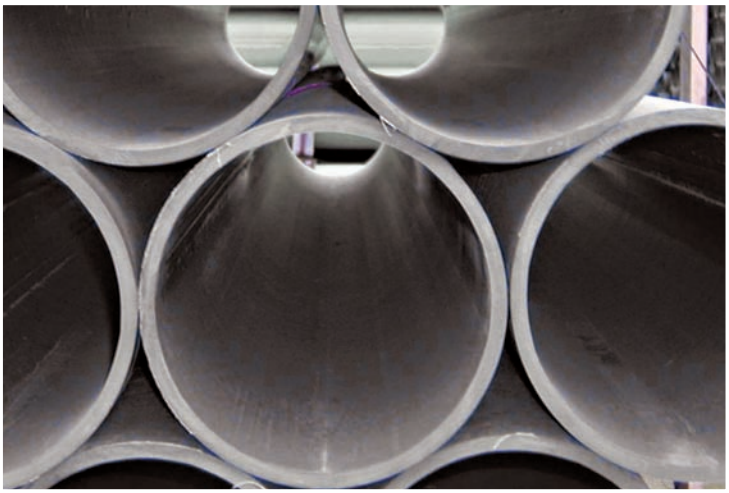
1

LE CONDOTTE IN PVC

www.tubipvc.it

Progetto, posa in opera e verifica di acquedotti, fognature ed impianti tecnici



le condotte
in
PVC

le condotte in PVC

progetto, posa in opera e verifica
di acquedotti, fognature ed impianti tecnici

La pubblicazione è realizzata con particolare attenzione alla scelta del supporto cartaceo ed ai processi di stampa per ridurne l'impatto ambientale.

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore. Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'uso di figure e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla riproduzione su microfilm o in database, alla diversa riproduzione in qualsiasi altra forma (stampa o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. Una riproduzione di quest'opera, oppure di parte di questa, è anche nel caso specifico solo ammessa nei limiti stabiliti dalla legge sul diritto d'autore, ed è soggetta all'autorizzazione scritta dell'Editore. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

L'utilizzo di denominazioni generiche, nomi commerciali, marchi registrati, ecc, in quest'opera, anche in assenza di particolare indicazione, non consente di considerare tali denominazioni o marchi liberamente utilizzabili da chiunque ai sensi della legge sul marchio.

Editing editoriale a cura di Ing. Marco Piana
Progetto grafico e stampa Jona srl, Paderno Dugnano (MI)

Indice

Presentazione XIII

Ringraziamenti XIV

Il centro di Informazione sul PVC XV

Capitolo 1: IL PVC

1.1 Policloruro di vinile 1
1.1.1 Cos'è il policloruro di vinile? 1
1.1.2 Quando è nato e come è cresciuto ai livelli attuali? 1
1.1.3 A che cosa serve? 2
1.1.4 Quali sono i consumi attuali e le motivazioni della crescita? 3

Capitolo 2: ACQUEDOTTI

2.1 Dotazione idropotabile 7
2.2 Condotta di adduzione e serbatoio di compenso 8
2.2.1 Condotta di adduzione 9
2.2.2 Serbatoio di compenso giornaliero 12
2.3 Rete di distribuzione 14
2.3.1 Progettazione della rete 14
2.4 Ancoraggi 19
2.5 Gamma prodotti 21
2.5.1 Tubazioni 21
2.6 Sistemi di tubazioni per l'adduzione d'acqua: Norma UNI EN 1452 21

Capitolo 3: FOGNATURE

3.1 Classificazione delle reti 27
3.2 Le portate pluviali 28
3.3 Portate reflue 29
3.4 Calcolo idraulico 30

3.5 Calcolo meccanico delle reti interrate 33
3.5.1 Carico del terreno 34
3.5.2 Carichi mobili 35
3.5.3 Carico per acqua di falda 36
3.5.4 Interazione tubo terreno 36
3.5.5 Pressione di collasso 38

