PE-32 (quindi non interessano il nostro caso di tubo in PE 100) quando vengono impiegati con raccordi ad inserto, come per esempio nelle derivazioni laterali di un impianto per irrigazione.

DEFINIZIONI

Raccordi ad inserto: Raccordi che afferrano il tubo solamente nella sua superficie interna e che provocano un aumento del diametro del tubo.

Stress-cracking: Termine anglosassone per indicare nelle materie plastiche il fenomeno di fessurazione sotto sforzo, ossia una rottura indotta in prodotti sotto tensione meccanica (interna o esterna) per effetto di agenti ambientali di tipo chimico (tensioattivi) o fisico (radiazioni).

PRINCIPIO DEL METODO

Sezioni di tubo vengono sottoposte ad un’alta concentrazione di sforzi provocata da una piegatura a U di 180° ed esposte ad un agente tensioattivo in ambiente a temperatura controllata. Dopo un periodo di tempo determinato le sezioni di tubo vengono esaminate per osservare se sono presenti rotture visibili.

Il metodo non riproduce esattamente le condizioni di sollecitazione provocate da un raccordo ad inserto, ma si è dimostrato, sperimentalmente, idoneo a verificarne gli effetti.

APPARECCHIATURA

Stufa a circolazione d’aria forzata, mantenuta a $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$, in grado di ripristinare la temperatura entro 5 min dall’introduzione delle provette. In alternativa si può usare anche un

bagno termostatico contenente il liquido, purché abbia la stessa capacità termica della stufa descritta prima.

REAGENTI

Un agente tensioattivo puro del tipo nonil-fenossi-polietilenossi-etanolo mantenuto in contenitore chiuso ed impiegato fresco per ogni prova. Se usato nel bagno, il reagente deve essere sostituito ogni settimana.

PROVETTE

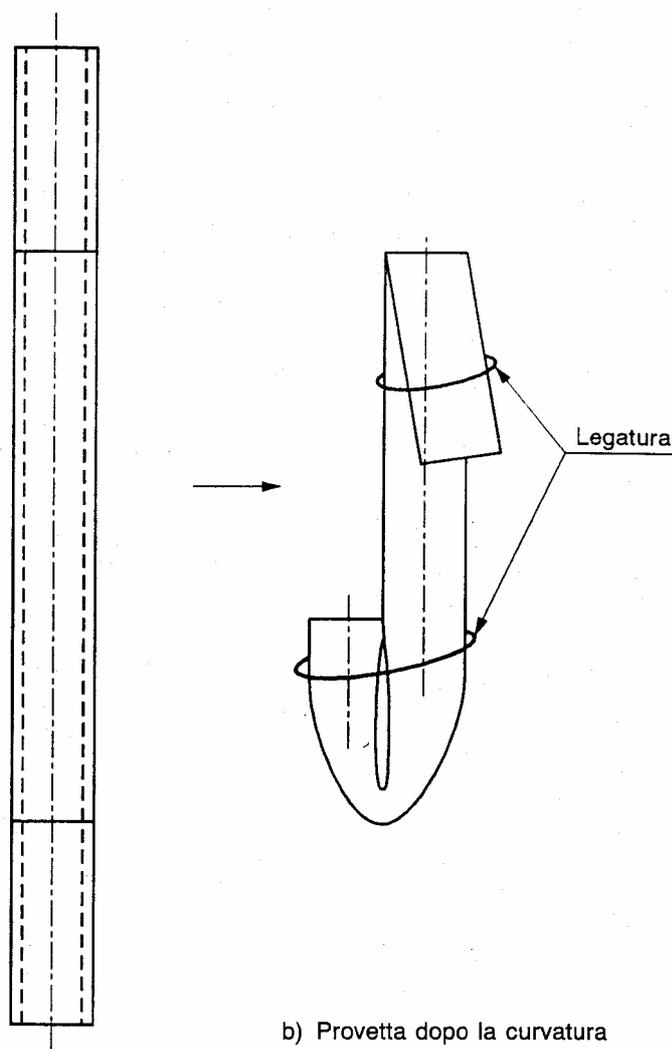
Le provette sono costituite da 5 spezzoni di tubo prelevati preferibilmente da differenti bobine (rotoli), ciascuno della lunghezza di 20 diametri.

Si possono usare lunghezze minori, ma con risultati incerti. Le provette devono essere prive di rotture preesistenti.

PROCEDIMENTO

Piegare ciascuna provetta ad U in due posizioni poste in due piani perpendicolari tra di loro (vedere figura seguente). Ciascuna piegatura viene portata al limite del contatto dei due lati piegati e paralleli e quindi viene assicurata da un anello o da una legatura per mantenerla nel corso della prova.

Le piegature devono essere situate ad una distanza di almeno 3 diametri dagli estremi della provetta.



b) Provetta dopo la curvatura
(pronta per la prova)

a) Provetta prima della curvatura

Figura — Preparazione della provetta

Ricoprire completamente ciascuna piegatura di reagente (per esempio con un pennello o per immersione) e porre quindi tutte le provette nella stufa, avendo cura di non indurvi altre tensioni (in alternativa le provette possono essere immerse nel bagno a temperatura costante).

Dopo 60 min dal ritorno della temperatura della stufa a $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, prelevare le provette e lavarne le piegature per liberarle dal reagente.

Esaminare visivamente a “occhio nudo” ciascuna piegatura in tutti i lati, per verificare se si presentano fessurazioni visibili (generalmente originate ai due estremi della piegatura).

INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Ciascuna piegatura che contenga almeno una fessurazione visibile (escluse le fessurazioni indotte dall'oggetto usato per assicurare la piegatura) viene classificata come "rotta". Viene annotato il numero totale delle piegature risultate rotte.

Ciascuna provetta comprende due piegature che devono essere contate separatamente.

RIPROVA

Se si presenta una sola fessurazione su 10 piegature, si ripete l'intero procedimento su altre 5 provette; nessuna piegatura di questa serie si deve rompere.

CRITERI DI ACCETTAZIONE

Il tubo supera la prova della presente norma se non si sono verificate fessurate più del 10% delle piegature esaminate (ossia 0 su 10 o un massimo di 2 su 20 provette).

Sistemi di tubazioni di materia plastica - Materiali e componenti di tubazioni di polietilene - Determinazione del contenuto di materia volatile

(UNI EN 12099)

La presente norma descrive un metodo per determinare il contenuto di materia volatile nel polietilene (PE) destinato alla produzione di tubi e raccordi per il trasporto di fluidi. Il metodo si applica sia al materiale destinato allo stampaggio e alla estrusione, sia a porzioni ricavate da prodotti finiti.

Questa norma specifica un metodo per determinare il contenuto di materiale volatile a 105 °C nei materiali e componenti di tubazioni in polietilene.

PRINCIPIO

Il metodo consiste nel determinare la perdita di massa del provino che è stato posto in un forno di essiccazione a una data temperatura.

APPARECCHIATURA

Forno di essiccazione o apparecchio equivalente, in grado di mantenere la temperatura a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ in posizione per la/e coppa/e.

Coppa cilindrica di vetro che misura la massa, con un diametro di 35 mm in grado di contenere il provino, coppa con un volume minimo di 50 ml e una calotta adatta.

Un essiccatore.

Una bilancia analitica o equivalente, in grado di misurare la massa al più vicino 0,1 mg.

PROVINO

Ogni provino dovrà contenere una porzione di circa 25 g di un campione rappresentativo del materiale prima dello stampaggio o prima dell'estrusione, se applicabile; oppure si dovrà tagliare, conformemente alla normativa standard di riferimento, sezionando verticalmente un tubo o un raccordo.

Il numero di provini è specificato nella normativa standard di riferimento.

PROCEDIMENTO

Pulire e far seccare la coppa per la misura della massa e fare lo stesso con la sua calotta finché non viene raggiunto un peso costante, poi porre entrambe nell'essiccatore per almeno 0,5 h a temperatura ambiente.

Caricare la coppa con una porzione di circa 25 g di campione rappresentativo e determinare la massa m_1 della coppa, della calotta e della porzione di campione al più vicino 0,1 mg.

Porre la coppa nella zona del forno di essiccazione che ha raggiunto $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Dopo un periodo di (65 ± 5) min togliere la coppa dal forno di essiccazione e porla nell'essiccatore per almeno 1 h a temperatura ambiente.

