

ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

Publicazione n. 4 - Settembre 1977
(sostituisce la n. 4 - Aprile 1974)

Installazione di acquedotti di PVC

RACCOMANDAZIONI SULLA INSTALLAZIONE DELLE TUBAZIONI DI POLI-CLORURO DI VINILE RIGIDO (NON PLASTIFICATO) NELLA COSTRUZIONE DI ACQUEDOTTI

SOMMARIO

- Capitolo 1: PRESCRIZIONI PER L'ACCETTAZIONE DEL MATERIALE
- Capitolo 2: TRASPORTO ED ACCATASTAMENTO DEI TUBI E DEI RACCORDI DI PVC
- Capitolo 3: CAMPO DI APPLICAZIONE DELLE DIVERSE CLASSI DI PRESSIONE
- Capitolo 4: RACCORDI E PEZZI SPECIALI DI PVC
- Capitolo 5: SISTEMI DI GIUNZIONE E LORO ESECUZIONE
- Capitolo 6: RACCORDI E PEZZI SPECIALI DI ALTRI MATERIALI. LORO COLLEGAMENTO CON I TUBI DI PVC
- Capitolo 7: PIANO DI POSA, COLLOCAMENTO IN OPERA E RINTERRO
- Capitolo 8: CURVABILITA' E LAVORABILITA' DEI TUBI DI PVC
- Capitolo 9: ANCORAGGI
- Capitolo 10: POZZETTI PER IL CONTENIMENTO DI APPARECCHIATURE
- Capitolo 11: CONDOTTE SOSPENSE
- Capitolo 12: PRESE IN CARICO PER UTENZE PRIVATE E DIRAMAZIONI SECONDARIE
- Capitolo 13: CARATTERISTICHE GENERALI DEI TUBI E DEI RACCORDI DI PVC RIGIDO (Appendice)
 - 13.1 CALCOLO DELLE FRECCE MASSIME AMMISSIBILI A FREDDO NELLE CONDOTTE DI PVC CON GIUNZIONI AD INCOLLAGGIO
 - 13.2 COLPO D'ARIETE
 - 13.3 FORMULE, ABACO E TABELLE DELLE PERDITE DI CARICO
 - 13.4 CARATTERISTICHE GENERALI DEL PVC A 20 °C
 - 13.5 DIMENSIONI E PESI DEI TUBI DI PVC PER ACQUEDOTTI

N.B.: Tutti i disegni riportati nel testo sono puramente indicativi
Tutti i calcoli ed i valori riportati nelle tabelle di questa pubblicazione sono relativi ai tubi di PVC σ 100.

Capitolo 1: *PRESCRIZIONI PER L'ACCETTAZIONE DEL MATERIALE*

Le prescrizioni per l'accettazione delle tubazioni di PVC rigido (non plastificato) sono contenute nelle seguenti norme UNI:

- UNI 7441-75: Tubi di PVC rigido (non plastificato) per condotte di fluidi in pressione. Tipi, dimensioni e caratteristiche.
- UNI 7448-75: Tubi di PVC rigido (non plastificato). Metodi di prova.
- UNI 7442-75: Raccordi e flange di PVC rigido (non plastificato) per condotte di fluidi in pressione. Tipi, dimensioni e caratteristiche.
- UNI 7449-75: Raccordi e flange di PVC rigido (non plastificato). Metodi di prova.

I tubi e i raccordi dovranno essere contrassegnati con il marchio di conformità IIP-UNI di proprietà dell'Ente Nazionale Italiano di Unificazione UNI, gestito dall'Istituto Italiano dei Plastici.

Capitolo 2: *TRASPORTO ED ACCATASTAMENTO DEI TUBI E DEI RACCORDI DI PVC*

2.1. *Trasporto*

Le avvertenze per il trasporto non differiscono sostanzialmente da quelle praticate per analoghe tubazioni tradizionali. Di conseguenza nel trasporto bisogna supportare i tubi per tutta la loro lunghezza onde evitare di danneggiare le estremità a causa di vibrazioni.

Si devono evitare urti, inflessioni e sporgenze eccessive, contatti con corpi taglienti ed acuminati.

Le imbragature per il fissaggio del carico possono essere realizzate con funi o bande di canapa o di nylon o similari; se si usano cavi di acciaio i tubi devono essere protetti nella zona di contatto con essi.

Si tenga presente che a basse temperature tutte le operazioni di movimentazione (trasporto, accatastamento, posa in opera, ecc.) devono essere effettuate con particolare cautela.

2.2. *Carico e scarico*

Queste operazioni devono essere fatte con cura. I tubi non devono essere buttati né fatti strisciare sulle sponde caricandoli sull'automezzo o scaricandoli dallo stesso, ma devono essere accuratamente sollevati ed appoggiati.

2.3. *Accatastamento*

I tubi devono essere immagazzinati su una superficie piana, priva di parti taglienti ed esente da sostanze che potrebbero attaccare i tubi.

I tubi aventi un diametro superiore a 50 mm non devono essere accatastati ad un'altezza superiore a 1,50 m per evitarne possibili deformazioni nel tempo.

Se i tubi non vengono adoperati per un lungo periodo, devono essere protetti dai raggi solari diretti.

2.4. *Raccordi ed accessori*

Questi pezzi sono forniti finché possibile in appositi imballaggi.

Se sono forniti sfusi si dovrà avere cura, nel trasporto ed immagazzinamento, di non ammassarli disordinatamente e si dovrà evitare che essi possano essere deformati o danneggiati per effetto di urti fra di loro o con altri materiali pesanti.

Capitolo 3: *CAMPO DI APPLICAZIONE DELLE DIVERSE CLASSI DI PRESSIONE*

I valori delle pressioni nominali PN, riferiti alla temperatura di 20 °C e per i tubi PVC 100 (quelli cioè che, secondo UNI 7441-75, ammettono una sollecitazione σ pari a 100 kgf/cm²) sono i seguenti:

- 4 kgf/cm² (serie 1)
- 6 kgf/cm² (serie 2)
- 10 kgf/cm² (serie 3)
- 16 kgf/cm² (serie 4)

La pressione nominale PN corrisponde per i tubi della norma UNI 7441-75 alla pressione interna massima ammissibile, per servizio continuo, alla temperatura di 20 °C.

Capitolo 4: RACCORDI E PEZZI SPECIALI DI PVC

I raccordi e i pezzi speciali di PVC dovranno rispondere alle caratteristiche contenute nella norma UNI 7442-75. Ai tubi e ai raccordi di PVC possono essere collegati anche raccordi, tubi e pezzi speciali di altro materiale.

Capitolo 5: SISTEMI DI GIUNZIONE E LORO ESECUZIONE

I sistemi di giunzione e la loro esecuzione sono riportati qui di seguito.

5.1. Giunti a bicchiere e a manicotto a scorrimento assiale con tenuta mediante guarnizioni elastomeriche

- a) Verificare che le estremità dei tubi siano smussate correttamente;
- b) provvedere ad una accurata pulizia delle parti da congiungere, assicurandosi che esse siano integre; se già inserita, togliere provvisoriamente la guarnizione di tenuta;
- c) segnare sulla parte maschia del tubo una linea di riferimento procedendo come segue:
 - si introduce il tubo nel bicchiere fino a rifiuto, segnando la posizione raggiunta,
 - si ritira il tubo non meno di 10 mm,
 - si segna in modo ben visibile sul tubo la nuova posizione raggiunta, che è la linea di riferimento;
- d) inserire la guarnizione elastomerica di tenuta nell'apposita sede;
- e) lubrificare la superficie interna della guarnizione e la superficie esterna della punta con apposito lubrificante (acqua saponosa o lubrificante a base di silicone, ecc.);
- f) inflare la punta nel bicchiere fino alla linea di riferimento, facendo attenzione che la guarnizione non esca dalla sede.

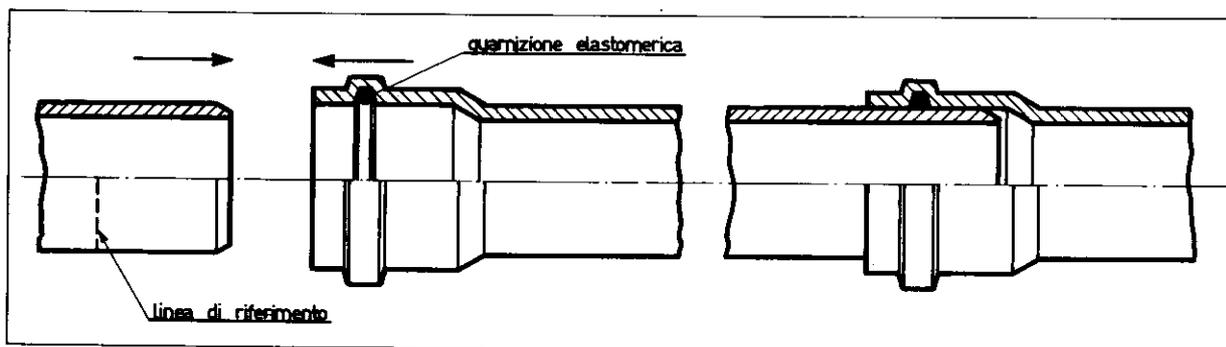


Fig. 1 - Giunto semplice del tipo scorrevole con guarnizione elastomerica (*)

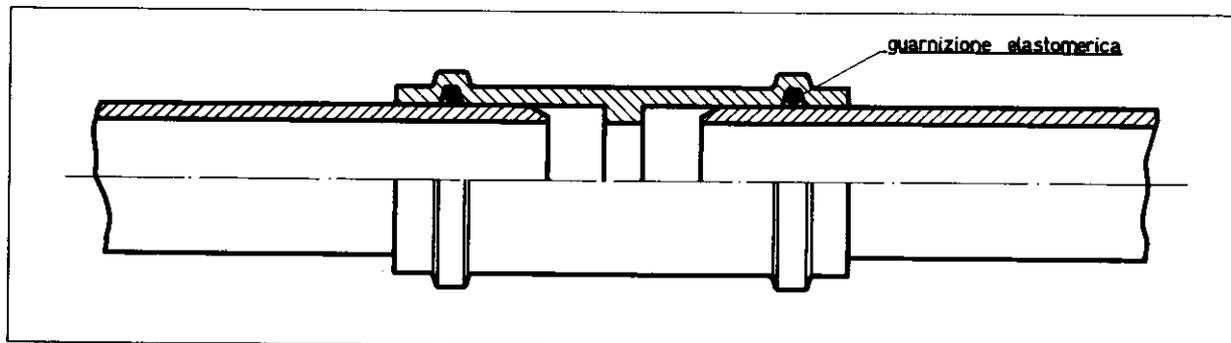


Fig. 2 - Giunto a manicotto del tipo scorrevole con guarnizione elastomerica (*)

(*) La forma della sezione della guarnizione elastomerica così come quella della sua sede sono stabilite dal fabbricante; la rappresentazione in figura ha solo valore indicativo.