3.6 Gamma prodotti 39
3.6.1 Tubazioni 39

3.7 Sistemi di tubazioni per fognatura e scarichi interrati non in pressione: Norma UNI EN1401 40

3.8 Sistemi di tubazioni a parete strutturata per fognatura e scarichi interrati non in pressione: Tubazioni in PVC-U – PP – PE – Progetto di Norma prEN 13476 (UNI 10968) 43

Capitolo 4: IMPIANTI DI SCARICO

4.1 Impianti pluviali 45
4.1.1 Dimensionamento dei canali e dei pluviali 46
4.1.2 Criteri di progetto e installazione 47
4.1.3 Esempio 48

4.2 Impianti di scarico delle acque usate 49
4.2.1 Tipologia degli schemi 49
4.2.2 Dimensionamento 51
4.2.3 Il progetto d'installazione 54

4.3 Tubi ad elevato potere fonoassorbente 55
4.3.1 Prove di laboratorio 56
4.3.2 La classificazione al fuoco 56
4.3.3 Posa in opera 56

4.4 Gamma prodotti 57
4.4.1 Tubazioni 57

4.5 Sistemi di tubazioni per condotte di scarico all'interno dei fabbricati: Norma UNI EN 1329 57

4.6 Sistemi di tubazioni con tubi a parete strutturata per condotte di scarico all'interno dei fabbricati: Norma UNI EN 1453 60

Capitolo 5: TUBI DI DRENAGGIO

5.1 Sistemi di drenaggio 65
5.1.1 Drenaggi in opere civili e in aree sportive 65
5.1.2 Drenaggio di muri di sostegno e di contenimento 66
5.1.3 Drenaggio delle strade carreggiabili 66

5.1.4 Drenaggio di reti ferroviarie 66
5.1.5 Drenaggi di canali 67
5.1.6 Drenaggio realizzato mediante geotessuti 67
5.1.7 Drenaggi superficiali, di campi sportivi, piste ciclabili 67

5.2 Drenaggi agricoli 68

5.3 Tipologie di tubazioni per il drenaggio 69

5.4 Resistenza meccanica del tubo di drenaggio 70

5.5 Gamma prodotti 70
5.5.1 Tubazioni 70

Capitolo 6: IMPIANTI INDUSTRIALI

6.1 Impianti antincendio 71
6.1.1 Carico di incendio e la resistenza al fuoco 71
6.1.2 Impianti di rivelazione/segnalazione (UNI EN 54) 72
6.1.3 Impianti di spegnimento 72

6.2 Impianti di aria compressa 78
6.2.1 Cenni alla composizione dell'impianto di aria compressa 78
6.2.2 Rete di distribuzione 80

6.3 Impianti chimico-industriali 82

6.4 Iniezione per il consolidamento e l'impermeabilizzazione 82

6.5 Pozzi artesiani 82

6.6 Tubi preisolati 83

6.7 Irrigazione 83

6.8 Gamma prodotti 83
6.8.1 Tubazioni 83

6.9 Sistemi di tubazioni per condotte di fluidi industriali: Norme UNI 10952 e UNI 10953 - Novembre 2002 84

Capitolo 7: RACCORDI, VALVOLE E PEZZI SPECIALI PER REALIZZARE LE CONDOTTE

7.1 Raccordi 85
7.1.1 Acquedotto e irrigazione 87
7.1.2 Edilizia 97
7.1.3 Fognatura 98

7.2 Valvole 101
7.2.1 Valvole di ritenzione (antiriflusso) 101
7.2.2 Valvole a sfera 103

7.2.3 Valvole a farfalla 105
7.2.4 Valvole di fondo 106
7.2.5 Valvole di sfiato 107
7.2.6 Valvole a membrana 108

7.3 Sifoni 108

7.4 Pozzetti 110
7.4.1 Pozzetto di linea per ispezione e lavaggio 111
7.4.2 Pozzetto di linea con immissione di utenza, con o senza acqua di falda 111
7.4.3 Pozzetto di linea con immissione di utenza e cambio di diametro 112
7.4.4 Pozzetto di salto senza continuità di materiale 112
7.4.5 Pozzetto di salto con continuità di materiale 113
7.4.6 Pozzetto di linea di ispezione e di lavaggio totalmente realizzato in materiale plastico 113
7.4.7 Pozzetto in PVC DN 425 per allacciamento con sifone tipo Firenze 114
7.4.8 Caditoia sifonata in PVC DN 425 per acque piovane 115
7.4.9 Pozzetto DN 400 per acque nere - pozzetto in cemento e in PVC 116