Coprire la coppa con la sua calotta. Il peso della coppa, della calotta e del materiale residuo, misurato al più vicino 0,1 mg, è detto massa m_2 .

CALCOLO

Calcolare il contenuto di materiale volatile m_v della porzione di provino utilizzando la seguente equazione:

$$m_v = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 10^6$$

dove:

m_v è il contenuto di materiale volatile in mg/kg a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$;

m_0 è la massa in g della coppa vuota e della sua calotta;

m_1 è la massa in g della coppa e della calotta più la porzione di campione;

m_2 è la massa in g della coppa e della calotta più il materiale residuo dopo 1 h a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Sistemi di tubazioni di materie plastiche. Sistemi di tubazioni di materiali termoplastici per lo scarico delle acque. Metodo di prova per la tenuta all'aria dei giunti.

(UNI EN 1054)

La presente norma specifica un metodo di prova per la tenuta all'aria di giunti di sistemi di tubazioni di materiali termoplastici per lo scarico delle acque usate all'interno dei fabbricati.

PRINCIPIO

Un assemblaggio di prova di tubi e/o raccordi è sottoposto a una determinata pressione interna d'aria per un dato periodo di tempo, durante il quale si verifica, per ispezione, la tenuta.

Si ammette che i parametri di prova seguenti siano stabiliti dalla norma che fa riferimento alla presente norma:

- a) la procedura di campionamento;
- b) il numero di provette.

APPARECCHIATURA

Dispositivi di chiusura delle estremità, aventi una dimensione e un sistema di chiusura adatti all'assemblaggio di giunti in prova. Tali dispositivi devono essere fissati in modo da non esercitare tensioni longitudinali sull'assemblaggio e da impedire che ne vengano staccati per effetto della pressione. La massa dei dispositivi non deve influenzare la deviazione angolare che si deve applicare (se ne parlerà poi nel paragrafo del procedimento).

Sorgente di pressione d'aria, collegata attraverso una valvola di chiusura ad una estremità di almeno uno dei dispositivi di chiusura e capace di mantenere la pressione richiesta entro $\pm 10\%$ (se ne parlerà poi nel paragrafo del procedimento).

Strumento di misurazione della pressione, capace di verificare la conformità della pressione di prova richiesta (se ne parlerà poi nel paragrafo del procedimento).

Dispositivi di adduzione e scarico di acqua, ciascuno collegato per mezzo di una valvola di chiusura ad almeno uno dei dispositivi di chiusura di estremità, per immettere acqua nella provetta fino all'appropriato livello (vedere figura 1).

PROVETTE

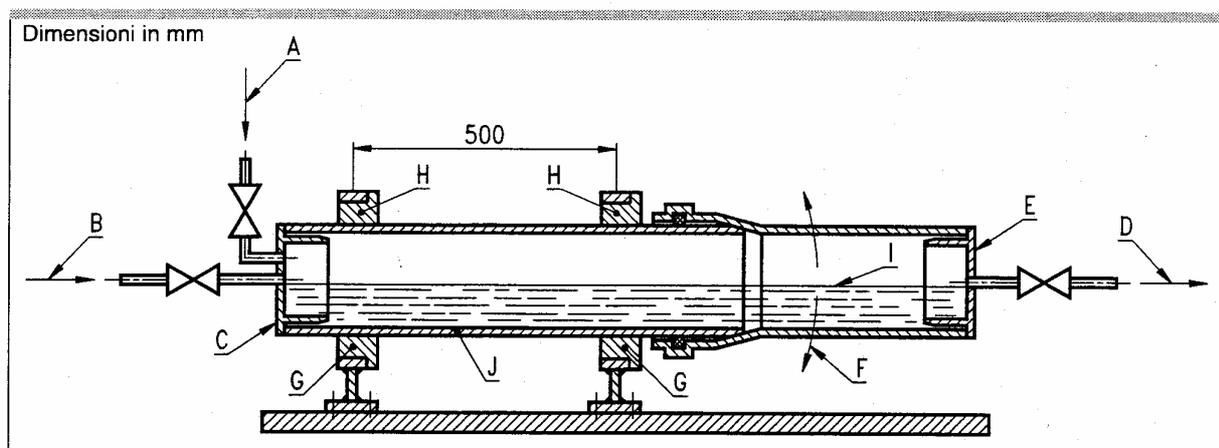
Preparazione

La provetta deve comprendere un assemblaggio di uno o più spezzoni di tubo (con o senza bicchieri) e/o raccordi; una parte della provetta deve essere un tubo o un raccordo con un'estremità maschio, montato in due boccole fisse (vedere figura 1).

figura 1 **Disposizione tipica**

Legenda

- A Ingresso dell'aria
- B Ingresso dell'acqua
- C Tappo di chiusura con gli ingressi dell'acqua e dell'aria e i mezzi di fissaggio
- D Scarico dell'acqua
- E Tappo di chiusura con lo scarico dell'acqua e i mezzi di fissaggio (vedere 3.1)
- F Direzione del movimento per la deviazione angolare, se è il caso (vedere 5.8)
- G Cuscinetti intercambiabili per permettere il montaggio di tutte le dimensioni di tubi sullo stesso dispositivo di prova
- H Punti fissi
- I Livello dell'acqua per la prova (metà del diametro interno del tubo)
- J Componente fissato



Un'estremità del tubo deve essere chiusa con un tappo munito degli ingressi dell'acqua e dell'aria. Un raccordo o un giunto deve essere assemblato con l'estremità aperta del componente fisso. Il raccordo o il giunto devono poi essere chiusi a tutte le estremità aperte con tappi, uno dei quali ha uno scarico dell'acqua, con valvola di chiusura, in posizione centrale (vedere figura 2).

L'assemblaggio del giunto (o dei giunti) deve essere effettuato secondo le istruzioni del fabbricante.

L'assemblaggio deve comprendere la combinazione del minimo valore del diametro esterno dell'estremità maschio e il massimo valore del diametro del bicchiere entro il pertinente intervallo di tolleranza, ottenuti nel campionamento secondo la norma di riferimento.

I diametri delle estremità maschio e dei bicchieri scelti devono essere misurati e registrati.

Numero

Il numero delle provette deve essere quello specificato nella norma di riferimento.

PROCEDIMENTO

Operare secondo il seguente procedimento, ad una temperatura ambiente di $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, usando acqua fredda di rubinetto.

Montare la provetta orizzontalmente nell'apparecchio (vedere figura 1).

Eseguendo la prova come spiegato nelle righe seguenti, osservare e registrare ogni perdita dal giunto, che è evidenziata dalla formazione di bolle di una soluzione di sapone o dalla fuoriuscita di acqua.

Applicare una soluzione di acqua saponata o un agente equivalente per rivelare le perdite intorno allo spazio anulare tra il codolo e l'imboccatura del bicchiere. Eliminare in seguito ogni eccesso di liquido gocciolante con uno straccio asciutto.

Aprire lo scarico dell'acqua e chiudere la valvola di ingresso dell'aria.

Aprire la valvola di ingresso dell'acqua. Quando l'assemblaggio è mezzo pieno, come viene indicato dalla fuoriuscita di acqua dallo scarico, chiudere prima la/e valvola/e di ingresso dell'acqua e successivamente quella/e di scarico.

Aprire la valvola di ingresso dell'aria e aumentare la pressione interna fino a $(0,1 \pm 0,01)$ bar $[(10 \pm 1)$ kPa] con aria alla temperatura ambiente.

Mantenere questa pressione per 5 min, quindi piegare manualmente il raccordo o giunto agendo sul codolo e sull'elemento fissato, fino a che i loro assi non raggiungano la loro massima deviazione angolare, secondo la dichiarazione del fabbricante per il giunto sottoposto a prova.