5.2. Giunti a bicchiere e a manicotto del tipo non scorrevole ottenuti mediante incollaggio

- a) Verificare che tubo e bicchiere abbiano diametri di accoppiamento rispondenti alle norme UNI citate;
- b) verificare che le estremità dei tubi siano smussate correttamente;
- c) pulire accuratamente le superfici di accoppiamento del tubo e del bicchiere con carta vetrata o solventi adeguati. Molti incollaggi difettosi sono imputabili alla cattiva esecuzione di questa operazione;
- d) introdurre il tubo nel bicchiere fino a battuta e fare un segno sulla superficie dello stesso in corrispondenza della bocca del bicchiere. Ciò consente di predeterminare la porzione di tubo che dovrà essere spalmata di collante;
- e) assicurarsi che il collante impiegato non sia un adesivo ma realizzi una saldatura chimica;
- f) spalmare il collante, con un pennello di dimensioni adeguate, in maniera uniforme sulla superficie interna del bicchiere e sulla superficie esterna del tubo in corrispondenza della zona precedentemente marcata, avendo cura di accertarsi che non resti un'eccessiva quantità di collante nell'interno del bicchiere;
- g) introdurre *immediatamente* il tubo nel bicchiere fino a battuta. Dopo questa operazione è opportuno non sottoporre a tensioni il collegamento effettuato. Prima di mettere l'impianto in esercizio è consigliabile attenersi alle istruzioni del fabbricante relativamente al tempo di consolidamento del collante.

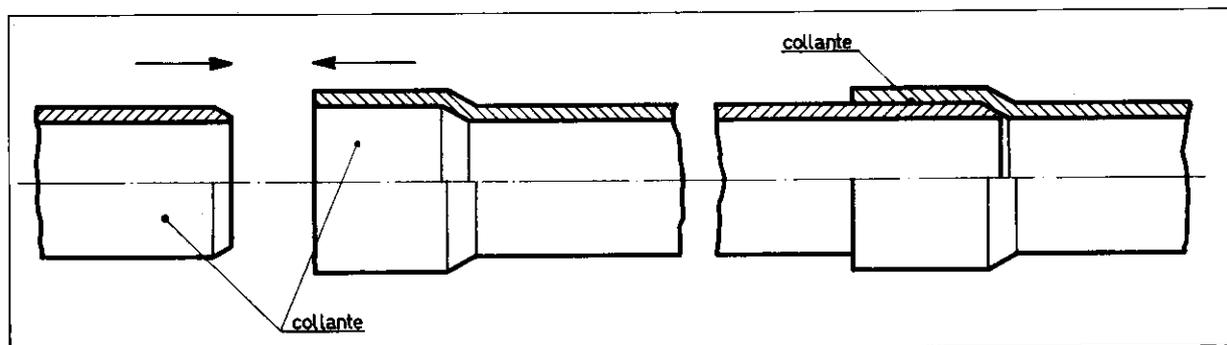


Fig. 3 - Giunto semplice del tipo non scorrevole ottenuto per incollaggio

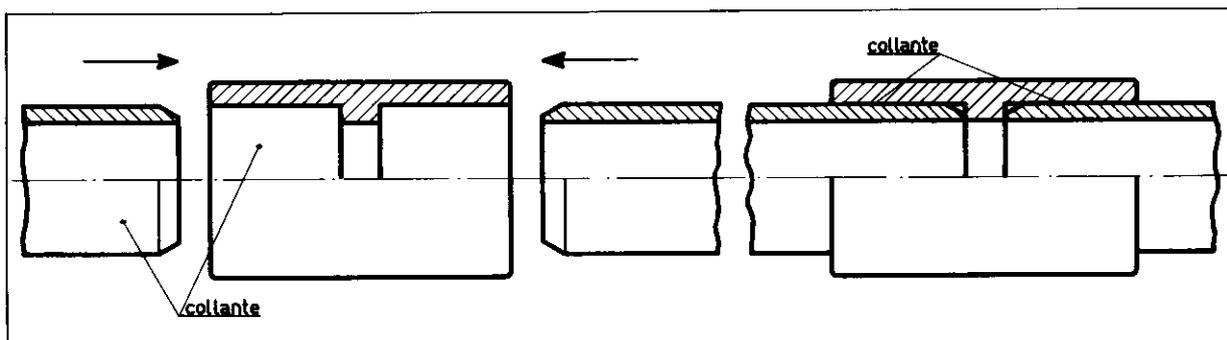


Fig. 4 - Giunto a manicotto del tipo non scorrevole ottenuto per incollaggio

5.3. Giunto a serraggio meccanico con tenuta mediante guarnizioni elastomeriche

5.3.1. Giunto a serraggio meccanico tipo «Gibault»

Qualunque sia la forma esterna ed il tipo di serraggio con cui questo giunto è realizzato è necessario che la sua lunghezza utile, ossia la distanza assiale fra le due guarnizioni, sia non inferiore alla somma delle massime possibili variazioni lineari dei due tronchi da congiungere più una quantità variabile dai 30 ai 100 mm in relazione al diametro dei tronchi stessi. Per una valutazione approssimata delle variazioni lineari dovute ad effetto termico vedasi il nomogramma di pag. 6.

Provvedere ad un'accurata pulizia delle parti da congiungere, assicurarsi che esse siano integre, infilare le due estremità nel giunto meccanico assicurandosi che ciascuna di esse sia introdotta per una lunghezza corrispondente ad almeno 1/3 della lunghezza del ma-

nicotto senza però che vengano a contatto fra di loro; infilare i bulloni, le rondelle ed i dadi attuandone il serraggio a croce.

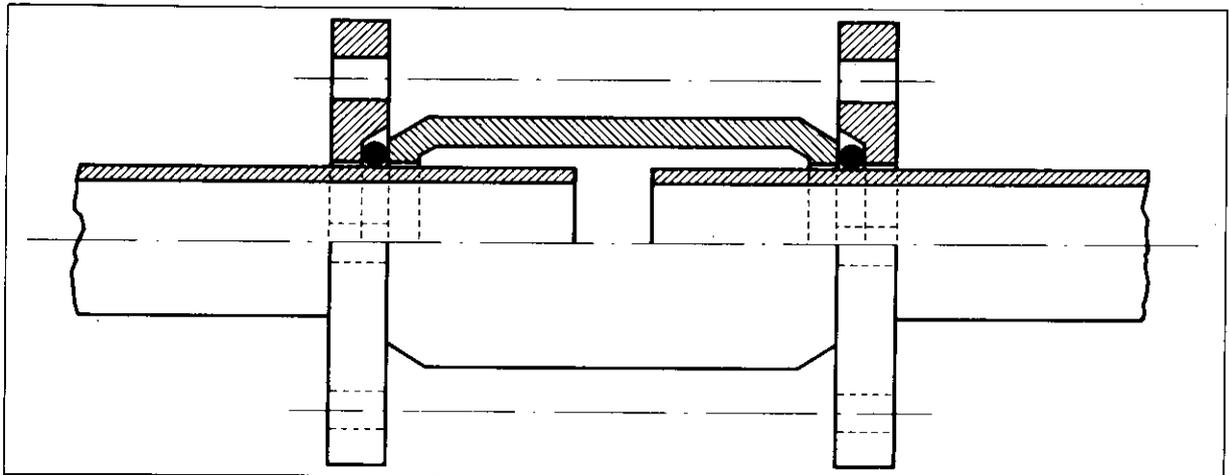


Fig. 5 - Giunto a serraggio meccanico «tipo Gibault»

5.3.2. Giunto con ancoraggio mediante anello o ghiera di graffaggio

- a) Tagliare il tubo nella lunghezza richiesta. Per il montaggio dei raccordi di misure medie e grandi, la parte terminale del tubo dovrà essere smussata accuratamente;
- b) separare le parti del raccordo e montarle sul tubo: prima la ghiera, seguita dall'anello di serraggio. Fare attenzione che l'anello di serraggio conico sia disposto nella direzione esatta, cioè con la parte terminale maggiore verso il raccordo;
- c) infilare il tubo nel corpo del raccordo fino a che non oltrepassi la guarnizione toroidale elastomerica e tocchi la battuta interna del corpo del raccordo. Nel caso di misure medie e grandi è bene lubrificare con acqua saponata o vaselina la parte terminale del tubo e la guarnizione toroidale elastomerica;
- d) accostare l'anello di serraggio conico al corpo del raccordo. Per fare scivolare meglio l'anello di serraggio, dilatarlo con un cacciavite;
- e) avvitare strettamente la ghiera al corpo del raccordo. Per il serraggio finale, nelle misure medie e grandi, dovrà essere usata una chiave a nastro.