7.5 Pezzi speciali per attacchi con reti esistenti 117
7.5.1 Innesto di nuove reti 117
7.5.2 Collegamenti con altri materiali 119

Capitolo 8: CALCOLO IDRAULICO

8.1 Definizione di idraulica 121
8.1.1 Idrostatica 121
8.1.2 Idrodinamica 121

8.2 Proprietà dell'acqua 121
8.2.1 Densità 121
8.2.2 Peso specifico 122
8.2.3 Coesione 122
8.2.4 Compressibilità 122
8.2.5 Fluidità 122
8.2.6 Viscosità 122
8.2.7 Tensione superficiale 122
8.2.8 Celerità di propagazione delle perturbazioni 123
8.2.9 Coefficiente di attrito 123

8.3 Idrostatica e idrodinamica 124
8.3.1 Principi dell'idrostatica 124
8.3.2 Regime di funzionamento 124
8.3.3 Definizione dei parametri 125
8.3.4 Il teorema di Bernoulli 126

8.4 Tipi di moto 127
8.4.1 Moto a pelo libero 127
8.4.2 Moto in pressione 127

Capitolo 9: CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

9.1 Canali 129
9.1.1 Calcolo idraulico 129
9.1.2 Dati necessari al calcolo del canale 129

9.2 Tubazioni in pressione per dislivello topografico 130
9.2.1 Calcolo idraulico 130
9.2.2 Dati utili per il dimensionamento della condotta 135
9.2.3 Esempio 135

9.3 Moto in pressione per la presenza di una pompa idraulica 135
9.3.1 Calcolo idraulico 136
9.3.2 Dati utili per il dimensionamento della condotta 137

Capitolo 10: PRESSIONI NELLE CONDOTTE

10.1 Sovrappressioni accidentali 139
10.1.1 Pressioni variabili e velocità dell'onda d'urto 139
10.1.2 Calcolo della celerità della perturbazione 140
10.1.3 Colpo d'ariete 142
10.1.4 Introduzione al metodo di Bergeron 144
10.1.5 Altri metodi di calcolo 145

10.2 L'aria nelle tubazioni 145

Capitolo 11: POSA IN OPERA

11.1 Posa in opera delle tubazioni 147

11.2 Raccomandazioni 147
11.2.1 Trasporto e accatastamento 147

11.3 Installazione interrata 149
11.3.1 Classifica degli scavi 149
11.3.2 Profondità della trincea 150
11.3.3 Larghezza della trincea 151
11.3.4 Fondo della trincea 151
11.3.5 Letto di posa 151
11.3.6 Posa del tubo 152
11.3.7 Riempimento 152

11.4 Installazione aerea 154
11.4.1 Distanza tra i supporti 154
11.4.2 Installazione aerea di tubazioni di evacuazione acque nere domestiche 157

11.5 Giunzione delle tubazioni 157
11.5.1 Giunzioni di tipo rigido 159

11.5.2 Giunzioni di tipo elastico ... 159
11.5.3 Giunzione con manicotto a vite ... 160
11.5.4 Giunzione rapida con bigiunto e guarnizioni elastomeriche ... 160
11.5.5 Giunti a serraggio meccanico ... 161
11.5.6 Giunto a flangia libera con collare di appoggio o fissa ... 162
11.5.7 Giunzione mediante guarnizioni elastometriche integrate nella tubazione di PVC ... 162
11.5.8 Esecuzione delle giunzioni ... 164