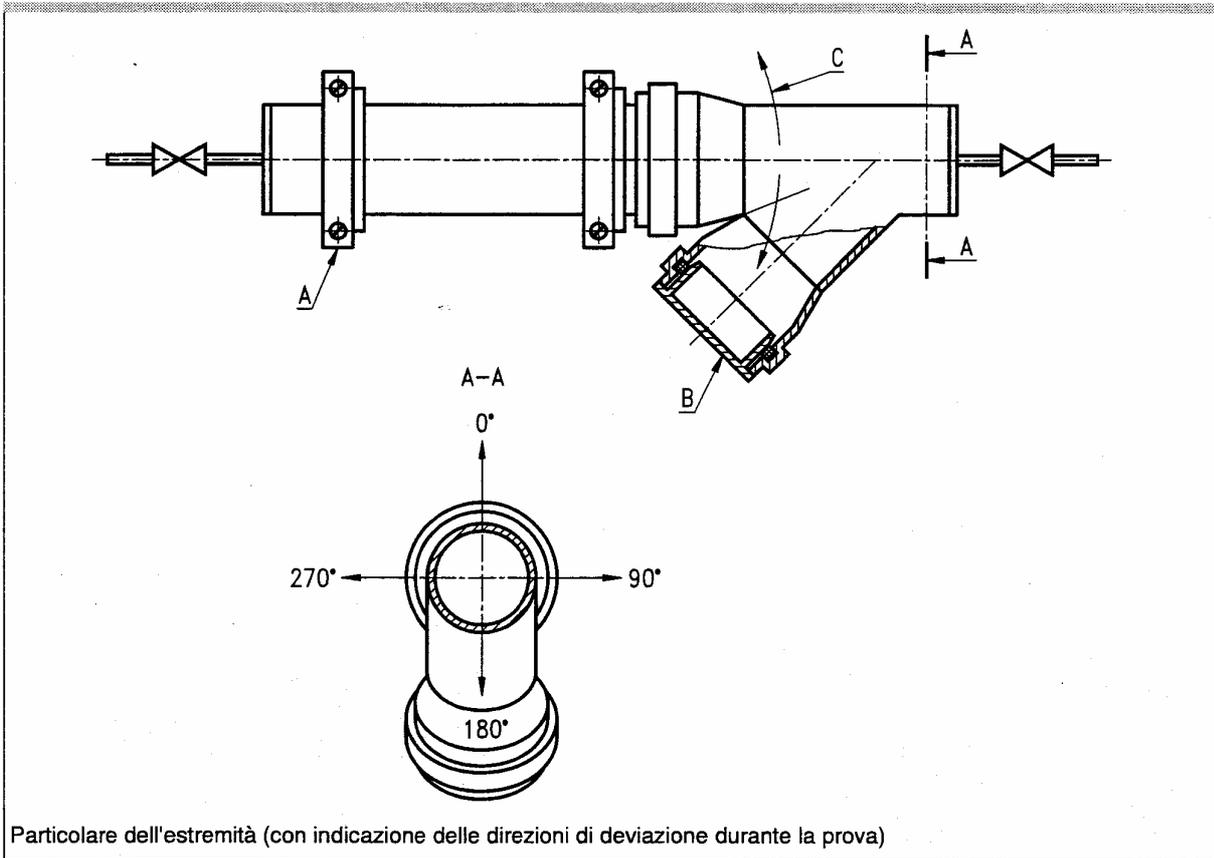
Applicare questa deviazione angolare a 0° , 90° , 180° e 270° (vedere figura 2), mantenendola per 1 min, in ciascuna di queste direzioni. Depressurizzare, svuotare e smontare la provetta.

Esaminare e registrare ogni cambiamento dell'aspetto dei componenti sottoposti alla prova.

figura 2 **Direzioni di deviazione**

Legenda

- A Fasce di fissaggio con viti di serraggio
- B Tappo di chiusura
- C Direzioni di movimento del raccordo durante la prova



Sistemi di tubazioni di materie plastiche. Sistemi di tubazioni di materiali termoplastici per applicazioni non in pressione. Metodo di prova per la tenuta all' acqua.

(UNI EN 1053)

La presente norma specifica un metodo di prova per la tenuta all'acqua di:

- a) giunti di tubazioni di materiale termoplastico per applicazioni senza pressione;
- b) prodotti costruiti con materiali termoplastici da più di un pezzo, per applicazioni senza pressione.

PRINCIPIO

Un assemblaggio di prova comprendente o un prodotto fabbricato o un assemblaggio di tubi e/o raccordi è assoggettato a una determinata pressione idrostatica interna per un dato periodo di tempo, durante il quale viene verificata la tenuta del prodotto fabbricato o del giunto per ispezione.

Si ammette che i parametri di prova seguenti siano stabiliti nella norma che fa riferimento alla presente norma:

- a) la procedura di campionamento;
- b) il numero di provette.

APPARECCHIATURA

Dispositivi di chiusura alle estremità, aventi una forma adatta al tipo di giunto in prova e un sistema di tenuta adatto. I mezzi di chiusura devono essere fissati in modo tale da non esercitare tensioni longitudinali sull'insieme del giunto e da non essere staccati per effetto della pressione. La massa dei dispositivi di chiusura non deve poter influenzare la deviazione angolare che si deve applicare.

Sorgente di pressione idrostatica, collegata ad uno (o ad almeno uno) dei dispositivi di chiusura alle estremità, in grado di applicare la pressione richiesta gradualmente e uniformemente e poi di mantenerla ad un valore costante tra +2% e -1% per la durata prescritta della prova.

Valvola di sfogo, capace di scaricare l'aria mentre si applica la pressione idrostatica alla provetta.

Strumento di misura della pressione, capace di verificare la conformità alla pressione di prova richiesta.

PROVETTE

Preparazione

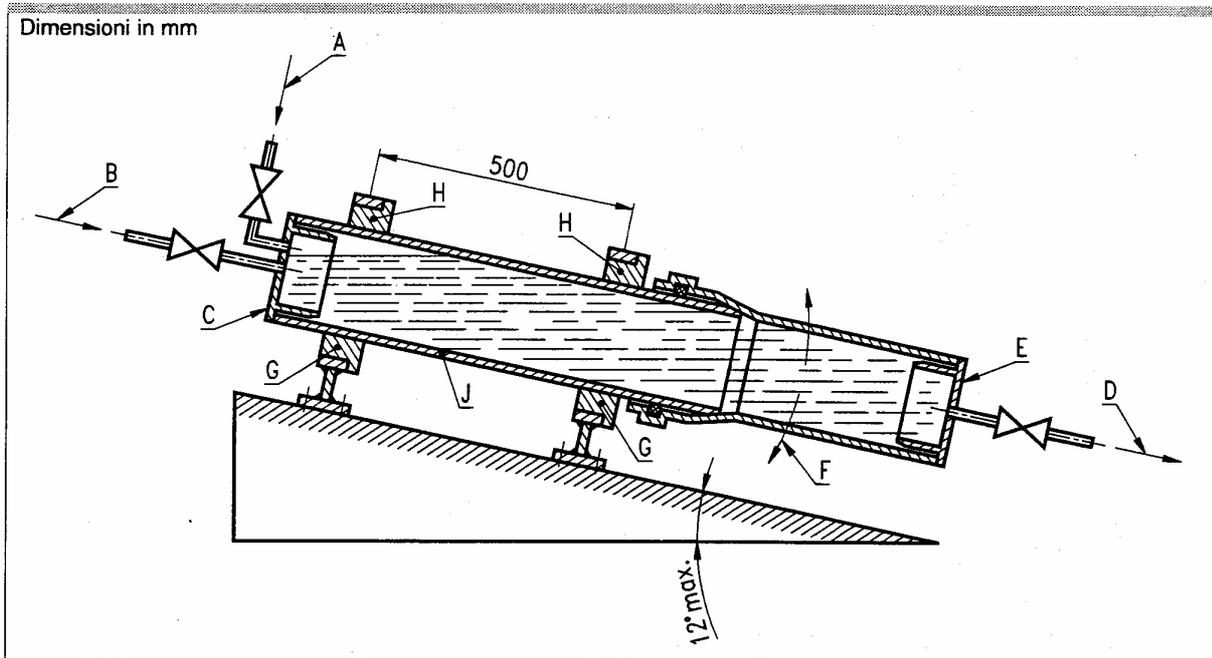
La provetta deve comprendere o un raccordo costituito o un assemblaggio di/uno spezzone/i di tubo (con o senza manicotti) e o raccordo/i, comprendente almeno un giunto del tipo sottoposto a prova (vedere figura 1).

Per favorire l'uscita dell'aria, la provetta può essere inclinata fino a 12° .

figura 1 **Disposizione tipica**

Legenda

- A Scarico dell'aria
- B Ingresso dell'acqua
- C Tappo di chiusura con dispositivi di entrata dell'acqua, di uscita dell'aria e di fissaggio
- D Scarico dell'acqua
- E Tappo di chiusura con uscita dell'acqua e fissaggio (vedere 3.1)
- F Direzione del movimento di inclinazione angolare, se è il caso (vedere 5.2)
- G Boccole con cuscinetti intercambiabili per permettere l'adattamento di tutte le dimensioni dei tubi allo stesso dispositivo di prova
- H Punti fissi
- J Componente fissato



L'assemblaggio del/i giunto/i deve essere eseguito secondo le istruzioni del fabbricante. Esso deve comprendere la combinazione dell'estremità maschio più piccola e del bicchiere più

grande, disponibili nell'intervallo di tolleranza e ottenuti per campionamento secondo la norma di riferimento.