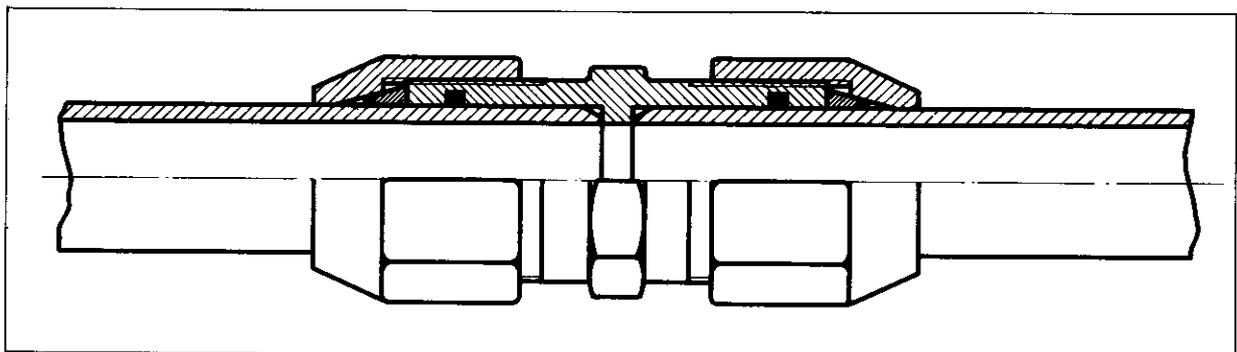


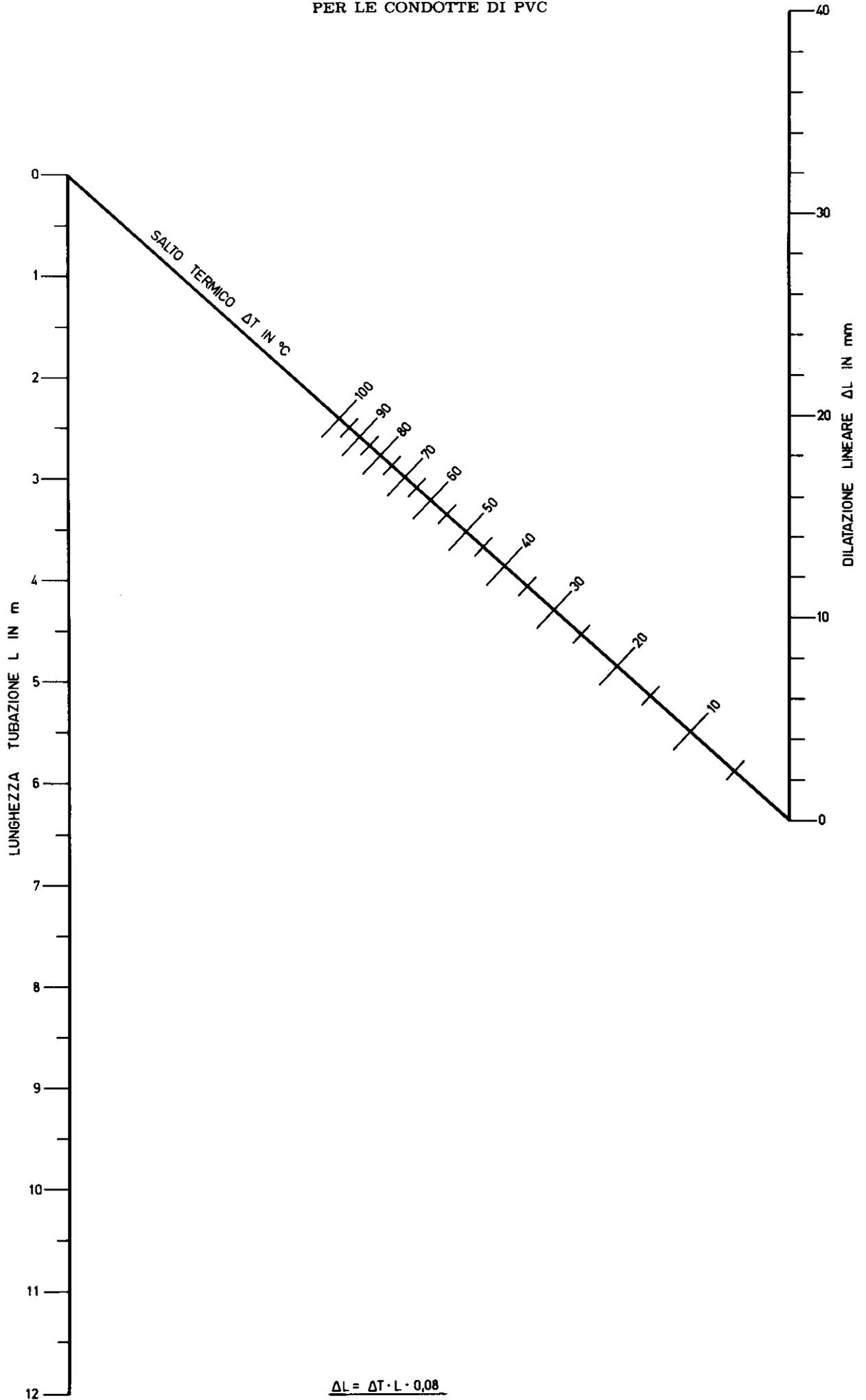
Fig. 6 - Giunto con ancoraggio mediante anello o ghiera di graffaggio

5.4. Giunto a flangia libera con collare di appoggio o fissa

Anche per questo tipo di giunto si tenga conto di quanto indicato al punto 5.3.1.

- a) Infilare la flangia libera nell'estremità del tubo;
- b) unire il collare d'appoggio al tubo procedendo come descritto al punto 5.2;
- c) disporre la guarnizione elastomerica nell'apposita scanalatura del collare;
- d) bullonare effettuando il serraggio a croce.

NOMOGRAMMA PER LA DETERMINAZIONE DELLE DILATAZIONI TERMICHE LINEARI
PER LE CONDOTTE DI PVC



$\Delta L = \Delta T \cdot L \cdot 0,08$

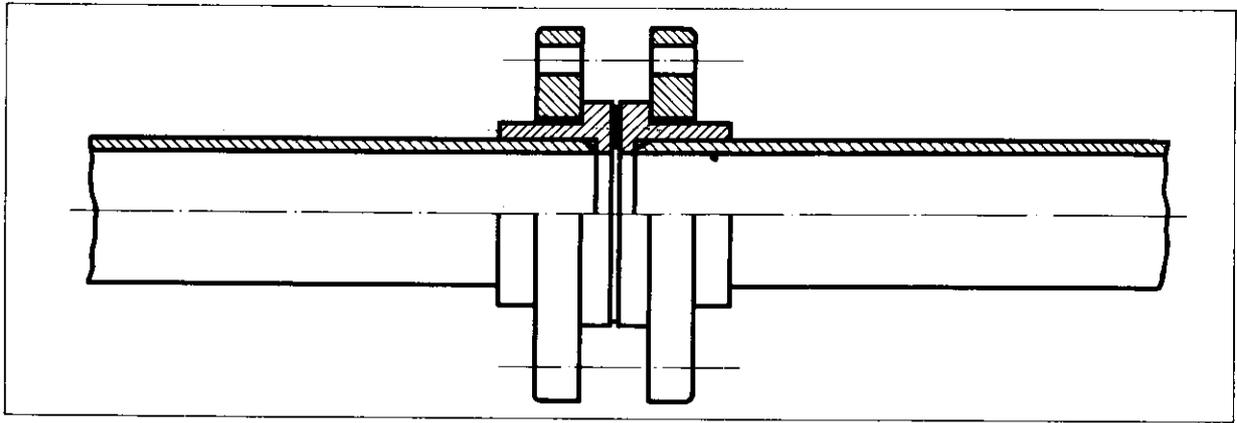


Fig. 7 - Giunto a flangia libera

Capitolo 6: RACCORDI E PEZZI SPECIALI DI ALTRI MATERIALI. LORO COLLEGAMENTO CON I TUBI DI PVC

In genere il collegamento fra tubi a pressione di diverso materiale avviene a mezzo flange opportunamente predisposte, oppure a mezzo di raccordi di PVC o PVC e metallo con una derivazione filettata e l'altra per incollaggio.

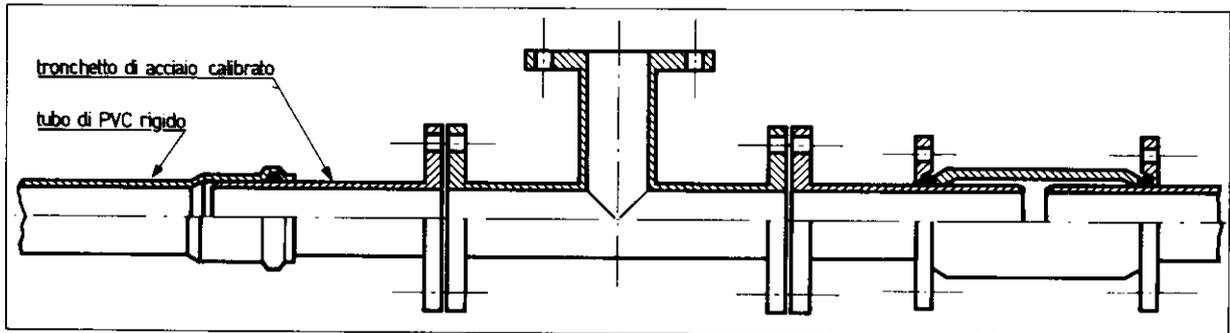


Fig. 8 - Tipo di collegamento dei tubi di PVC con pezzi speciali di altri materiali

Nel giunto di PVC confezionato con bicchiere con guarnizione elastomerica non può essere inserito un normale tubo di acciaio perché di diverse dimensioni. Ne consegue che per la costruzione di tronchetti adatti bisogna utilizzare tubi calibrati di acciaio senza saldatura (tubi di precisione) di cui alla norma UNI 2898-69, oppure calibrare opportunamente al tornio tubi di acciaio senza saldatura di cui alla norma UNI 4991-68, scegliendo in ogni caso i diametri adatti. Al tronchetto verrà poi saldata una flangia UNI 2223-67 avente dimensioni opportune, oppure una flangia cieca secondo UNI 6093-67 (vedi Fig. 8).

Sarà così possibile «confezionare» un tronchetto di partenza adatto all'unione con saracinesche, idranti, sfiati, T, croci, ecc. a mezzo di flangia e connettere il tutto ai tubi di PVC inserendo il tronchetto nel giunto con guarnizione elastomerica.

Capitolo 7: PIANO DI POSA, COLLOCAMENTO IN OPERA E RINTERRO

Come in genere per tutti gli altri tipi di tubazione, per le tubazioni di PVC il fondo dello scavo, che dovrà essere stabile ed eseguito secondo le norme di cui al capitolo specifico (relativo al capitolato speciale di appalto che si riferisce agli scavi a sezione obbligata per la posa delle condotte) sarà accuratamente livellato in modo da evitare gibbosità ed avvallamenti onde il tubo possa appoggiarsi in tutta la sua lunghezza.

La larghezza dello scavo dovrà essere sufficiente per permettere una sistemazione corretta del fondo ed il collegamento della tubazione. Inoltre la larghezza minima ammessa del fondo dello scavo dovrà essere uguale al diametro del tubo aumentato di 20 cm da ambo le parti.

Prima della posa in opera del tubo sarà steso sul fondo dello scavo uno strato di materiale incoerente, quale sabbia o terra sciolta e vagliata, di spessore non inferiore a 15 cm e che non con-

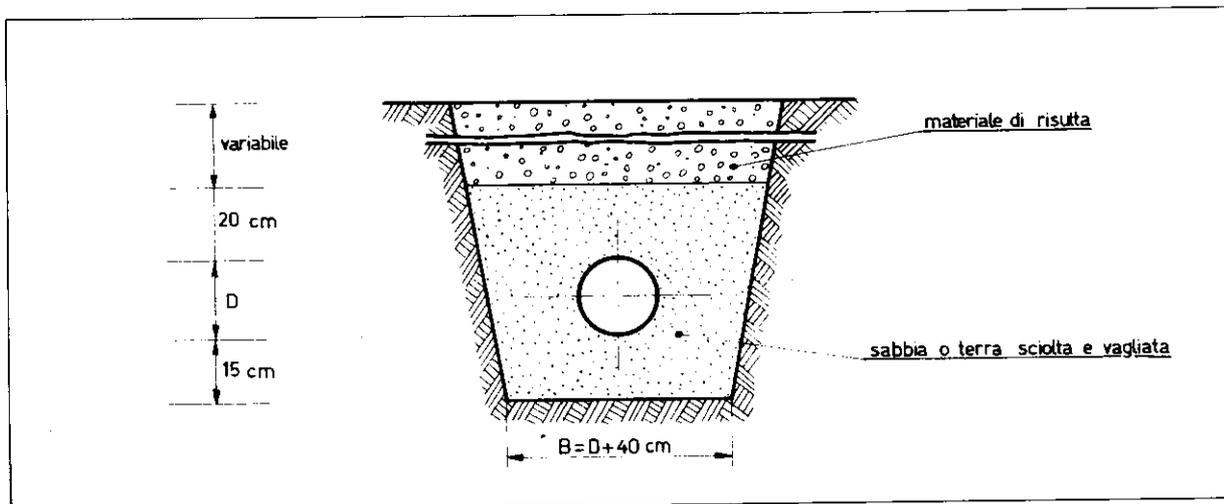


Fig. 9 - Trincea e relativa posa del tubo di PVC

tenga pietruzze, sul quale verrà posato il tubo che verrà poi rinfiancato quanto meno per 20 cm per lato e ricoperto con lo stesso materiale incoerente per uno spessore non inferiore a 20 cm misurato sulla generatrice superiore. Su detto ricoprimento dovrà essere sistemato il materiale di risulta dello scavo per strati successivi non superiori a 30 cm di altezza, costipati e bagnati se necessario.

7.1. Collaudo in opera

La prova si intende riferita alla condotta con i relativi giunti, curve, T, derivazioni e riduzioni, escluso quindi qualsiasi altro accessorio idraulico, e cioè: saracinesche, sfiati, scarichi di fondo, idranti, ecc.

La prova idraulica in opera dei tubi di PVC sarà effettuata su tratte di lunghezza fino a 1000 metri.

Come prima operazione si dovrà procedere ad ancorare la condotta nello scavo mediante parziale riempimento con terra vagliata, con l'avvertenza però di lasciare i giunti scoperti ed ispezionabili. Ciò per consentire il controllo della loro tenuta idraulica e per evitare comunque il movimento orizzontale e verticale dei tubi e dei giunti stessi sottoposti a pressione. Si procederà quindi al riempimento con acqua dal punto più depresso della tratta ove verrà installato pure il manometro. Si avrà la massima cura nel lasciare aperti i rubinetti, sfiati, ecc. onde consentire la completa fuoriuscita dell'aria.