11.6 Riparazione delle tubazioni in PVC ... 164

Capitolo 12: PROVE DI COLLAUDO

12.1 Deformazione diametrale ... 165

12.2 Tenuta idraulica: collaudi in opera ... 166
12.2.1 Acquedotti e impianti in pressione ... 166
12.2.2 Fognature non in pressione ... 167
12.2.2.1 Prove di tenuta per le tubazioni alveolari: il fenomeno del by-pass ... 171
12.2.2.2 Prove di tenuta per pozzetti ... 172

Capitolo 13: QUALITÀ E CERTIFICAZIONI

13.1 La certificazione di qualità ... 173

13.2 La certificazione di prodotto ... 174
13.2.1 La certificazione obbligatoria: la marcatura CE ... 174
13.2.2 La certificazione volontaria di prodotto ... 177

13.3 La certificazione di sistema ... 178

13.4 La certificazione ambientale ... 180

Capitolo 14: LA PRODUZIONE E LA TRASFORMAZIONE DEL PVC

14.1 Produzione industriale del PVC ... 181
14.1.1 Polimerizzazione del CVM ... 181
14.1.2 Processo industriale di polimerizzazione del CVM in sospensione acquosa ... 182
14.1.2.1 Processo e prodotto ... 182
14.1.2.2 Cinetica di polimerizzazione, peso molecolare e tatticità ... 186
14.1.2.3 Distribuzione dimensionale delle particelle-granuli di PVC sospensione e loro morfologia interna ... 189
14.1.2.4 Aspetti ambientali e di sicurezza del processo di polimerizzazione in sospensione del CVM e dei corrispondenti prodotti PVC ... 194

14.2 Prodotti PVC sospensione, trasformazione in manufatti e settori applicativi 195
14.2.1 Prodotti PVC sospensione ... 195
14.2.2 Processi di trasformazione ... 196
14.2.3 Settori applicativi dei manufatti a base di PVC sospensione ... 199

14.3 Compatibilità e sostenibilità ambientale dei manufatti a base di PVC 202
14.3.1 Valutazione del ciclo di vita LCA di manufatti in PVC 204
14.3.2 Recupero e riciclo dei manufatti a fine vita in esercizio 206
14.3.3 Considerazioni conclusive 207

14.4 Caratteristiche della resina PVC 207
14.4.1 Materiale termoplastico 207
14.4.2 Stabilità termica 208
14.4.3 Peso molecolare 208
14.4.4 Indice di viscosità e valore K 209
14.4.5 Cristallinità 211

14.5 Proprietà del PVC 211

14.6 Qualità del PVC rigido 214

14.7 Trasformazione del PVC 214
14.7.1 Trasformazione del PVC 214
14.7.2 Gelificazione 215
14.7.3 Stabilità termica 215
14.7.4 Lubrificanti 215
14.7.5 Pigmenti 215
14.7.6 Altri additivi 216

Capitolo 15: LE CONDOTTE IN PVC RIGIDO

15.1 Processi di trasformazione per tubi in PVC 219
15.1.1 Tipologia delle tubazioni 219
15.1.2 Descrizione dei processi di trasformazione 221
15.1.3 Caratteristiche generali dei tubi in PVC 222
15.1.4 Applicazioni principali dei tubi in PVC rigido 224

15.2 Requisiti delle tubazioni in PVC 226
15.2.1 Resistenza alla pressione interna 226
15.2.2 Resistenza allo schiacciamento 227
15.2.3 Resistenza alla flessione 228
15.2.4 Resistenza all'impatto 228
15.2.5 Resistenza all'abrasione 229
15.2.6 Resistenza ai prodotti chimici 230

15.3 Comportamento funzionale delle tubazioni in PVC 231
15.3.1 Durata nel tempo di utilizzo 231
15.3.2 I cicli di funzionamento 231
15.3.3 Resistenza alla temperature 233

15.4 Grandezze dimensionali e meccaniche 233
15.4.1 Le basi delle classificazione 233
15.4.2 Caratteristiche geometriche e funzionali 233
15.4.3 Diametri delle tubazioni 235