I diametri delle estremità maschio e dei bicchieri devono essere misurati e registrati.

Numero

Il numero delle provette deve essere quello specificato nella norma di riferimento.

PROCEDIMENTO

Eeguire il seguente procedimento ad una temperatura ambiente di $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ usando acqua fredda di rubinetto, senza permettere la formazione di una condensa sulla superficie della provetta.

Montare la provetta sull'apparecchio. Se il giunto da sottoporre a prova permette uno spostamento angolare, disporre l'insieme in modo che il/i giunto/i sottoposto/i a prova sia/siano soggetto/i allo scarto angolare massimo tra gli assi dei pezzi accoppiati, dichiarato dal fabbricante.

Durante la prova osservare la provetta ed annotare ogni manifestazione di perdita.

Riempire la provetta con acqua eliminando l'aria e applicare la pressione idrostatica come segue:

- a) procedimento accelerato per prodotti fabbricati: se nella norma di riferimento non viene stabilito altrimenti, applicare una pressione idrostatica di 0,5 bar (50 kPa) e mantenerla per almeno 1 min;
- b) per assemblaggi di tubi e/o raccordi non fabbricati: applicare la pressione idrostatica uniformemente in un tempo massimo di 15 min fino a 0,5 bar (50 kPa) e mantenerla per almeno 15 min.

Depressurizzare, vuotare la provetta e smontarla. Esaminare i pezzi sottoposti alla prova ed annotare ogni cambiamento d'aspetto.

Tubi di materiale termoplastico - Determinazione della rigidità anulare

(UNI EN ISO 9969)

La presente norma descrive un metodo per la determinazione della rigidità anulare di tubi a sezione circolare di materiale termoplastico. La rigidità anulare viene determinata misurando la forza e la deformazione nel corso dell'ovalizzazione di un tubo con una velocità costante.

SIMBOLI

Ai fini della presente norma, si applicano i simboli:

d_n diametro nominale (mm);

d_i diametro interno (mm);

e_c altezza di costruzione (mm);

F forza di carico (kN);

L lunghezza del provino (mm);

p altezza (spessore) della scanalatura o del corrugamento di curvatura (mm);

S rigidità anulare (kN/m²);

y deformazione (deflessione) verticale (mm).

PRINCIPIO

La rigidità anulare viene determinata misurando la forza e la deflessione mentre viene deformato un tubo a una velocità di deformazione costante.

Uno spezzone di tubo supportato orizzontalmente viene compresso verticalmente tra due piastre piane e parallele mosse a una velocità costante che dipende dal diametro del tubo.

Viene creato un diagramma della forza in funzione della deformazione. Si calcola la rigidità anulare in funzione della forza necessaria a produrre una deformazione del 3% del diametro del tubo.

APPARECCHIATURA

Una macchina per la prova di compressione, capace di una velocità costante di movimento verticale, grazie a due piastre piane e parallele, velocità che sia appropriata al tipo di diametro

nominale del tubo in prova (conformemente ai dati in tabella 1). Il macchinario è dotato di una forza e una corsa sufficienti a produrre una specificata deformazione diametrale.

Table 1 — Deflection speeds

Nominal diameter, d_n of pipe mm	Deflection speed mm/min
$d_n \leq 100$	$2 \pm 0,1$
$100 < d_n \leq 200$	$5 \pm 0,25$
$200 < d_n \leq 400$	$10 \pm 0,5$
$400 < d_n \leq 710$	20 ± 1
$d_n > 710$	$0,03 \times d_n \pm 5 \% \bullet$

Osserviamo nella tabella che nel nostro caso (di tubo con diametro nominale di 500 mm) avremo bisogno di una velocità di deformazione di (20 ± 1) mm/min.

Due piastre rigide e dure, attraverso le quali la macchina di compressione può applicare la forza necessaria F al provino.

Le piastre devono essere piane, lisce e con superfici pulite per il contatto con il provino.

La rigidità e la durezza di ogni piastra dev'essere sufficiente a prevenire curvature o deformazioni di una certa entità, che potrebbero compromettere i risultati del test.

La lunghezza di ogni piastra dev'essere almeno uguale alla lunghezza del provino; la larghezza di ogni piastra non dev'essere inferiore alla larghezza della superficie di contatto con il provino mentre è sotto carico, maggiorata di 25 mm.

Dispositivi di misurazione dimensionale, in grado di determinare:

- i valori della lunghezza del provino con una precisione entro 1 mm;
- il diametro interno del provino, con un'accuratezza entro lo 0,5%;
- la variazione di diametro interno del provino in direzione del carico, con un'accuratezza entro 0,1 mm o entro l'1% della deformazione, considerando la maggiore tra le due.

Un esempio di dispositivo per la misurazione del diametro interno di un tubo corrugato è rappresentato nella figura 1:

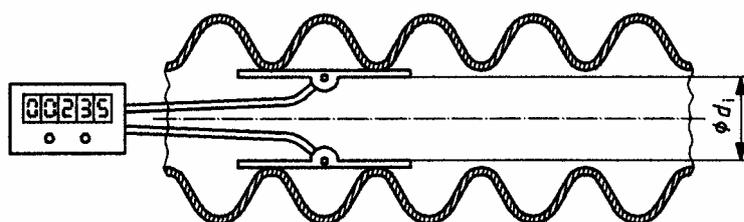


Figure 1 — Example of device for measuring inside diameter of corrugated pipe

Dispositivo di misurazione della forza, in grado di determinare con un'accuratezza entro il 2% la forza necessaria a produrre una deformazione del provino fino al 4%.

PROVINI

Numero

Abbiamo bisogno di tre provini, *a*, *b* e *c* provenienti dallo stesso tubo e sezionati perpendicolarmente al suo asse longitudinale.

Lunghezza dei provini

La lunghezza di ogni provino dev'essere determinata calcolando la media aritmetica di un numero di misure (che va da 3 a 6) della lunghezza equamente spaziate lungo il perimetro del tubo (come detto in tabella 2).

Ogni misurazione dev'essere fatta con un'accuratezza entro 1 mm.

Per ogni provino, la più piccola delle misure non dev'essere inferiore a 0,9 volte la più grande misura di lunghezza.

Table 2 — Number of length measurements

Nominal diameter, d_n , of pipe mm	Number of length measurements
$d_n \leq 200$	3
$200 < d_n < 500$	4
$d_n \geq 500$	6

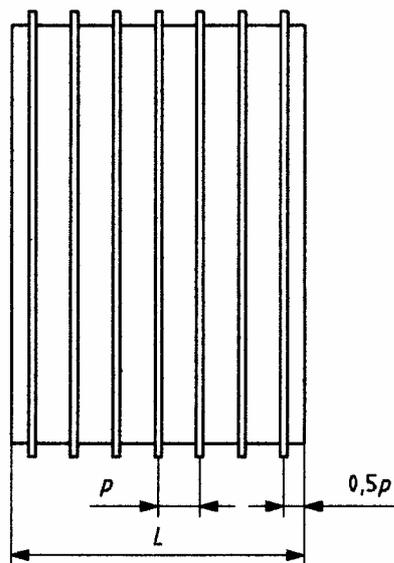
Osserviamo in tabella che nel nostro caso abbiamo bisogno di 6 misurazioni della lunghezza dei provini.

Per tubi aventi diametri nominali $d_n \leq 1500$ mm (come nel nostro caso) la lunghezza media dei provini dev'essere di (300 ± 10) mm.

Per tubi con diametri nominali $d_n > 1500$ mm la lunghezza media dei provini in millimetri dev'essere almeno $0,2 d_n$.

Le pareti del tubo che hanno scanalature perpendicolari al suo asse, corrugamenti o altre strutture regolari vanno sezionate in modo tale da ottenere un numero intero di scanalature, corrugamenti o altre strutture in ogni provino. Il taglio dev'essere fatto nel punto medio fra due scanalature, corrugamenti o fra due altre strutture regolari della parete del tubo.