Riempita la tratta nel modo sopra descritto la si metterà in pressione a mezzo di una pompa a mano, salendo gradualmente di un kgf/cm^2 al minuto primo fino a raggiungere la pressione di esercizio a 20 °C. Questa verrà mantenuta per circa 2 ore, per consentire l'assestamento dei giunti e la eliminazione di eventuali perdite che non richiedono lo svuotamento della condotta. Ad esito positivo di questa prova si procederà a portare la tratta interessata alla pressione di prova idraulica. Questa ultima sarà di 1,5 volte la pressione di esercizio a 20 °C e dovrà essere raggiunta con la gradualità sopra specificata e dovrà rimanere costante per una durata di 2 ore.

Solo ad esito positivo della suddetta prova, si procederà al totale rinterro del tronco in esame.

Capitolo 8: CURVABILITA' E LAVORABILITA' DEI TUBI DI PVC

8.1. Curvabilità

A temperatura non inferiore a 10 °C il tubo di PVC ha la possibilità di essere curvato a largo raggio.

Nel caso in cui la condotta venga realizzata con giunzioni ad incollaggio (vedi Fig. 10) le frecce massime ammissibili sono quelle indicate nel prospetto I.

Nel caso invece in cui la giunzione venisse realizzata con bicchieri o con manicotti a guarnizione elastomerica le frecce massime ammissibili sono inferiori, e in tal caso vanno tassativamente seguite le indicazioni del produttore.

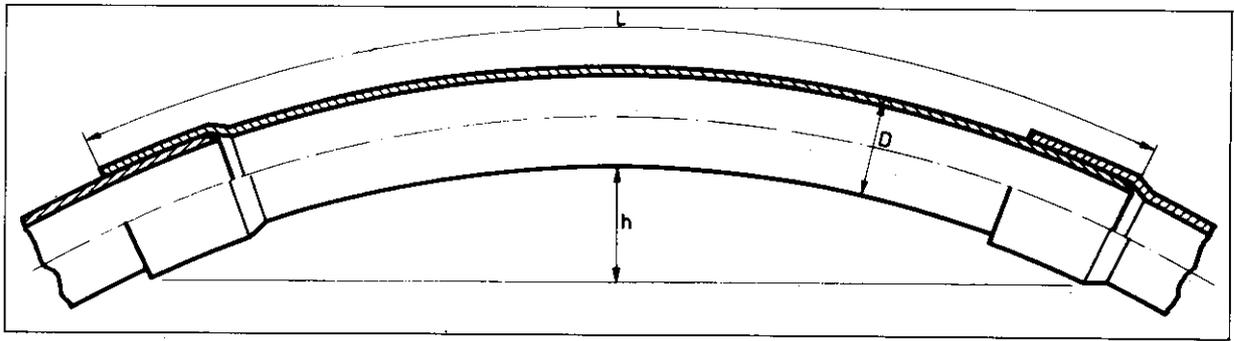


Fig. 10 - Condotta con giunzioni ad incollaggio.

PROSPETTO I

Frecce massime ammissibili a freddo nelle giunzioni ad incollaggio
(per il calcolo delle frecce vedi appendice)

h = freccia massima in mm
l = lunghezza del tubo in m

D mm	PN 4 - 6 - 10 - 16	
	l = 6 m h (mm)	l = 12 m h (mm)
50	250	1000
63	200	800
75	165	660
90	140	560
110	115	460
125	100	400
140	90	360
160	80	320
180	70	280
200	60	240
225	55	220
250	50	200
280	45	180
315	40	160
355	35	140
400	30	120
450	28	110
500	25	100
560	22	90
630	20	80

8.2. Lavorabilità

In caso di particolari necessità di cantiere, sfruttando la lavorabilità a caldo del PVC potranno essere effettuate operazioni di bicchieratura e di curvatura. Dette operazioni devono essere eseguite sotto il controllo di tecnici specializzati.

Capitolo 9: ANCORAGGI

I giunti del tipo scorrevole con guarnizione elastomerica non possono reagire alla spinta dovuta alla pressione che viene esercitata nelle testate e nelle curve.

E' quindi necessario predisporre dei masselli di calcestruzzo allo scopo di distribuire detta spinta sulle pareti dello scavo.

Questi masselli devono rispondere alle formule qui sotto riportate.

La spinta ha il valore:

$$F = K p S$$

dove:

K =	}	1 per le estremità e per i T a 90°
		1,414 per le curve a 90°
		0,766 per le curve a 45°
p =	}	pressione interna massima di prova in kgf/cm ²
S =	}	sezione interna del tubo in cm ²
		sezione della derivazione per i T ridotti in cm ²
		differenza delle sezioni per le riduzioni in cm ²

La reazione di spinta del terreno è data da:

$$B = K_1 H S_1$$

Il coefficiente K_1 dipende dalla natura del terreno e vale:

circa 3000 kg/m³ per sabbia argillosa
 circa 5000 kg/m³ per terreni di media compattezza
 circa 6000 kg/m³ per sabbia o ghiaia.

H = profondità di interramento commisurata rispetto all'asse mediano del tubo, in m

S_1 = sezione di appoggio (L × h) in m², essendo L = larghezza del massello di ancoraggio, h = altezza del massello di ancoraggio.

Occorre che sia: $B \geq 1,5 F$

Le figure 11, 12 e 13 rappresentano le sezioni di ancoraggio per le curve a 45° e a 90° e la pianta di ancoraggio per la curva a 90°.

N.B.: Per le curve a grande raggio ottenute per la flessibilità del tubo di PVC le spinte sono in generale assorbite dal materiale di riempimento (rinterro).

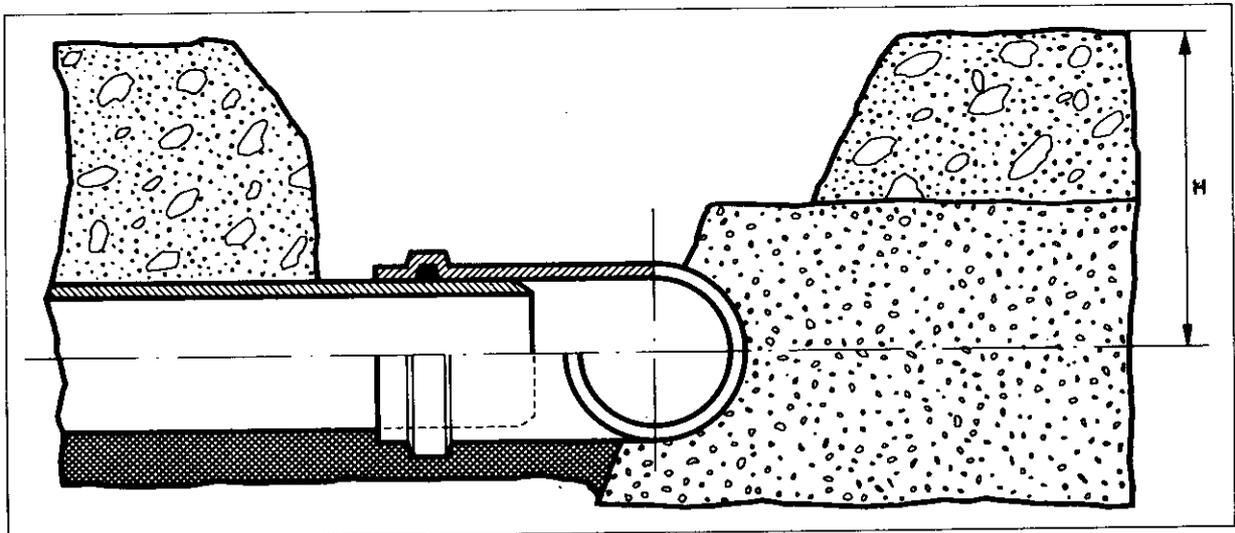


Fig. 11 - Sezione di ancoraggio per le curve a 45° e a 90°

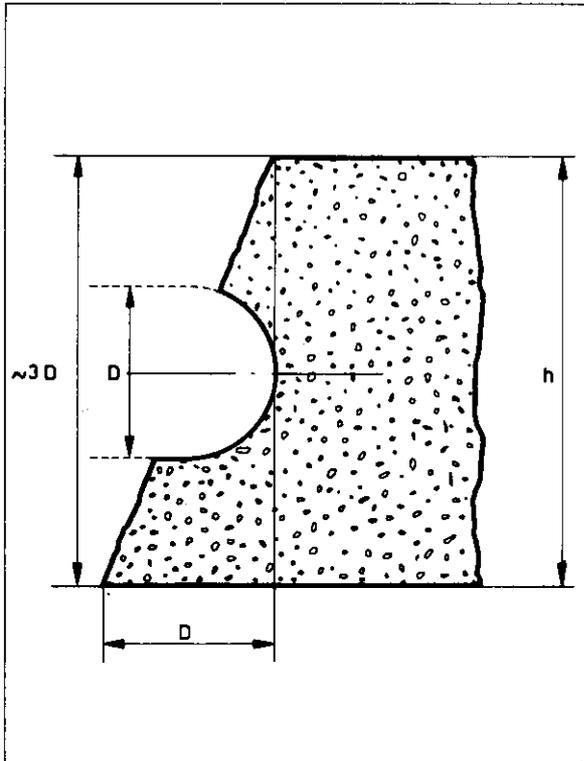


Fig. 12 - Sezione di ancoraggio per le curve a 45° e a 90°

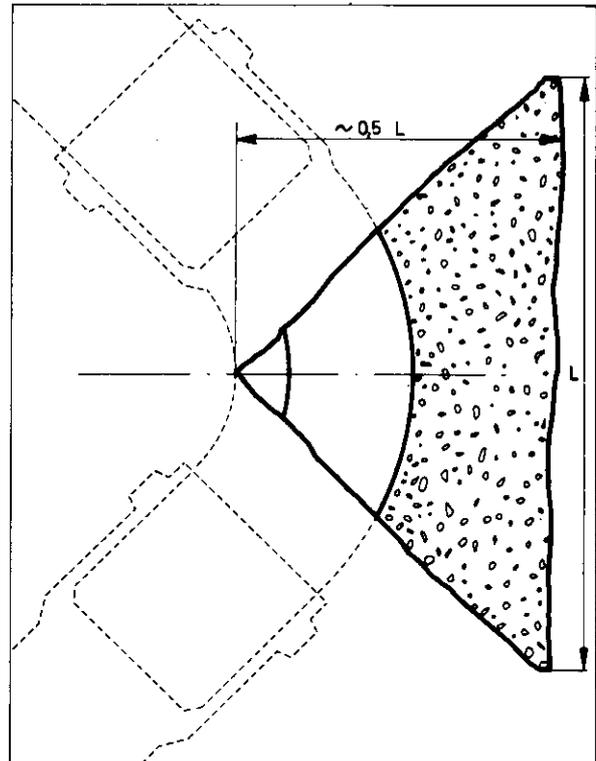


Fig. 13 - Pianta di ancoraggio per la curva a 90°

Capitolo 10: POZZETTI PER IL CONTENIMENTO DI APPARECCHIATURE

E' indispensabile che i tronchetti di acciaio calibrato a flangia fuoriescano dalla muratura.