15.4.4 Momento di inerzia 235
15.4.5 Rigidità specifica 235

15.5 Innovazione nelle tubazioni in PVC 236
15.5.1 Tubi alveolari 236
15.5.2 Tubi a parete espansa 237
15.5.3 Tubi in lega polimerica PVC-A 238
15.5.4 Tubi a doppia orientazione di molecole PVC-O 239

Capitolo 16: I PERCORSI DELLA SCELTA

16.1 Reti in pressione: percorso di scelta corretta 243

16.2 Reti a pelo libero: percorso di scelta corretta 246

16.3 Programmi di calcolo 248

16.4 Check-list di cantiere 249

APPENDICI

1 - Comportamento delle tubazioni interrate in caso di terremoto 251
2 - Il problema di verifica 253
3 - Il problema di progetto 255
4 - Formulario 257
5 - Diametri normalizzati/spessori 264
6 - Comportamento delle tubazioni di PVC agli agenti chimici 266
7 - Abachi e tabelle di dimensionamento acquedotti e tubi in pressione 270
8 - Abachi e tabelle di dimensionamento fognature e condotte a pelo libero 275
9 - Stoccaggio e posa in opera 281
10 - Raccordi, ancoraggi, sforzi sulle curve 284
11 - Riparazione e innesto nuove linee 287
12 - Riferimenti alle caratteristiche dei materiali alternativi (polietilene e polipropilene) 291
13 - Norme correlate ai materiali alternativi 296

Bibliografia 323

Presentazione

Le condotte costituite dalla materia plastica PVC, ora conosciute e diffuse nel trasporto di acqua potabile, di acque fognarie e nello scarico di acque negli edifici, sono entrate nel settore circa 50 anni fa mostrando rispondenza alle esigenze applicative, competitività e complementarietà rispetto alle condotte costituite dai materiali tradizionali.

Le caratteristiche chimico-fisiche-meccaniche dei tubi, raccordi e valvole che compongono le condotte in PVC sono ora dettagliatamente definite nelle specifiche normative italiane ed europee; il rispetto di queste normative garantisce gli utenti che, una volta messe in opera correttamente, esse hanno prestazioni adeguate alle esigenze applicative per tutto il periodo, più decenni, di loro vita in esercizio. Di fatto le condotte in PVC per il trasporto di acque hanno attualmente il collaudo di decenni di vita in opera in molteplici condizioni senza problemi e con completa affidabilità. Cinquanta anni di vita industriale della materia plastica PVC e decenni di vita in esercizio delle condotte da esso ottenute indicano comunque che sia la materia plastica PVC che le condotte sono relativamente giovani ed hanno margini di ottimizzazione complessiva e potenzialità di crescita, anche a causa delle innovazioni e sviluppi realizzati recentemente nella tipologia delle tubazioni.

Su queste basi, il Manuale sulle condotte in PVC intende essere uno strumento di conoscenza per tutti coloro che si occupano di trasporto di acque, scelgono i materiali da adottare per le condotte e progettano e realizzano opere idriche; le conoscenze, i dati, i metodi e le raccomandazioni in esso contenuti possono costituire un supporto nella progettazione, posa ed esercizio delle condotte idrauliche in PVC.

Il Manuale "Le condotte in PVC" è stato realizzato da un team di professionisti esperti nel trasporto di acque ed esperti nel materiale PVC; a ciascuno di essi ed al team, il Centro di Informazione sul PVC, che è l'associazione italiana dell'industria del PVC, esprime apprezzamento e riconoscenza. A tutti gli utenti del Manuale, il Centro di Informazione sul PVC assicura disponibilità per esame e discussione e possibilmente supporto per risolvere problemi applicativi riguardanti le condotte in PVC nel trasporto di acque.

Centro di Informazione sul PVC

Il Centro di Informazione sul PVC

Il Centro di Informazione sul PVC
è l'associazione che, in Italia, riunisce le principali aziende
di produzione, compoundazione e trasformazione del PVC,
i produttori di additivi e di macchine trasformatrici.
Il Centro, costituito il 1° Aprile del 1996,
ha l'obiettivo di promuovere la conoscenza del PVC
e dei suoi vantaggi applicativi e ambientali
tenendo conto anche dell'importanza socio –
economica dell'industria del PVC.