La lunghezza dei provini dev'essere il minimo numero di scanalature, corrugamenti o altre strutture regolari risultante in una lunghezza di almeno 290 mm o, per tubi con diametri maggiori di 1500 mm, di almeno $0,2 d_n$.



Key

L test piece length

p pitch

Figure 2 — Test piece cut out of perpendicularly ribbed pipe

I tubi con pareti aventi scanalature elicoidali, corrugamenti o altre strutture regolari vanno tagliati in modo tale che la lunghezza dei provini sia uguale alla lunghezza del diametro interno

± 20 mm, ma non meno di 290 mm e non più di 1000 mm (nel nostro caso avremo dei provini di lunghezza (441 ± 20) mm).

Diametro interno dei provini

I diametri interni d_{ia} , d_{ib} e d_{ic} dei rispettivi provini a , b e c devono essere determinati come:

- media aritmetica di 4 misure a intervalli di 45° di una sezione trasversale sul punto medio della lunghezza; le misure devono essere eseguite con un'accuratezza entro lo 0,5 % ,
oppure
- misurati in corrispondenza della sezione trasversale sul punto medio della lunghezza, come medie fra misure ottenute con un nastro.

La media calcolata o misurata del diametro interno di ogni provino a , b e c dev'essere registrata come d_{ia} , d_{ib} e d_{ic} rispettivamente.

Il valore medio d_i di questi tre valori calcolati viene dato dalla seguente equazione:

$$d_i = \frac{d_{ia} + d_{ib} + d_{ic}}{3}$$

cioè è una media aritmetica fra d_{ia} , d_{ib} e d_{ic} .

Età dei provini

All'inizio del test l'età dei provini dev'essere di (21 ± 2) giorni.

CONDIZIONAMENTO

I provini devono essere condizionati con aria alla temperatura richiesta dal test (specificata nel prossimo paragrafo sul procedimento) per almeno 24 h immediatamente prima dell'inizio della prova.

PROCEDIMENTO

Il procedimento descritto a seguire dev'essere condotto a una temperatura di $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ o, nei Paesi in cui la temperatura standard usata nei laboratori è di 27°C , di $(27 \pm 2)^\circ\text{C}$.

È probabile che la temperatura del test eserciti una certa influenza sulla rigidità anulare, pertanto bisogna tener conto di questo fattore sul risultato finale.

Se si riesce a determinare in quale punto di carico il provino riporta la più bassa rigidezza anulare, porre il primo pezzo a in tale posizione all'interno del dispositivo di carico.

In caso contrario, porre il primo pezzo a contatto con la piastra superiore parallelamente ad essa.

Nel dispositivo di carico, ruotare gli altri due pezzi del test, b e c , rispettivamente di 120° e di 240° in relazione alla posizione del primo pezzo, mentre ogni pezzo viene messo nel suo apposito dispositivo di carico.

Per ogni pezzo del provino, fissare la misura di deformazione e controllare la posizione angolare del pezzo rispetto alla piastra superiore.

Posizionare il pezzo con il suo asse longitudinale parallelamente alle piastre e con il suo punto medio verticalmente sotto l'asse di carico.

Per ottenere una corretta lettura della deformazione attraverso l'elemento di carico, è necessario posizionare il pezzo in modo tale che la presunta forza risultante sia approssimativamente in linea con l'asse dell'elemento di carico.

Abbassare la piastra di carico finché essa non tocca la parte superiore del pezzo.

Applicare una delle seguenti forze di pre-carico, F_0 , arrotondate al più vicino intero valore in Newton:

- per tubi con diametro interno $d_i \leq 100$ mm, $F_0 = 7,5$ N (non è il nostro caso);
- per tubi con $d_i > 100$ mm, F_0 dev'essere calcolata con la formula a seguire, in Newton, e il risultato va arrotondato per eccesso, se necessario, al più vicino intero:

$$F_0 = 250 \times 10^{-6} d_n \times L$$

dove:

d_n è il diametro nominale del tubo, in millimetri;

L è l'effettiva lunghezza del pezzo, in millimetri.

Nel nostro caso, se assumiamo un pezzo di tubo lungo 300 mm ($L = 300$ mm), dato che abbiamo un diametro nominale $d_n = 500$ mm, il calcolo della forza di pre-carico risulterà:

$$F_0 = 250 * 10^{-6} * 500 * 300 = 37,5 \text{ N.}$$

La forza effettiva di pre-carico applicata deve avere un valore tra il 95% e il 105% della forza calcolata ($35,625 \text{ N} \leq F_0 \leq 39,375 \text{ N}$ nel nostro caso).

In seguito si deve azzerare il livello di deformazione.

Occorre comprimere il pezzo a una velocità costante in accordo con la tabella 1 sopra [nel nostro caso (20 ± 1) mm/min], mentre si registrano in modo continuo le misure della forza e della

deformazione (come spiegato nelle righe a seguire), fino a raggiungere una deformazione di almeno $0,03 d_i$ (cioè, nel nostro caso, di almeno $0,03 * 441 \text{ mm} = 13,23 \text{ mm}$).

Solitamente le misure della forza e della deformazione vengono fatte in modo continuo misurando lo spostamento di una delle piastre, ma, se durante il test l'altezza della parete del tubo (e_c) varia più del 5%, si deve creare un grafico forza/deformazione misurando la variazione del diametro interno del pezzo.

In caso di dubbio, va presa come riferimento la variazione di diametro interno.

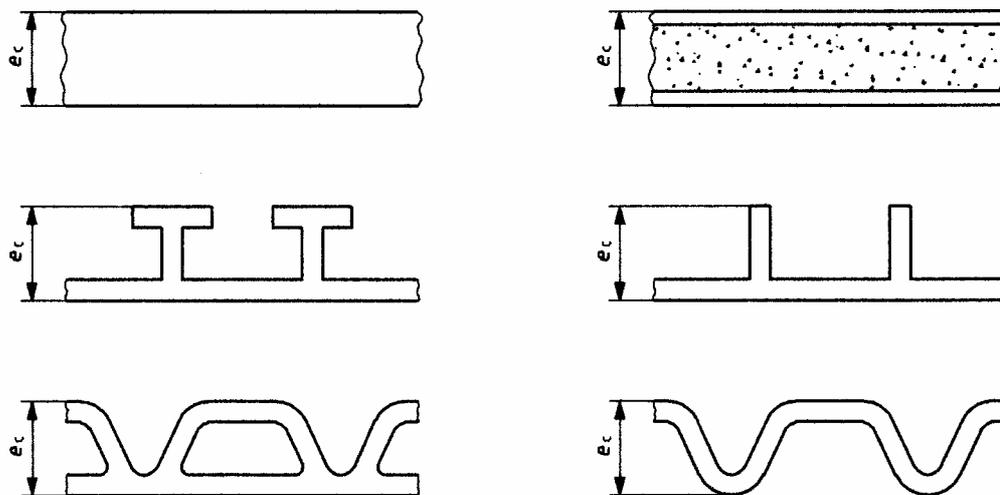
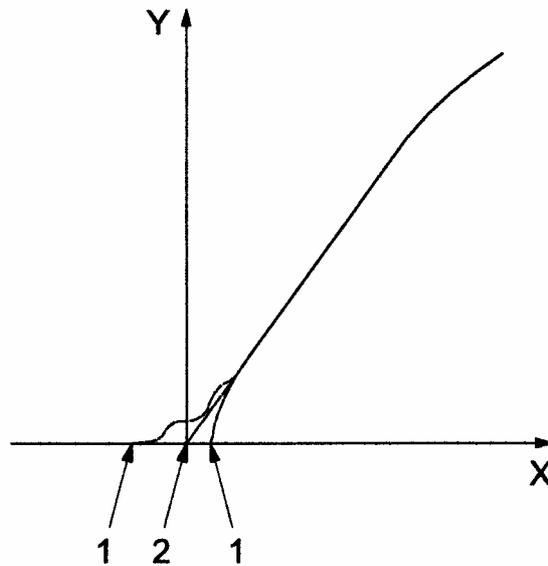


Figure 3 — Examples of the pipe wall construction height, e_c

Se il grafico forza/deformazione, che di solito è una retta, indica che il punto 0 può essere in errore (cioè se la curva non passa per l'origine degli assi), come mostrato nella figura a seguire, occorre prolungare all'indietro la porzione di linea retta più vicina all'origine in modo tale che questo prolungamento intersechi l'origine degli assi.