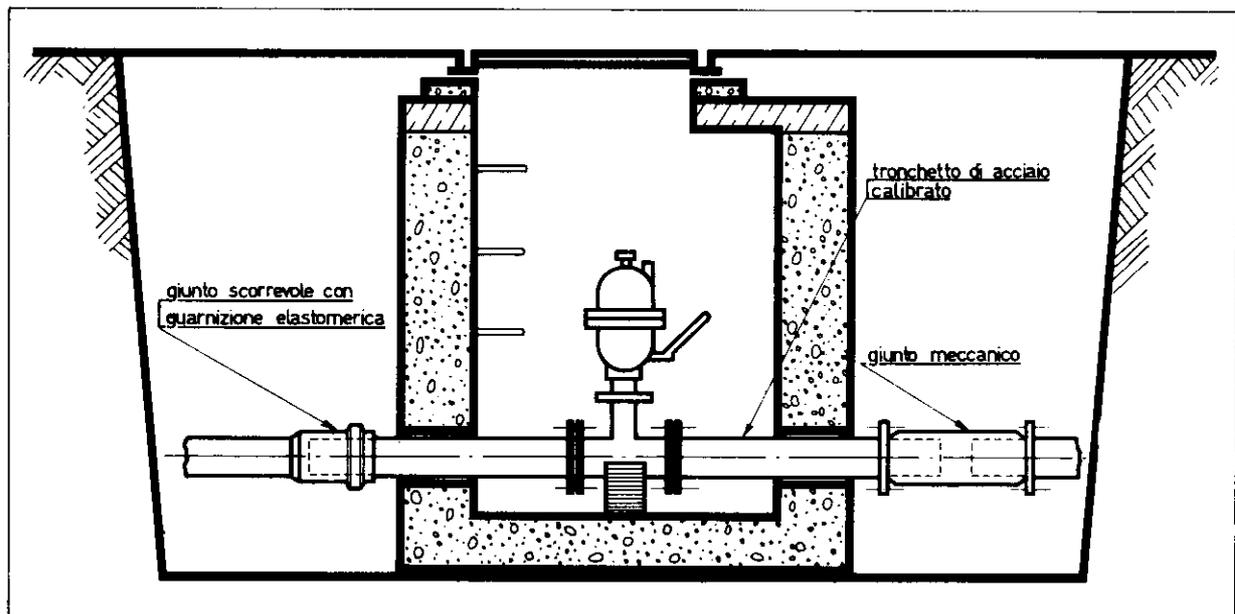


Fig. 14 - Pozzetto per il contenimento di apparecchiature

Capitolo 11: CONDOTTE SOSPENSE

Per le distanze fra gli appoggi si veda il prospetto II nel quale le distanze fra gli appoggi sono

calcolate con la seguente formula:

$$L = 20 \sqrt{(x-y) t} s$$

dove:

- L = distanza appoggi in cm
- x = 23 a 20 °C
- y = 0,2 a 20 °C
- t = temperatura di esercizio °C, assunta uguale a 20 °C
- s = spessore del tubo in mm

valida oltre che per l'acqua per i fluidi aventi peso specifico inferiore a 1,35.

L'appoggio deve essere realizzato a forma di culla e per un angolo di almeno 90°. La lunghezza della culla deve essere uguale al diametro del tubo.

Prospetto II: Distanza fra gli appoggi in cm per condotte di PVC rigido sospese, alla temperatura di 20 °C, nel convogliamento di acqua potabile.

D = diametro esterno del tubo in mm

PN = pressione nominale in kgf/cm² a 20 °C; per tubi di PVC categoria $\sigma = 100$.

D mm	Distanza appoggi in cm			
	PN 4 (serie 1)	PN 6 (serie 2)	PN 10 (serie 3)	PN 16 (serie 4)
50	—	115	135	170
63	115	120	150	190
75	115	130	165	205
90	115	145	180	225
110	130	160	200	250
125	140	170	215	265
140	145	175	225	275
160	155	190	240	300
180	165	200	255	320
200	175	215	270	340
225	185	225	285	—
250	195	235	300	—
280	205	250	320	—
315	215	265	340	—
355	230	280	—	—
400	245	300	—	—
450	260	—	—	—
500	270	—	—	—
560	290	—	—	—
630	310	—	—	—

Capitolo 12: PRESE IN CARICO PER UTENZE PRIVATE E DIRAMAZIONI SECONDARIE

Come per tutti gli altri materiali, anche per le condotte di PVC in esercizio è possibile effettuare derivazioni per utenze private o diramazioni secondarie mediante prese a staffa preferibilmente di PVC oppure metalliche normalmente reperibili sul mercato.

L'esecuzione della presa viene effettuata con le identiche modalità usate per gli altri materiali. La foratura del tubo in pressione viene effettuata con l'apposita macchinetta fora-tubi che garantisce una sicura esecuzione del lavoro senza provocare danni alla condotta.

Capitolo 13: CARATTERISTICHE GENERALI DEI TUBI E DEI RACCORDI DI PVC RIGIDO

I tubi e i raccordi di PVC rigido (non plastificato) in un primo tempo prodotti per l'industria chimica data la loro particolare ed eccezionale resistenza agli aggressivi chimici, hanno sin dall'inizio richiamato l'attenzione e l'interesse dei progettisti e degli installatori di condutture per il convogliamento e la distribuzione di acqua potabile. Ciò particolarmente in quelle regioni nelle quali la natura acquinitrosa e salmastra del terreno comprometteva la durata dei tubi metallici e cementizi. Il problema della resistenza alla corrosione si pone per molti terreni ed è reso ancora più critico dall'estendersi delle condutture elettriche e dalla conseguente corrosione elettrolitica dei tubi metallici dovuta alle correnti vaganti.

Ma oltre al fattore esterno esiste, nelle condutture d'acqua, anche un fattore interno: quantitativo e qualitativo.

Il PVC, chimicamente inerte nei confronti dei sali disciolti nell'acqua, evita le incrostazioni, prevalentemente calcaree, che in molti casi si formano sulla superficie interna dei tubi metallici riducendo la sezione utile e quindi la portata in esercizio: incrostazioni che, data la loro struttura nodulare e porosa, possono essere ricettacolo di microrganismi vegetali ed animali che, se non sono nocivi, influiscono più o meno sensibilmente sulla purezza dell'acqua e sulle sue caratteristiche organolettiche. Inoltre, poichè la disponibilità di acqua di sorgente o di pozzi artesiani è ormai alquanto ridotta, si pone sempre più impellente l'utilizzazione dell'acqua dei fiumi e dei laghi in grandi impianti di filtrazione e di potabilizzazione a base di reagenti chimici: Ciò propone e impone per gli acquedotti dei materiali che resistano nel tempo anche all'aggressione chimica.

I tubi di PVC, oltre resistere alla corrosione chimica ed elettrochimica e ad avere una superficie liscia e non incroscabile, assicurano una assoluta impermeabilità evitando ogni possibile diffusione di sostanze nocive dal terreno circostante.

Essi presentano altre caratteristiche vantaggiose quali:

- una elevata resistenza alla degradazione per invecchiamento o per azione dell'ossigeno atmosferico e una completa resistenza all'attacco di funghi, muffe ed agenti batterici;
- una portata superiore ai tubi metallici o cementizi data la loro superficie liscia e il basso coefficiente di scabrezza, che consente di mantenere minime perdite di carico anche nel tempo;
- una certa flessibilità che consente una adattabilità alle ondulazioni e agli eventuali assestamenti del terreno senza comportare sollecitazioni dannose ai giunti, e una certa elasticità che riduce l'entità delle sovrappressioni dovute ai colpi d'ariete;
- una leggerezza che consente notevoli economie nelle spese di trasporto e di posa;
- una facilità di installazione dovuta alla buona lavorabilità del materiale; una facilità di giunzione dei singoli elementi con bicchieri o manicotti incollati o con giunzioni con guarnizione elastomerica, che garantiscono in ogni caso una perfetta tenuta;
- una garanzia di qualità definita dalle norme UNI vigenti e dal marchio di conformità alle stesse norme, sotto il controllo dell'Istituto Italiano dei Plastici.

Nei confronti della resistenza meccanica, occorre tenere in debito conto per il PVC, a differenza dei materiali metallici e cementizi, dell'influenza della temperatura e della durata dello sforzo nel tempo. Nel caso degli acquedotti però, trattandosi di tubazioni interrate, con limitate oscillazioni di temperatura dell'acqua, ci si può riferire ad una temperatura convenzionale e costante di 20 °C.

Rimane da esaminare invece in dettaglio l'effetto nel tempo degli sforzi determinati dalla pressione interna nei tubi, in rapporto alle caratteristiche viscoelastiche del PVC.

I fenomeni viscoelastici sono comuni ad altri materiali, come ad es. ai metalli, ma mentre per questi essi si manifestano in misura evidente a temperature piuttosto elevate (per es. per l'acciaio sopra i 400 °C) per i plastici sono già sensibili a temperatura ordinaria quando la sollecitazione supera un certo limite.

Per il PVC il valore della resistenza meccanica in trazione, rilevabile dalla fig. 15, si riferisce ad una sollecitazione rapidamente crescente nel tempo tale da produrre la rottura in circa 30 secondi (velocità di trazione 25 mm/min). In questo caso la curva σ/ϵ — sforzi/allungamenti — ha un andamento praticamente rettilineo, e quindi di proporzionalità tra sforzi e deformazioni secondo la legge di Hooke, solo nel primo tratto sino ad un valore di ϵ di circa 1%.

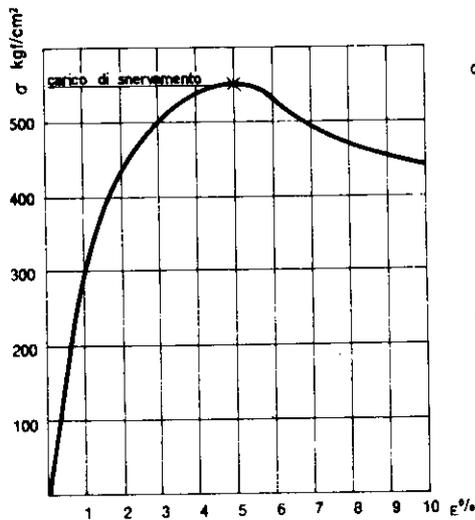


Fig. 15 - Curva di trazione a 20 °C velocità 25 mm/min.

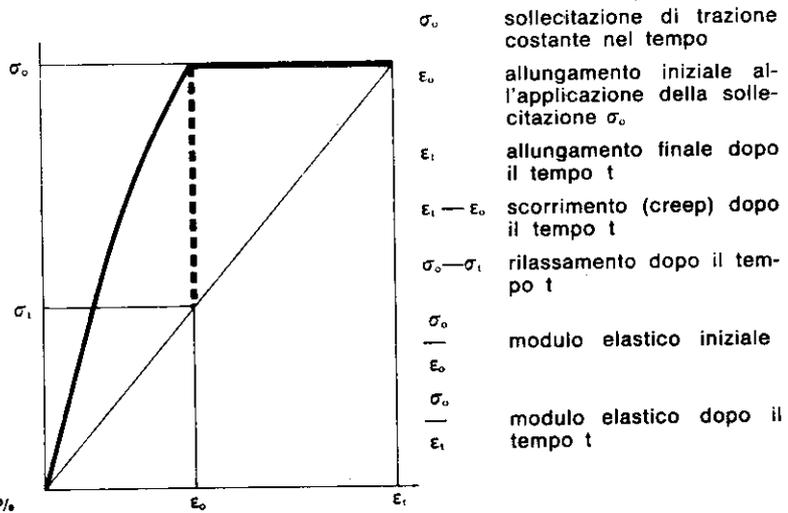


Fig. 16 - Curva tipica di scorrimento viscoelastico nel tempo, a temperatura costante

Oltre questo limite, a differenza dei metalli, la linea ha un andamento curvo con allungamenti gradualmente crescenti in rapporto all'incremento di carico. Questo comportamento è messo meglio in evidenza se la stessa provetta di PVC è sottoposta ad uno sforzo costante inferiore al limite di snervamento: ad una deformazione istantanea elastica fa seguito una deformazione permanente che aumenta progressivamente nel tempo. A questa deformazione, dovuta allo scorrimento molecolare sotto sforzo permanente («creep» in inglese, «fluage» in francese), fa riscontro una diminuzione di resistenza per rilassamento da fatica, che può portare alla rottura ad un carico che, riferito alla sezione iniziale, è notevolmente inferiore a quello corrispondente alla rottura istantanea (fig. 16).