Centro di Informazione sul PVC
Via M.A. Colonna, 46 - 20149 MILANO
Tel. +39-02-33604020 - Fax +39-02-33604284
E-mail info@pvcforum.it
http://www.pvcforum.it

1 Il PVC

1.1 Policloruro di vinile

1.1.1 Cos'è il policloruro di vinile?

Il policloruro di vinile-PVC è una delle materie plastiche di massa più utilizzate nel mondo; in Italia nel 2004 sono state trasformate in manufatti circa 980.000 tonnellate di PVC, in Europa circa 6 milioni e nel mondo circa 30 milioni. Specificamente, il PVC è un polimero termoplastico che risulta dalla polimerizzazione del monomero cloruro di vinile (CVM) ed è costituito per il 57% di cloro e per il resto di carbonio ed idrogeno. La diffusione del PVC trova origine nella sua compatibilità con molti additivi, alcuni dei quali, come stabilizzanti e lubrificanti, sono necessari per far superare al polimero limiti costituzionali come la degradazione termica durante la lavorazione ed altri come i plastificanti, che pure facilitano la lavorazione del PVC, sono capaci di modificare le caratteristiche fisico-meccaniche e prestazionali dei prodotti ottenuti. La grande versatilità del polimero PVC permette che esso, con l'aiuto di un'estesa e specifica additivazione, venga trasformato in prodotti-manufatti rigidi come le condotte per il trasporto di acque, le porte, le finestre, le tegole ed i canali di gronda per l'edilizia ed in prodotti-manufatti flessibili come isolanti per cavi elettrici e telefonici, sacche per trasfusione di liquidi fisiologici e guanti monouso.

1.1.2 Quando è nato e come è cresciuto ai livelli attuali?

La nascita del CVM e la sua "metamorfosi-polimerizzazione" a polvere bianca PVC sono riportate essere avvenute in laboratori di ricerca in Germania negli anni 1835 e 1860 ad opera di H.V. Regnault ed A.W. Hoffman, rispettivamente. Nel 1912 sempre in Germania, F. Kattle brevetta, per conto della Chemische Fabrik Griesheim-Elektron, la sintesi del CVM a partire da acetilene (disponibile in notevoli quantità, in quanto non più utilizzato per l'illuminazione) ed acido cloridrico e nel 1914 la stessa Chemische Fabrik, più tardi conglomerata nella Hoechst, brevetta l'utilizzo di perossidi per accelerare la reazione da CVM a PVC; l'applicazione ipotizzata per il prodotto PVC era quella di sostituire la celluloide (nitrato di cellulosa più canfora) facilmente infiammabile nelle applicazioni fotografiche. Questo primo tentativo di sviluppo industriale del CVM e del suo prodotto PVC non ebbe successo ed i brevetti su cui la loro produzione si basava furono lasciati decadere. Nel 1930 sempre in Germania lo sviluppo industriale del PVC ripartì ad opera della I.G. Farbenindustrie, specificamente di H. Fikentscher, che adottarono per la sua produzione industriale la