Key
 X deflection, y
 Y force, F
 1 apparent zero
 2 corrected zero

Figure 4 — Method of correcting origin

CALCOLO DELLA RIGIDEZZA ANULARE

Calcolare la rigidezza anulare S_a , S_b e S_c per ognuno dei tre pezzi (rispettivamente a , b e c), in kiloNewton/metro quadro, utilizzando le seguenti equazioni:

$$S_a = \left(0,0186 + 0,025 \frac{y_a}{d_i} \right) \frac{F_a}{L_a y_a} \times 10^6$$

$$S_b = \left(0,0186 + 0,025 \frac{y_b}{d_i} \right) \frac{F_b}{L_b y_b} \times 10^6$$

$$S_c = \left(0,0186 + 0,025 \frac{y_c}{d_i} \right) \frac{F_c}{L_c y_c} \times 10^6$$

dove:

F è la forza, in kN, che corrisponde al 3% della deformazione del tubo;

L è la lunghezza del pezzo di tubo, in mm;

y è la deformazione, in mm, che corrisponde al 3% della deformazione del tubo:

$$\frac{y}{d_i} = 0,03$$

(nel nostro caso $y = 0,03 * 441 \text{ mm} = 13,23 \text{ mm}$).

Calcolare la rigidità anulare del tubo, S , in kN/m^2 come la media aritmetica dei valori delle tre rigidità anulari calcolate (ognuna per ogni pezzo):

$$S = \frac{S_a + S_b + S_c}{3}$$

Sistemi di tubazioni e condotte di materie plastiche - Tubi di materiali termoplastici - Determinazione della flessibilità anulare (UNI EN 1446)

La presente norma specifica un metodo per provare la flessibilità anulare di un tubo di materiale termoplastico avente una sezione trasversale circolare.

Il metodo permette la determinazione della inflessione e della forza necessaria alla quale si verifica un eventuale danneggiamento fisico durante un'inflessione diametrale del 30%.

PRINCIPIO

La flessibilità anulare di un tubo viene determinata misurando la forza e l'inflessione durante la compressione di una sezione anulare ricavata dal tubo in direzione diametrale ad una velocità costante fino a quando si verifica un'inflessione di almeno il 30% o prima della rottura.

Ciascuna provetta è osservata durante la prova ed è successivamente ispezionata per cercare i segni di diversi tipi specifici di cedimento meccanico.

APPARECCHIATURA

Macchina per prove di compressione conforme a quella richiesta per la EN ISO 9969 (vista sopra), ma capace di produrre una inflessione diametrale di almeno il 30% della provetta alla velocità appropriata (vedere tabella 1 della EN ISO 9969).

Dispositivi per la rilevazione delle dimensioni e della forza, conformi a quelli richiesti dalla EN ISO 9969, ma capaci di misurare le inflessioni diametrali fino ad almeno il 30% e i relativi valori diametrali e le forze di compressione.

PROVETTE

Devono essere preparate tre provette da un singolo tubo, come specificato nella EN ISO 9969 e indicate rispettivamente come *a*, *b* e *c*.

CONDIZIONAMENTO

Il condizionamento deve essere effettuato secondo la EN ISO 9969.

PROCEDIMENTO

Eeguire la prova in conformità con il procedimento dato nella EN ISO 9969, ma continuando la compressione mentre si misurano le variazioni sia del diametro interno sia di quello esterno, osservando e registrando ogni segno di cedimento fino a quando sia stata raggiunta un'inflexione di almeno il 30% del diametro esterno o la provetta si sia fratturata (secondo quello dei due eventi che si sia verificato per primo).

Osservare e registrare la forza e l'inflexione alla prima apparizione di ognuno dei seguenti cedimenti meccanici, se si presentano:

- a) rotture o incrinature della parete interna o del rivestimento interno (liner);
- b) frattura della parete;
- c) delaminazione della parete;
- d) rottura della provetta;
- e) cambiamento di direzione della curvatura della sezione trasversale della provetta (piegamento) .

Uno sbiancamento del tubo non deve essere considerato come indicazione dei cedimenti meccanici sopra menzionati.

Per ciascuna provetta preparare un grafico forza/inflexione ed osservare e registrare il tipo e la posizione di ciascuno degli eventi con riferimento alla corrispondente forza e inflessione.

Sistemi di tubazioni di materie plastiche - Giunti a bicchiere con guarnizioni di tenuta in elastomero per impiego con tubi di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) - Metodi di prova per la tenuta con pressione interna e con deflessione angolare (UNI EN ISO 13845)

La presente norma specifica un metodo di prova della tenuta dei giunti di tubazioni di policloruro di vinile non plastificato (PVC-U) per mezzo di bicchieri con anelli di tenuta in elastomero, comprendenti:

- bicchieri semplici dei tubi;
- manicotti doppi;
- bicchieri dei raccordi.

Essa è applicabile anche ai bicchieri con anello di tenuta elastomerico prodotti in ghisa duttile, per tubazioni in pressione di PVC-U.

PRINCIPIO

Il provino è costituito da un assemblaggio comprendente un tubo di PVC-U montato in un bicchiere di PVC-U. Il provino è esposto, in un intervallo di temperatura prescelto, a un regime di pressione interna specificato per un tempo specificato, mentre il tubo subisce un piegamento angolare nel bicchiere. Si ricercano sul provino eventuali segni di perdita del liquido.

APPARECCHIATURA

Telaio, comprendente almeno due dispositivi di fissaggio, di cui uno mobile per permettere di applicare un piegamento angolare al tubo all'interno del bicchiere. Una disposizione tipica è illustrata nella figura 1.

figura 1 Disposizione tipica dell'apparecchio di prova

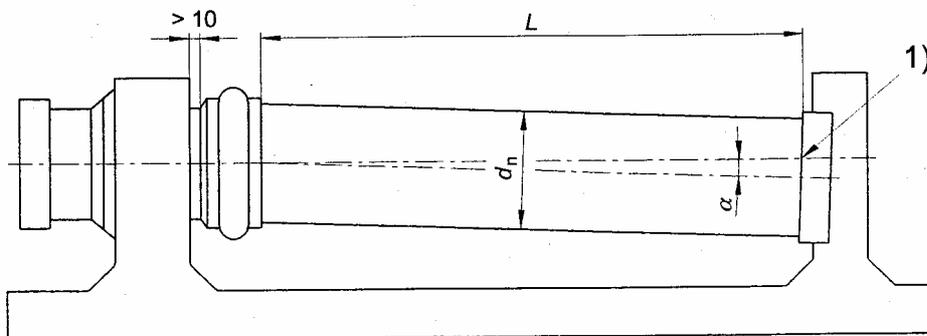
Legenda

d_n è il diametro esterno nominale del tubo

L è la lunghezza libera del tratto di tubo [$L = 5 d_n$ (min. 500 mm e max. 1 500 mm)]

1) è il punto di riferimento per la misurazione dell'angolo di deflessione α ($\alpha \geq 2^\circ$)

Dimensioni in mm



Nel nostro caso avremmo un tratto di tubo lungo $L = 5 \cdot 500 \text{ mm} = 2500 \text{ mm}$, ma, dato che il massimo consentito è di 1500 mm, terremo quest'ultimo valore.

AVVERTENZA: Per motivi di sicurezza dovrebbero essere prese adeguate misure per il progetto e il funzionamento dell'apparecchio, soprattutto per i provini di grandi dimensioni.

Dispositivo di controllo della pressione, connesso al provino e capace di applicare e mantenere una pressione idrostatica interna variabile fino ad almeno due volte la pressione nominale del tubo di PVC-U e della giunzione.

Dispositivo di misurazione della pressione, capace di verificare la conformità dei valori della pressione statica prescritti (vedere in seguito).

PROVINI

Preparazione

Il provino deve essere costituito da uno spezzone di tubo di PVC-U montato nel bicchiere del componente sottoposto alla prova.

La giunzione deve essere effettuata in conformità alle istruzioni del fabbricante del bicchiere.

Per la prova deve essere impiegato un tubo della medesima pressione nominale di quella del bicchiere sottoposto alla prova.

La lunghezza del tronco di tubo deve essere tale che la lunghezza libera, L , tra l'ingresso nel bicchiere e il termine della guarnizione sia uguale a cinque volte il diametro esterno nominale del tubo, d_n . Essa deve essere compresa tra 500 mm e 1500 mm.