Ciò significa che i valori della sollecitazione ammissibile da introdurre nel calcolo degli spessori debbono essere ricavati da prove di durata con sollecitazione e temperatura costanti nel tempo. Nel caso dei tubi queste prove si realizzano praticamente imponendo, in un tempo prefissato, una pressione interna costante ad una data temperatura.

Il valore di sollecitazione ammissibile che interessa nella pratica è correntemente riferito ad una durata del tubo di 50 anni; tale valore non è sperimentalmente valutabile e pertanto, per ridurre la durata della prova, le norme attualmente esistenti nel mondo sono state basate sull'aumento della temperatura di prova; questo ha permesso di conoscere meglio l'andamento nel tempo del fenomeno e quindi di estrapolare il valore che interessa a 50 anni con maggiore approssimazione.

Nella pratica, come per qualsiasi altro materiale, tali valori di sollecitazione a rottura dopo un tempo prefissato vengono ridotti attraverso un coefficiente di sicurezza che tiene conto principalmente della estrapolazione eseguita come anche di eventuali semplificazioni contenute nei calcoli degli spessori.

I coefficienti di sicurezza adottati nei vari paesi europei si aggirano su valori di 2,5-3, anche se in alcuni casi si è voluto tener conto della variazione del rapporto D/s per una stessa serie di pressione riducendo il coefficiente di sicurezza per i tubi di maggiore diametro.

I valori di sollecitazione a rottura nel tempo ad una prefissata temperatura dipendono in ogni caso dalle caratteristiche della materia prima utilizzata e dai processi di lavorazione che questa subisce nella trasformazione in tubo.

Si può qui osservare che lo sviluppo tecnologico degli ultimi dieci anni ha permesso di ottenere, attraverso uno studio strettamente connesso tra materia prima e tecnologia di trasformazione, un elevamento dei valori di rottura nel tempo.

Per quanto concerne la normativa italiana, la situazione è rappresentata, per i tubi e per i raccordi, dalle norme UNI 7441-75 e 7448-75, 7442-75 e 7449-75.

La norma UNI 7441-75 prevede a 20 °C, cinque serie di spessori che corrispondono a due diverse serie di pressioni nominali a seconda che si tratti di tubi che superino valori di prova che ammettano sollecitazione ammissibile di 60 kgf/cm² o che ammettano sollecitazione ammissibile di 100 kgf/cm².

La norma UNI 7441-75, prendendo in esame due valori di σ (60 e 100 kgf/cm²) va considerata una norma di comodo per favorire il passaggio della nostra industria dal σ 60 al σ 100 già introdotto da anni ed in uso presso i più importanti paesi ed industrie europei e presso l'Ente internazionale di normalizzazione ISO. E' quindi verso il σ 100 che è orientata tutta l'industria italiana; questo valore viene pertanto consigliato dall'Istituto Italiano dei Plastici.

Per i tubi di PVC σ 100 la norma UNI 7441-75 prevede le seguenti pressioni nominali PN alla temperatura di 20 °C:

PN 4 — 6 — 10 — 16 kgf/cm² (rispettivamente serie 1-2-3-4 della norma UNI 7441-75)

Tutti i calcoli e i valori riportati nelle tabelle che seguono, sono relativi ai tubi di PVC σ 100.

13.1 Calcolo delle frecce massime ammissibili a freddo nelle condotte di PVC con giunzioni ad incollaggio (si veda capitolo 8, prospetto I)

Si sono poste le seguenti ipotesi di calcolo:

- impiego di tubi di PVC σ 100 kgf/cm² a 20 °C con pressioni nominali 4-6-10-16 kgf/cm²;
- esercizio continuo;
- la barra di 6 m o rispettivamente di 12 m viene considerata come una trave appoggiata agli estremi con carico uniformemente distribuito.

In conseguenza di quanto sopra indicato la freccia massima f_m in mezzzeria vale:

$$f_m = 0,0065 \frac{P l^3}{E i} \quad \text{dove } P = \frac{8 \sigma W}{l} (*)$$

(*) In realtà la teoria dell'elasticità fornisce, nell'ipotesi di cui sopra, il valore 0,013 del coefficiente della formula. Questo valore è stato ridotto alla metà per tenere conto che il tubo è sollecitato assialmente anche dalla pressione interna.

Il significato dei simboli è il seguente:

l = lunghezza libera della trave in mm (rispettivamente 6000 e 12000 mm)

E = modulo di elasticità del PVC che si assume pari a 300 kgf/mm²

i = momento di inerzia della sezione del tubo $\cong 0,05 (D^4 - d^4)$ in mm⁴

σ = sollecitazione ammissibile in esercizio continuo (100 kgf/cm²)

W = modulo di resistenza della sezione $\cong 0,1 \frac{D^4 - d^4}{D}$ in mm³

D = diametro esterno del tubo in mm

d = diametro interno del tubo in mm

13.2 Colpo d'ariete

Un elemento che occorre valutare è la sovrappressione che si genera in una condotta per effetto del «colpo di ariete» conseguente all'interruzione del flusso per azionamento di una saracinesca.

Questa sovrappressione, come è noto, dipende dal tempo di manovra della saracinesca, dalla velocità e dalle caratteristiche del liquido trasportato e infine dalla deformabilità elastica del tubo. E poichè i tubi di PVC presentano, rispetto a quelli metallici e cementizi, particolari caratteristiche di elasticità ne consegue che le sovrappressioni per colpi d'ariete nelle tubazioni di PVC sono notevolmente inferiori a quelle che si generano nei tubi prevalentemente rigidi. Ciò è confermato anche dal calcolo che segue.

La sovrappressione Δh misurata in m di colonna d'acqua, determinata dalla chiusura istantanea di una saracinesca, è data dalla formula di Allievi:

$$\Delta h = \frac{c}{g} V_0$$

nella quale

$$c = \frac{C}{\sqrt{1 + \frac{\epsilon D}{E s}}}$$

dove:

c = celerità di propagazione della perturbazione in m/s

g = accelerazione di gravità in m/s²

V_0 = velocità dell'acqua all'inizio della chiusura in m/s

C = velocità del suono nell'acqua a 15 °C = 1420 m/s

ϵ = modulo di elasticità di volume dell'acqua = $2 \cdot 10^8$ kgf/m²

E = modulo di elasticità del materiale costituente il tubo in kgf/m^2
 D = diametro del tubo in m
 s = spessore del tubo in m

I valori del modulo di elasticità E e del rapporto ϵ/E sono rispettivamente:

	E	ϵ/E
per il PVC	$3 \cdot 10^8 \text{ kgf/m}^2$	0,7
per l'acciaio	$210 \cdot 10^8 \text{ kgf/m}^2$	0,01
per l'amianto cemento	$20 \cdot 10^8 \text{ kgf/m}^2$	0,1
per la ghisa	$105 \cdot 10^8 \text{ kgf/m}^2$	0,02

La sovrappressione massima si genera quando il tempo di chiusura è inferiore o uguale alla durata della fase ossia al tempo, in secondi, di propagazione della perturbazione dalla saracinesca al serbatoio di carico e ritorno $\tau = 2 L/c$.

Nella tabella che segue sono riportati gli elementi sopra considerati, riferiti ai tubi di PVC rigido (non plastificato) $\sigma 100$.

Sovrapressioni dovute al colpo d'ariete in condotte di 1000 metri di lunghezza convoglianti acqua alla velocità di 1 m/s

	Pressione nominale kgf/cm^2			
	4 (serie 1)	6 (serie 2)	10 (serie 3)	16 (serie 4)
s/D	0,02	0,029	0,048	0,075
$c \text{ m/s}$	242	288	367	419
$\tau \text{ s}$	8,3	6,9	5,4	4,8
$\Delta h \text{ m}$	25	29	37	42

Come si rileva la sovrappressione massima varia con la rigidità (rapporto s/D) da 25 a 42 metri. Nei tubi di PVC a causa del basso modulo di elasticità la sovrappressione è inferiore a quella di tubi di materiali più rigidi. Per l'acciaio ad es. essa raggiunge valori di $90 \div 130$ metri, pari a circa 3 volte quella dei tubi di PVC.

13.3 Formule, abaco e tabelle delle perdite di carico

I tubi di PVC nei confronti della resistenza per attrito idraulico appartengono alla categoria definita degli «estremamente lisci» e mantengono costante questa caratteristica in esercizio, contrariamente a quanto si può verificare ad es. con i tubi metallici.

Il calcolo delle perdite di carico può essere eseguito con la comoda formula monomia di Darcy:

$$J = \beta \frac{Q^2}{d^5}$$

dove:

J = perdita di carico in m/m

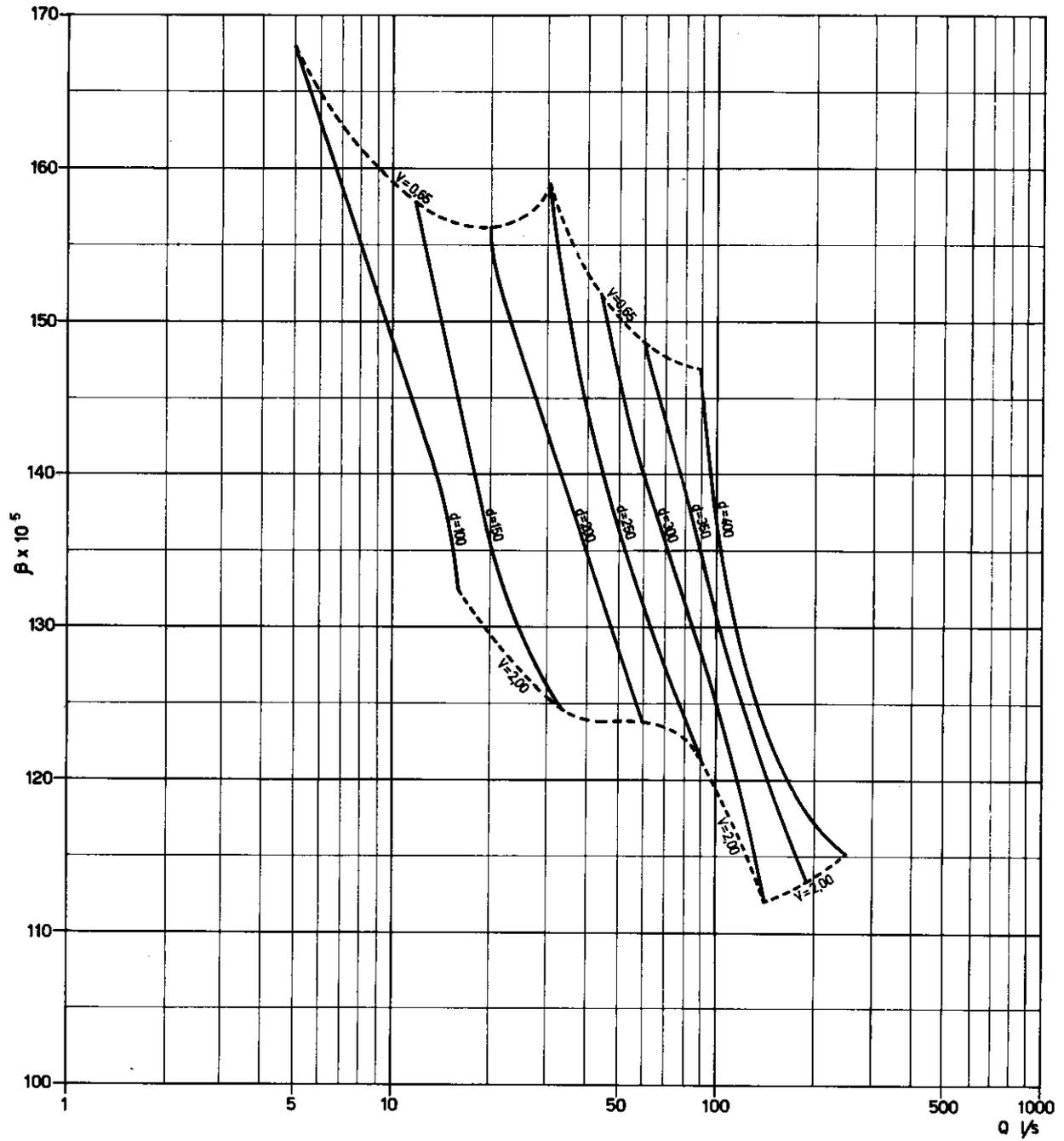
Q = portata in m^3/s

d = diametro interno in m

e dove il coefficiente β ha un valore sempre inferiore a quello degli altri materiali correntemente impiegati per tubi. Il suo valore non è però costante ma varia con la portata e col diametro della condotta: il grafico seguente consente di ricavare il valore di β in funzione di questi due parametri, per valori di velocità compresi fra 0,65 e 2 m/s.

Le due curve tratteggiate che delimitano il grafico superiormente ed inferiormente sono appunto quelle che uniscono i punti aventi le velocità sopra indicate.

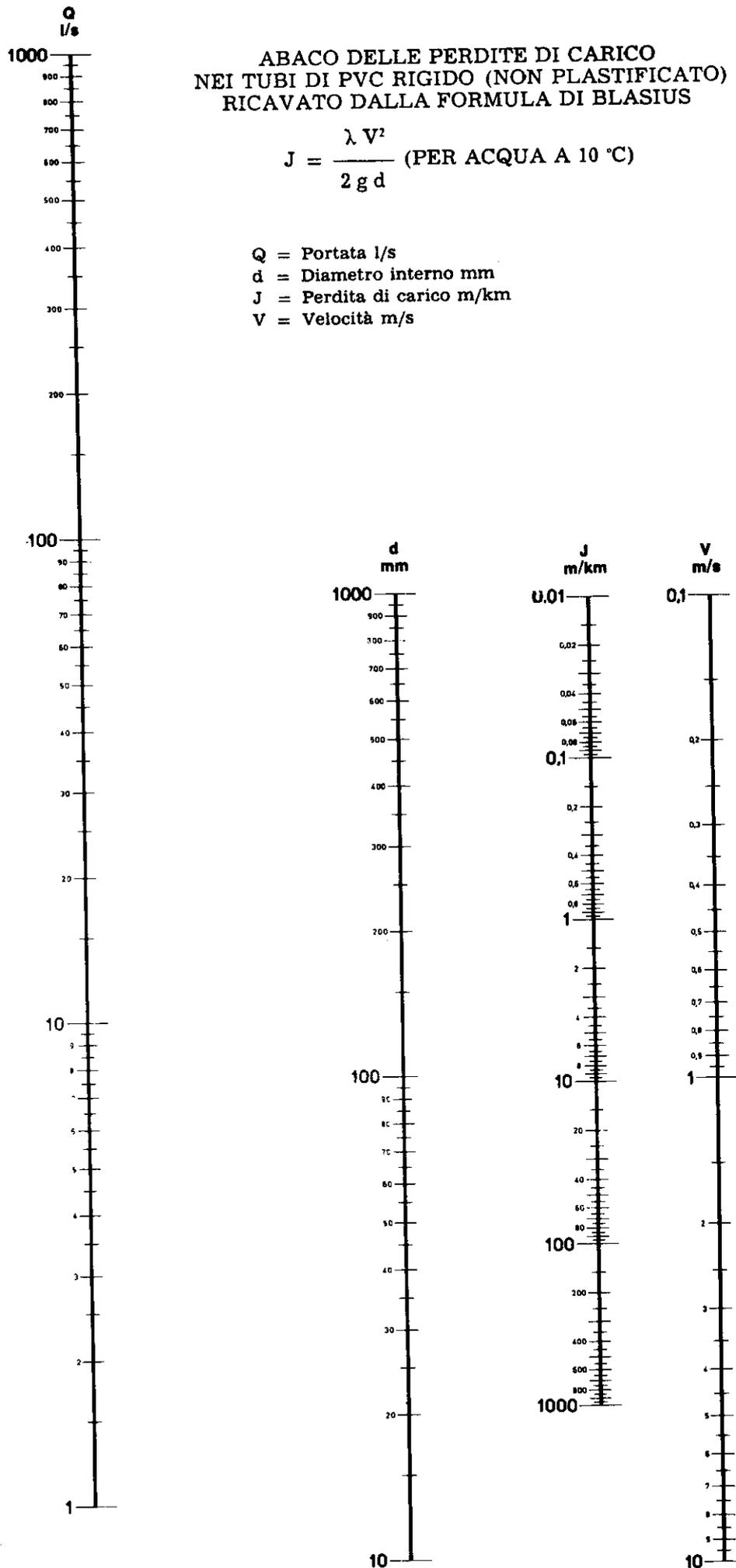
VALORE DEL COEFFICIENTE β IN FUNZIONE DELLA PORTATA E DEL DIAMETRO DELLA CONDOTTA



**ABACO DELLE PERDITE DI CARICO
NEI TUBI DI PVC RIGIDO (NON PLASTIFICATO)
RICAVATO DALLA FORMULA DI BLASIUS**

$$J = \frac{\lambda V^2}{2 g d} \quad (\text{PER ACQUA A } 10 \text{ }^\circ\text{C})$$

- Q** = Portata l/s
d = Diametro interno mm
J = Perdita di carico m/km
V = Velocità m/s



L'abaco dà le perdite di carico per acqua a 10 °C nei tubi di PVC rigido (non plastificato) ricavate dalla formula di Blasius:

$$J = \frac{\lambda V^2}{2 g d}$$

dove:

J = perdita di carico m/km
 λ = coefficiente di perdita di carico
V = velocità m/s
g = accelerazione di gravità m/s²
d = diametro interno del tubo mm

Il coefficiente di perdita di carico λ è funzione del numero di Reynolds (Re):

$$Re = \frac{V d}{\nu}$$

dove:

ν = viscosità cinematica del fluido in m²/s

Nelle tabelle sono riportate le perdite di carico (ricavate dall'abaco per interpolazione) per le diverse classi di pressione, per portate da 1,5 a 750 l/s, nei limiti di velocità da 0,50 a 2,50 m/s, per numeri di Reynolds compresi tra 40.000 e 1.000.000.

13.4 Caratteristiche generali del PVC a 20 °C

A titolo indicativo si danno alcune caratteristiche del PVC rigido (non plastificato) alla temperatura di 20 °C.

Massa volumica (UNI 7092-72)	kg/dm ³	1,37 ÷ 1,45
Resistenza a trazione (a snervamento) (UNI 5819-66)	kgf/cm ²	≥ 480
Allungamento a trazione (a snervamento) (UNI 5819-66)	%	< 10
Modulo di elasticità a trazione (UNI 5819-66)	kgf/cm ²	~ 30.000
Coefficiente di dilatazione termica lineare (UNI 6061-67)	mm/m °C	0,06 ÷ 0,08
Calore specifico	kcal/kg °C	~ 0,24
Conducibilità termica (DIN 52612)	kcal/h m °C	~ 0,13
Resistività superficiale (UNI 4288-72)	Ohm cm	> 10 ¹²

13.5 Dimensioni e pesi dei tubi di PVC per acquedotti

Nel prospetto III sono riportati le dimensioni ed i pesi dei tubi di PVC rigido (non plastificato) σ 100 per acquedotti.

A parità di diametro e di spessore i tubi di PVC pesano circa 1/5 di quelli di acciaio e circa la metà di quelli di amianto-cemento.

Prospetto III: Dimensioni e pesi dei tubi di PVC categoria σ 100, per acquedotti

Pesi calcolati mettendo in conto lo spessore teorico (cioè derivante dal calcolo) maggiorato del 50% della tolleranza e la massa volumica 1,42 kg/dm³.

D = diametro esterno in mm

s = spessore teorico in mm

d = diametro interno in mm

P = peso in kg/m

D	PN 4 (serie 1)			PN 6 (serie 2)			PN 10 (serie 3)			PN 16 (serie 4)		
	s	d	P	s	d	P	s	d	P	s	d	P
50	—	—	—	1,8	46,4	0,43	2,4	45,2	0,56	3,7	42,6	0,87
63	1,8	59,4	0,54	1,9	59,2	0,57	3	57	0,87	4,7	53,6	1,4
75	1,8	71,4	0,64	2,2	70,6	0,72	3,6	67,8	1,25	5,6	63,8	1,75
90	1,8	86,4	0,8	2,7	84,6	1,1	4,3	81,4	1,8	6,7	76,6	2,6
110	2,2	105,6	1,2	3,2	103,6	1,7	5,3	99,4	2,7	8,2	93,6	4
125	2,5	120	1,3	3,7	117,6	2,2	6	113	3,3	9,3	106,4	5,1
140	2,8	134,4	1,9	4,1	131,8	2,7	6,7	126,6	4,3	10,4	119,2	6,6
160	3,2	153,6	2,4	4,7	150,6	3,6	7,7	144,6	5,6	11,9	136,2	8,2
180	3,6	172,8	3	5,3	169,4	4,4	8,6	162,8	7	13,4	153,2	10,5
200	4	192	3,9	5,9	188,2	5,6	9,6	180,8	8,5	14,9	174,2	13,1
225	4,5	216	4,8	6,6	211,8	6,7	10,8	203,4	11	—	—	—
250	4,9	240,2	5,9	7,3	235,4	8,5	11,9	226,2	13,3	—	—	—
280	5,5	269	6,5	8,2	263,6	10,7	13,4	253,2	16,7	—	—	—
315	6,2	302,6	9,8	9,2	299,6	13,2	15	285	21,2	—	—	—
355	7	341	12,8	10,4	334,2	17	—	—	—	—	—	—
400	7,9	384,2	15,1	11,7	376,6	22,2	—	—	—	—	—	—
450	8,9	432,2	18,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
500	9,8	480,4	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—
560	11	538	28,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
630	12,4	605,2	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—