tecnologia della polimerizzazione in emulsione derivata dalla produzione già in uso della gomma da butadiene; il primo impianto di produzione del PVC operante secondo questa tecnologia fu costruito nel 1936 dalla Carbide-Carbon Chemical Companies negli Stati Uniti ed utilizzava il CVM ottenuto come sottoprodotto nella produzione di 1,2 dicloroetano (DCE). Per dare sviluppo industriale al PVC restavano da risolvere i problemi della sua decomposizione termica e della sua lavorabilità nelle macchine trasformatrici a temperature elevate (150°C circa). Nel 1934 la Carbide-Carbon Chemical Corporation brevettò come stabilizzanti termici del PVC sali di piombo e nello stesso periodo W. Semon della B.F. Goodrich brevettò l'utilizzo di plastificanti per produrre mescole a base di PVC capaci di sostituire la gomma; i plastificanti, come il 2-etilesilftalato utilizzato da Semon, sono liquidi alto bollenti capaci di sciogliere a caldo il PVC e queste soluzioni, a temperatura ambiente, sono solidi resilienti di tipo gommoso. Questi primi passi significativi ed essenziali di produzione industriale di PVC, di suoi stabilizzanti termici e di plastificanti capaci di facilitare la lavorazione del PVC ed estendere le caratteristiche fisiche e prestazionali dei prodotti ottenuti furono seguiti nel periodo dal 1935 al 1940 da numerosi ulteriori sviluppi industriali sia negli Stati Uniti che in Europa. Questi sviluppi del PVC e dei suoi additivi hanno trovato, nelle urgenti necessità di materiali sostitutivi della gomma e dei metalli della seconda guerra mondiale, realizzazione industriale in Germania, in Inghilterra e negli Stati Uniti con produzione e collaudo in opera di isolanti elettrici e di tubi rigidi e flessibili a base di PVC. In Italia il primo impianto industriale di produzione del PVC è stato costruito dalla Società Montecatini nel 1950 ed ai corrispondenti prodotti è stato dato il nome commerciale Vipla. È iniziata allora l'introduzione prima graduale e poi accelerata dei manufatti in PVC in tutti i settori della vita civile ed industriale in Europa e negli Stati Uniti.

1.1.3 A che cosa serve?

Dopo 55 anni circa di sviluppo industriale dei processi produttivi e delle tecnologie (macchine ed additivi) di trasformazione del PVC in manufatti, in Europa circa il 50% di tutte le tubazioni in materia plastica per acque di scarico dei fabbricati ed il 20% delle tubazioni per acqua potabile è in PVC, il rivestimento di circa il 75% di tutti i cavi elettrici e telefonici negli edifici è costituito da mescole a base di PVC ed in Germania ed in Inghilterra il 50% delle finestre è in PVC; le sacche ed i tubicini trasfusionali, le tende a ossigeno ed i guanti monouso degli ospedali sono ovunque prevalentemente in PVC così come gli imballaggi di alimenti, come carni e formaggi, sono in parte a base di PVC.

I manufatti in PVC sono entrati nella vita civile ed industriale di tutti i paesi silenziosamente, perché rendevano, e continuano a rendere, un servizio corretto ed adeguato alle esigenze delle applicazioni al minor costo complessivo; così ad esempio le finestre ed i serramenti in PVC sono stati adottati e si sono diffusi perché hanno un eccellente isolamento termico, restano in esercizio per molti anni senza manutenzione e non alimentano la combustione. Tutte le principali applicazioni a base PVC a partire da quelle più critiche, come l'imballaggio alimentare ed i dispositivi medicali, a quelle più diffuse come i serramenti in edilizia e le condotte nel trasporto di acque, sono definite e descritte in dettaglio da norme nazionali ed internazionali e da specifiche leggi, il cui rispetto garantisce l'utente sulla validità prestazionale e sulla correttezza complessiva dei corrispondenti manufatti.

1.1.4 Quali sono i consumi attuali e le motivazioni della crescita?

Le tabelle 1.1 e 1.2 riportano la quantità di polimero PVC trasformata in Italia nel 2010, ripartita per tipo applicativo e tecnologia di trasformazione e, limitatamente al 2003, ripartita nei principali settori industriali di destinazione dei manufatti in PVC; la crescita con il tempo dei consumi di PVC in Italia ed in Europa a partire dal 1965 è riportata in figura 1.1.

Nella società italiana, così come negli altri paesi europei, la crescita con il tempo, a partire dal 1950, dei manufatti in PVC è andata in parallelo con la costruzione di nuove strutture civili ed industriali nel paese e con l'aumento dei servizi che diventavano disponibili nelle società civili.