Si raccomanda che il diametro esterno medio del tubo, d_{em} , sia di preferenza uguale al valore minimo prescritto e che le dimensioni del bicchiere (il diametro interno medio d_m e il diametro della gola per l'alloggiamento dell'anello di tenuta) siano conformi ai valori massimi indicati dal fabbricante, in modo da avere le dimensioni più prossime possibili ai limiti estremi delle loro rispettive tolleranze.

Numero

Il numero di provini da preparare deve essere quello specificato nella norma di riferimento.

PROCEDIMENTO

Fissare il bicchiere senza alcuna deformazione sul telaio rigido e allineare il troncone di tubo con l'asse del bicchiere.

Inclinando il tubo nel dispositivo di prova, determinare l'angolo libero di deflessione, α , che il giunto può sostenere senza applicazione di una forza.

Se $\alpha \geq 2^\circ$, ancorare saldamente il tubo per mantenerlo in questa posizione per il resto della prova.

Se $\alpha < 2^\circ$, effettuare la prova con piegamento di 2° forzando il tubo fino a questo grado di piegamento.

Riempire il provino con acqua a una temperatura di $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ e rilasciare l'aria che vi può essere imprigionata.

Condizionare il provino per almeno 20 min per assicurare l'uniformità della temperatura.

Nel corso della prova:

a) mantenere la temperatura ambiente, con approssimazione di $\pm 5^\circ\text{C}$ per una temperatura compresa tra 15°C e 25°C ;

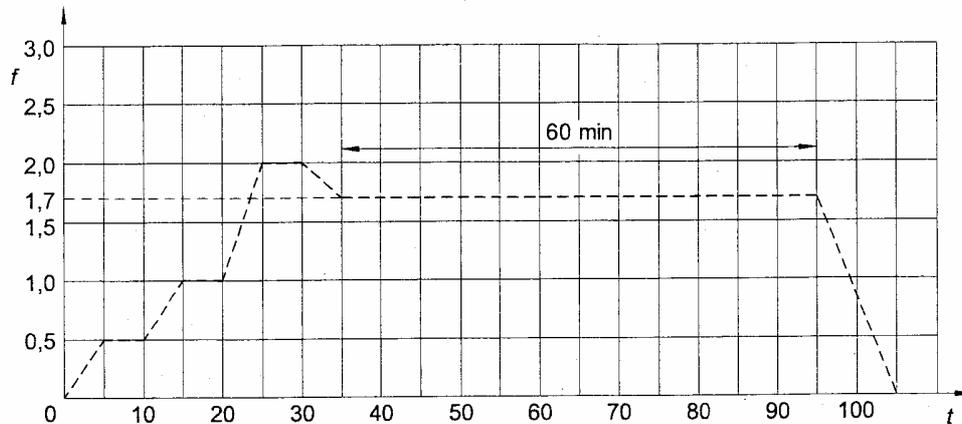
b) esaminare l'assemblaggio durante tutto il ciclo di prova e registrare ogni segno di perdita.

A meno che la norma di riferimento non precisi diversamente, applicare la pressione idrostatica in conformità al diagramma della pressione illustrato nella figura 2, in modo che le pressioni idrostatiche specificate siano mantenute con uno scarto di tolleranza dallo 0% al 5%.

figura 2 **Diagramma di prova della pressione idrostatica**

Legenda

f è il coefficiente da applicare a PN durante la prova



Nota Non è necessario che i cambiamenti di pressione siano lineari.

Prendendo in considerazione il nostro caso pratico, poiché abbiamo una $PN = 10$ bar, fra i 35' e i 95' dall'inizio della prova avremo una pressione idrostatica di $1,7 * 10$ bar = 17 bar.

Tubi di materiali termoplastici - Ritiro longitudinale - Metodo di prova e parametri

(UNI EN ISO 2505)

La presente norma specifica un metodo per la determinazione del ritiro longitudinale dei tubi di materiale termoplastico. La prova può essere condotta sia in liquido che aria. In caso di dubbio, è utilizzato come riferimento il liquido riscaldato. La norma si applica a tutti i tubi termoplastici con superficie interna liscia e parete esterna di sezione trasversale costante. Non è applicabile a tubi con parete strutturata non liscia.

I parametri adatti al materiale del tubo e le raccomandazioni per i massimi livelli di ritiro in funzione del materiale del tubo sono descritti nell'appendice A in fondo a questa norma.

La misura del ritiro longitudinale non è considerata rilevante per tubi aventi una parete di spessore maggiore di 16 mm.

Nel nostro caso pratico solo i tubi in PRFV (non trattati nella presente norma) hanno uno spessore inferiore a 16 mm, ma tratteremo comunque solo il caso generale di un tubo termoplastico senza fare esempi pratici in questa norma.

ABBREVIAZIONI

Ai fini della presente norma vengono utilizzate le seguenti abbreviazioni riguardo ai materiali:

ABS	acrilonitrile/butadiene/stirene;
PA	poliammide (nylon);
SA	acrilonitrile/stirene/acrilato;
PB	polibutene;
PE 32/40	polietilene MRS 3,2/4;
PE 50/63	polietilene MRS 5/6,3;
PE 80/100	polietilene MRS 8/10;
PE-X	polietilene reticolato;
PVC-C	polivinilcloruro clorato;
PVC-U	polivinilcloruro non plastificato;
PVC-HI	polivinilcloruro ad alto impatto;
SAN + PVC	stirene/acrilonitrile più polivinilcloruro;
PP-H	polipropilene omopolimero;
PP-B	polipropilene copolimero isolato;
PP-R	polipropilene copolimero irregolare.

PRINCIPIO

Un tubo di lunghezza specificata viene posto in un bagno liquido o in un forno ad aria a una data temperatura e per un tempo determinato. Viene misurata, sotto le stesse condizioni, la lunghezza di questa porzione di tubo prima e dopo il riscaldamento. Il ritiro è calcolato come percentuale della variazione di lunghezza rispetto alla lunghezza iniziale. L'aspetto della superficie del pezzo di tubo in esame non deve cambiare dopo il riscaldamento.

APPARECCHIATURA

Bagno di liquido riscaldato, controllato termostaticamente a una temperatura T_R come specificato in tabella 1 (a seguire).

Il volume e l'agitamento del bagno devono essere tali che la temperatura rimanga entro il range specificato quando il pezzo di tubo viene immerso.

Il liquido scelto dovrebbe essere stabile alla temperatura specificata e non dovrebbe incidere sui materiali plastici.

Possono essere usati come liquidi glicerina, glicolo, olio minerale libero da idrocarburi aromatici, una soluzione di cloruro di calcio o qualsiasi altro liquido in linea con quelli citati.

Forno ad aria, controllato termostaticamente in modo da operare alla temperatura T_R e in grado di ristabilire questa temperatura entro 15 min dall'introduzione del pezzo di tubo. Il forno dev'essere fornito di un termostato in grado di mantenere T_R entro una variazione massima di ± 2 °C.

Apparecchiatura ausiliaria:

- *dispositivo* per supportare il provino (pezzo di tubo) nel bagno riscaldante o nel forno;
- *termometro* con un'accuratezza entro $\pm 0,5$ °C.

PREPARAZIONE

Provino

Immediatamente dopo l'estrusione, il campione di tubo da testare dev'essere stoccato a una temperatura di (23 ± 2) °C o condizionato come prescritto in seguito.

Se il test viene eseguito subito dopo la produzione del tubo, si può ottenere un risultato pessimistico.

In caso di dubbio, eseguire il test almeno 24 ore dopo la produzione e dopo lo stoccaggio a (23 ± 2) °C.

Prendere un pezzo di tubo lungo (200 ± 20) mm.

Servendosi di un addetto a scrivere, tracciare su questo pezzo due marcature circolari separate da 100 mm una dall'altra. Quest'ampiezza corrisponde all'area del test, a uguale distanza dalle due estremità del pezzo di tubo.

Preparare in totale tre pezzi per ogni campione di tubo.

I tubi con diametro maggiore di 250 mm (o uguale a 250 mm) possono essere tagliati anche in quattro parti per ogni campione di tubo.

Table 1 — Parameters for the determination using a liquid bath or air oven

Thermoplastics material ^a	Temperature of bath or air oven T_R °C	Duration of exposure	Length of test piece
		min	mm
PVC-U	150 ± 2	For liquid bath: 15 for $e \leq 8$ 30 for $8 < e \leq 16$ For air oven: 60 for $e \leq 8$ 120 for $8 < e \leq 16$	200 ± 20
PVC-C	150 ± 2		
PVC-HI	150 ± 2		
SAN+PVC	150 ± 2		
PA	150 ± 2 (air oven only)		
PE 32/40	100 ± 2		
PE 50/63	110 ± 2		
PE 80/100			
PE-X	120 ± 2		
PB	110 ± 2		
PP-H et PP-B	150 ± 2		
PP-R	135 ± 2		
ABS et ASA	150 ± 2		

e mean wall thickness, in millimetres.