VELOCITÀ E PERDITA DI CARICO IN PUNZIONE DELLA PORTATA PER I TUBI DI PVC RIGIDO UNI PN 6 (serie 2) PER $\sigma = 100$, PER ACQUA A 10 °C
 $Q =$ Portata l/s $V =$ Velocità m/s $J =$ Perdita di carico m/km $D =$ Diametro esterno mm

Q	D 50		D 63		D 75		D 90		D 110		D 125		D 140		D 160		D 180		D 200		D 225		D 250		D 280		D 315		D 355		D 400		
	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	
1.5	0.90	18.5	0.55	5.8																													
2.0	1.20	32.0	0.74	10.0	0.52	4.2																											
2.5	1.50	47.8	0.92	15.0	0.64	6.3	0.45	2.7																									
3.0	1.80	67.0	1.11	20.8	0.77	9.8	0.54	3.7																									
3.5	2.10	88.0	1.29	27.5	0.90	11.7	0.63	4.9																									
4.0	2.40	112.0	1.47	35.0	1.03	15.0	0.72	6.3	0.48	2.3																							
4.5			1.66	43.5	1.17	18.8	0.81	7.8	0.54	2.9																							
5.0			1.84	52.2	1.29	22.5	0.90	9.5	0.60	3.5	0.46	1.9																					
5.5			2.03	63.0	1.42	27.0	0.99	11.2	0.66	4.2	0.51	2.3																					
6.0			2.20	73.0	1.55	31.0	1.08	13.2	0.72	4.9	0.56	2.7																					
6.5			2.40	85.0	1.69	36.0	1.17	15.2	0.78	5.7	0.61	3.1	0.48	1.8																			
7.0			1.80	41.0	1.26	17.4	0.84	6.5	0.85	3.5	0.52	2.1																					
7.5			1.93	46.5	1.36	20.0	0.90	7.4	0.70	4.0	0.56	2.4																					
8.0			2.07	52.5	1.45	23.0	0.96	8.3	0.75	4.5	0.59	2.6																					
8.5			2.19	59.0	1.54	25.2	1.02	9.4	0.79	5.1	0.63	3.0	0.48	1.5																			
9.0			2.32	65.5	1.63	27.9	1.08	10.4	0.84	5.6	0.67	3.3	0.51	1.7																			
9.5			2.46	72.0	1.72	30.8	1.14	11.5	0.89	6.2	0.71	3.6	0.54	1.9																			
10			1.81	32.7	1.20	12.6	0.83	6.8	0.74	4.0	0.57	2.1	0.45	1.2																			
12			2.17	46.5	1.44	17.5	1.12	9.5	0.89	5.5	0.68	2.8	0.54	1.8																			
14			1.88	33.4	1.30	11.8	1.04	7.3	0.79	3.8	0.62	2.1	0.51	1.4																			
16			1.92	29.5	1.49	16.0	1.19	9.4	0.91	4.8	0.71	2.7	0.58	1.6	0.46	1.0																	
18			2.15	36.2	1.67	19.7	1.34	11.5	1.02	6.0	0.80	3.4	0.65	2.0	0.52	1.2																	
20			2.38	44.3	1.86	24.1	1.48	14.0	1.14	7.4	0.89	4.1	0.72	2.5	0.57	1.4	0.46	0.8															
25			2.92	56.1	2.32	36.2	1.85	20.1	1.42	11.0	1.11	6.1	0.91	3.7	0.72	2.1	0.58	1.3	0.46	0.8													
30			2.77	50.0	2.21	29.4	1.69	15.3	1.33	8.7	1.08	5.2	0.86	3.0	0.69	1.8	0.56	1.0	0.44	0.6													
35			2.58	38.5	1.98	20.5	1.58	11.4	1.26	6.9	1.00	3.9	0.81	2.3	0.65	1.4	0.51	0.8															
40			2.28	25.9	1.78	14.5	1.44	8.9	1.15	5.0	0.92	3.0	0.74	1.8	0.59	1.0	0.48	0.6															
45			2.53	32.0	2.00	18.3	1.63	11.0	1.29	6.3	1.04	3.7	0.83	2.2	0.66	1.2	0.52	0.7															
50			2.23	22.2	1.81	13.3	1.43	7.6	1.16	4.5	0.93	2.7	0.73	1.5	0.58	0.8																	
55			1.99	15.8	1.58	9.0	1.27	5.4	1.02	3.1	0.81	1.8	0.64	1.0	0.50	0.6																	
60			2.15	18.6	1.72	10.5	1.38	6.3	1.11	3.6	0.88	2.1	0.69	1.2	0.54	0.7																	
65			2.33	21.5	1.87	12.3	1.50	7.2	1.20	4.3	0.95	2.4	0.75	1.4	0.59	0.8																	
70			2.00	14.0	1.61	8.3	1.29	4.9	1.02	2.8	0.81	1.6	0.64	0.9																			
75			2.15	16.2	1.72	9.4	1.36	5.5	1.10	3.2	0.87	1.8	0.68	1.0																			
80			2.30	17.9	1.84	10.7	1.48	6.3	1.17	3.6	0.92	2.0	0.73	1.1																			
85			2.43	20.0	1.95	11.8	1.58	7.0	1.24	4.0	0.98	2.2	0.77	1.2																			
90			2.07	13.1	1.65	7.7	1.31	4.4	1.04	2.5	0.82	1.4	0.68	0.9																			
95			2.18	14.3	1.75	8.5	1.39	4.9	1.10	2.8	0.86	1.5	0.72	1.0																			
100			2.29	15.8	1.84	9.4	1.46	5.3	1.15	3.0	0.91	1.7	0.76	1.1																			
110			2.52	18.7	2.03	11.2	1.60	6.3	1.27	3.5	0.99	2.0																					
120			2.21	13.0	1.74	7.4	1.38	4.2	1.08	2.3																							
130			2.38	15.0	1.89	8.7	1.49	4.9	1.16	2.7																							
140			2.18	11.2	1.72	6.3	1.38	3.5																									
150			2.33	12.5	1.84	7.0	1.45	4.0																									
170			2.47	14.0	1.95	7.9	1.54	4.5																									
180			2.07	8.7	1.63	4.9																											
190			2.19	9.8	1.72	5.4																											
200			2.32	10.8	1.81	5.9																											
220			2.53	13.0																													
240			2.17	8.3																													
260			2.33	9.6																													
280			2.52	10.9																													

VELOCITA' E PERDITA DI CARICO IN FUNZIONE DELLA PORTATA PER I TUBI DI PVC RIGIDO UNI PN 10 (serie 3) PER $\sigma = 100$, PER ACQUA A 10 °C

Q = Portata l/s V = Velocità m/s J = Perdita di carico m/km D = Diametro esterno mm

Q	D 50		D 63		D 75		D 90		D 110		D 125		D 140		D 160		D 180		D 200		D 225		D 250		D 280		D 315			
	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J	V	J		
1,5	0,94	20,9	0,59	6,9																										
2,0	1,25	35,4	0,79	11,8	0,56	5,1																								
2,5	1,57	53,5	0,99	17,5	0,70	7,7	0,47	3,2																						
3,0	1,88	75,0	1,18	24,5	0,84	10,8	0,58	4,4																						
3,5	2,18	98,0	1,38	32,2	0,98	14,2	0,68	5,8	0,45	2,3																				
4,0	2,52	127,0	1,58	41,8	1,12	18,2	0,77	7,5	0,52	2,9																				
4,5			1,78	51,8	1,26	22,5	0,87	9,2	0,58	3,6																				
5,0			1,98	62,2	1,40	27,1	0,97	11,1	0,65	4,3	0,50	2,3																		
5,5			2,17	74,2	1,54	32,2	1,07	13,4	0,71	5,1	0,55	2,8																		
6,0			2,37	86,8	1,68	38,0	1,16	15,7	0,78	6,0	0,60	3,2	0,48	1,9																
6,5			2,57	100,0	1,82	44,0	1,26	18,1	0,84	6,9	0,65	3,7	0,52	2,2																
7,0					1,96	50,0	1,36	20,8	0,91	7,9	0,70	4,3	0,56	2,5																
7,5					2,10	57,0	1,45	23,5	0,97	9,0	0,75	4,8	0,60	2,8																
8,0					2,24	64,0	1,55	26,4	1,04	10,1	0,80	5,4	0,64	3,2	0,49	1,7														
8,5					2,38	72,0	1,65	29,8	1,10	11,2	0,85	6,1	0,68	3,5	0,52	1,8														
9,0					2,52	79,0	1,74	32,4	1,16	12,4	0,90	6,7	0,72	3,9	0,55	2,1														
9,5							1,84	36,0	1,23	13,9	0,95	7,4	0,76	4,3	0,58	2,3														
10							1,94	39,8	1,30	15,3	1,00	8,2	0,80	4,8	0,61	2,5	0,48	1,4												
12							2,30	54,0	1,55	21,2	1,20	11,4	0,95	6,5	0,73	3,4	0,58	2,0	0,47	1,2										
14							2,68	71,6	1,81	28,0	1,40	15,0	1,11	8,7	0,85	4,5	0,67	2,6	0,55	1,6										
16									2,07	35,9	1,60	19,2	1,28	11,1	0,97	5,8	0,77	3,3	0,62	2,0	0,49	1,1								
18									2,32	44,2	1,80	23,9	1,43	13,8	1,10	7,2	0,87	4,1	0,70	2,5	0,55	1,4								
20									2,58	53,9	2,00	29,0	1,60	16,9	1,22	8,8	0,97	5,0	0,78	3,0	0,62	1,7	0,50	1,0						
25											2,50	43,5	2,00	25,4	1,53	13,2	1,21	7,5	0,98	4,5	0,77	2,6	0,63	1,6	0,50	0,9				
30													2,40	35,0	1,83	18,4	1,45	10,5	1,18	6,3	0,92	3,6	0,75	2,2	0,60	1,3	0,48	0,7		
35													2,80	46,4	2,13	24,5	1,89	14,0	1,37	8,5	1,07	4,7	0,87	2,9	0,70	1,7	0,55	0,9		
40														2,45	31,0	1,94	18,0	1,56	10,8	1,23	6,0	1,00	3,6	0,80	2,1	0,63	1,2			
45														2,75	36,0	2,18	22,3	1,76	13,4	1,39	7,5	1,13	4,5	0,90	2,8	0,71	1,5			
50														2,42	27,0	1,96	16,3	1,54	9,0	1,25	5,5	1,00	3,2	0,79	1,8					
55														2,66	32,0	2,15	19,2	1,70	10,8	1,37	6,5	1,10	3,8	0,87	2,1					
60															2,34	22,5	1,85	12,7	1,50	7,7	1,20	4,4	0,94	2,5						
65															2,54	32,0	2,00	14,8	1,62	9,0	1,30	5,1	1,02	2,9						
70																2,15	16,8	1,75	10,2	1,40	5,9	1,10	3,3							
75																2,30	19,0	1,88	11,6	1,50	6,7	1,18	3,7							
80																2,45	21,5	2,00	13,0	1,60	7,5	1,26	4,2							
85																2,60	24,0	2,13	14,5	1,70	8,4	1,34	4,7							
90																	2,25	16,0	1,80	9,3	1,41	5,2								
95																	2,37	17,9	1,90	10,2	1,49	5,8								
100																	2,50	19,5	2,00	11,2	1,57	6,4								
110																														
120																														
130																														
140																														
150																														
160																														