^a Symbols in accordance with ISO 1043-1.

Condizionamento

Condizionare i pezzi da testare a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, per un periodo di tempo t che dipende dallo spessore della parete del tubo, secondo le seguenti regole:

- $t \geq 1 \text{ h}$, per $e < 3 \text{ mm}$;
 $t \geq 3 \text{ h}$, per $3 \text{ mm} \leq e < 8 \text{ mm}$;
 $t \geq 6 \text{ h}$, per $8 \text{ mm} \leq e \leq 16 \text{ mm}$;

dove e è lo spessore medio della parete del tubo in millimetri.

PROCEDIMENTO

A una temperatura di $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ misurare la distanza L_0 tra le marcature, con un'accuratezza entro 0,25 mm.

Impostare la temperatura del bagno riscaldante o del forno alla temperatura T_R come specificato nella tabella 1 sopra.

Appendere i provini permettendo un movimento libero nel bagno riscaldante o nel forno, in modo tale che i provini non tocchino né le pareti né la base del bagno riscaldante o del forno, e nel caso di minima distanza di 30 mm fra la parte superiore dell'area del test e l'interfaccia fluido-aria.

In alternativa, il provino può essere supportato, ma senza che venga inibito il ritiro longitudinale.

Lasciar stare il provino per un tempo conforme a quanto indicato in tabella 1 sopra. Mantenere la specificata temperatura del test nella zona fra le marcature circolari.

Rimuovere i provini dal bagno riscaldante o dal forno e appenderli nella stessa posizione lasciandoli liberi di muoversi.

Dopo il loro raffreddamento a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, misurare la massima e la minima distanza L tra le marcature (diametralmente opposte), seguendo ogni curvatura della superficie segnata dalla marcatura.

ESPRESSIONE DEI RISULTATI

Per ogni provino, calcolare il ritiro longitudinale $R_{L,i}$, come percentuale, servendosi della seguente equazione:

$$R_{L,i} = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad ,$$

dove:

$$\Delta L = L_0 - L \quad ;$$

L_0 è la distanza fra le marcature prima dell'immersione, in mm;

L è la distanza fra le marcature dopo l'immersione, misurata lungo le generatrici, in mm.

Scegliere le misure di L che danno i più grandi valori di ΔL . Quest'ultimo valore può essere positivo o negativo.

Se il campione per il test viene tagliato in quattro parti, il ritiro longitudinale $R_{L,i}$ del provino viene calcolato come media dei tre più alti valori fra i quattro risultati ottenuti.

Calcolare come valore del ritiro longitudinale R_L del tubo la media aritmetica tra i valori ottenuti per ognuno dei tre provini.

APPENDICE A (informativa) SPECIFICAZIONI DI BASE RACCOMANDATE

PER IL RITIRO LONGITUDINALE

Utilizzando un bagno liquido riscaldante o un forno ad aria, il valore calcolato del ritiro longitudinale dovrebbe essere conforme al relativo valore indicato in tabella 1.

Table A.1 — Basic specifications of longitudinal reversion

Thermoplastics material	Reversion %	Thermoplastics material	Reversion %
PVC-U	≤ 5	PB	≤ 2
PVC-C	≤ 5	PP-H	≤ 2
PVC-HI	≤ 5	PP-B	≤ 2
SAN+PVC	≤ 5	PP-R	≤ 2
PE	≤ 3	PA	≤ 2
PE-X	≤ 3	ABS et ASA	≤ 5

Per applicazioni che richiedono dei limiti più stringenti, può essere adottato un valore minore del limite applicabile fornito in tabella 1.

CONCLUSIONE

Con il presente lavoro si è cercato nella prima parte, di carattere generale (capitoli I - IV), di presentare: i materiali plastici più utilizzati per tubazioni in ambito acquedottistico e fognario (PVC, PE e PRFV) con le loro diversità, pregi e limiti a seconda del caso specifico; inoltre i processi di realizzazione, posa, calcolo statico e verifiche di stabilità riferiti alle tubazioni per acquedotti e fognature.

Nella seconda parte, di carattere specifico (capitoli V - XI), si è presentata una serie di norme tecniche europee da seguire a partire dallo studio dei materiali plastici con le relative caratteristiche fisiche (come temperatura di rammollimento Vicat, coefficiente generale di impiego e durezza con durometro Barcol), passando per un'analisi sull'installazione e resistenza sismica di tubazioni plastiche in generale, per poi descrivere dettagliatamente i tubi nel loro specifico materiale.

Infine si sono trattate le norme tecniche europee riguardo alle prove su tubi e giunzioni e relative caratteristiche tecniche (esempio: PRFV: ispezione visiva, resistenza al taglio della parete del tubo, resistenza all'abrasione dello strato interno, rilassamento, tenuta idraulica della parete interna, rigidità anulare; PVC: determinazione della viscosità, indice di viscosità e valore K, valutazione del contenuto di PVC in base al contenuto totale di cloro; PE: resistenza chimica ai fluidi (Pead), resistenza a pressione interna dopo schiacciamento, metodi di prova su tubi in Pebd, resistenza a fessurazione sotto sforzo, contenuto di materia volatile; termoplastici in generale: tenuta all'aria, all'acqua, flessibilità anulare e rigidità anulare, ritiro longitudinale). Buona parte delle norme tecniche citate all'interno del presente lavoro è servita per costruire, per quanto possibile, una serie di applicazioni pratiche delle norme stesse - supportate dai necessari calcoli -, con riferimento ad un ipotetico tubo con diametro esterno di 500 mm. Inoltre, a seconda del materiale in esame, si sono assunti diversi dati, che vengono riportati nella tabella seguente:

<i>materiale</i>	<i>SDR</i> (= d_e/s)	d_e (mm)	<i>Pressione nominale PN (atm)</i>	<i>Peso specifico ρ (kg/dm³)</i>	<i>Coefficiente di dilatazione lineare α_L(°C⁻¹)</i>	<i>Modulo di elasticità longitudinale E_x (N/mm²)</i>
PVC	20	500	10	1,37-1,45	$7 \cdot 10^{-5}$	25-35
PEAD/PEBD	17	500	10	0,94-0,96/ 0,92-0,93	$20 \cdot 10^{-5}$	7-20
PRFV	50	500	10	1,7	$(2,5-3) \cdot 10^{-5}$	23

Con l'aiuto di questi esempi pratici si è cercato di facilitare e concretizzare la comprensione di ciascuna norma tecnica, che altrimenti rischierebbe di risultare astratta.

Le parti di normative prese in esame sono state riportate, per quanto possibile e come previsto, in modo integrale (con al loro interno figure esplicative, tabelle, prospetti, grafici e appendici integrative).

BIBLIOGRAFIA

- Da Deppo L., Datei C., Fiorotto V., Salandin P., *Acquedotti*, Libreria Cortina, Padova, 2000.
- A.M. De Filippi, *Fabbricazione di componenti in materiali polimerici*, Hoepli, Milano, 2004.
- G. Ippolito, *Appunti di costruzioni idrauliche*, Liguori, Napoli, 1993.
- IIP (Istituto Italiano dei Plastici), *Installazione delle fognature in PVC*, pubblicazione n.°3, novembre 1984.
- V. Milano, *Acquedotti*, Hoepli, Milano, 1996.
- M. Saechtling, *Manuale delle resine plastiche*, Tecniche Nuove, Milano, 1986.
- M. Scheichenbauer, *Progettare con le materie plastiche. Il poliestere rinforzato*, Casabella, Milano, 1972.
- N. Schieppati, *Il vetroresina in edilizia*, MB, Milano, 1975.
- A. Turco e F. Turco, *Resine poliesteri, compositi e plastici, rinforzati. Moderne tecnologie di lavorazione*, Hoepli, Milano, 1997.
- *I materiali sintetici*, “Quaderni del Manuale di Progettazione Edilizia”, Hoepli, Milano, 2003.
- Sito web: <http://www.uni.com/it> (Sito dell’Ente Nazionale Italiano di Unificazione).