Tabella 1.1 - *Consumo di PVC per tipo e tecnologia (fonte Plastic Consult)*

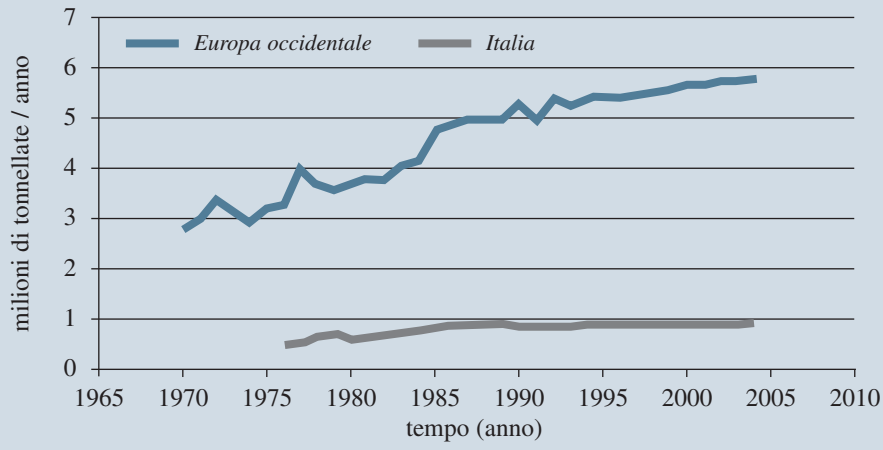
	Totale 2010		*Totale 2009*	
	Ton.	***%***	***Ton.***	***%***
■ Estrusione tubi	131.000	17,2	143.000	19,6
■ Estrusione profilati per infissi	22.000	2,9	23.000	3,2
■ Estrusione altri profilati	94.000	12,4	93.000	12,7
■ Estrusione film	3.000	0,4	2.500	0,3
■ Calandratura	130.000	17,1	118.000	16,2
■ Altre tecnologie	42.000	5,5	42.500	5,8
■ Export compound	23.000	3,0	23.000	3,2
Totale rigido	**445.000**	**58,6**	**445.000**	**61,0**
■ Rivestimento cavi	67.000	8,8	65.000	8,9
■ Estrusione tubi/profilati	73.000	9,6	72.000	9,9
■ Estrusione film/foglia	17.000	2,2	17.000	2,3
■ Calandratura	31.000	4,1	30.000	4,1
■ Spalmatura	39.000	5,1	33.000	4,5
■ Altre tecnologie	43.000	5,7	35.000	4,8
■ Export compound	45.000	5,9	33.000	4,5
Totale plastificato	**315.000**	**41,4**	**285.000**	**39,0**
TOTALE PVC	**760.000**	**100,0**	**730.000**	**100,0**

Tabella 1.2 - *Suddivisione del consumo di PVC per settore applicativo (fonte Plastic Consult)*

	Totale 2010		Totale 2009	
	Ton.	%	Ton.	%
Edilizia/costruzioni	264.000	34,7	270.000	37,0
Imballaggio	119.000	15,7	109.000	14,9
Elettricità	57.500	7,6	57.000	7,8
Cartotecnica	42.000	5,5	41.500	5,7
Mobile/arredamento	33.500	4,4	27.000	3,7
Tempo libero	26.000	3,4	26.500	3,6
Agricoltura	18.000	2,4	17.500	2,3
Calzature/abbigliamento	13.000	1,7	12.000	1,6
Elettrodomestici	9.500	1,3	10.000	1,3
Trasporto	11.500	1,5	12.500	2,0
Telecomunicazioni	15.000	2,0	14.000	1,9
Diversi*	83.000	10,9	77.000	10,5
Export compound	68.000	8,9	56.000	7,7
Totale	**760.000**	**100,0**	**730.000**	**100,0**

(*) Articoli medicali, usi tecnici, altri (valigeria/pelletteria, lastre espanse, nastri trasportatori, ecc.).

Figura 1.1 - *Consumi di polimero PVC in Europa occidentale ed in Italia nel tempo.*



Nella più parte dei settori applicativi di destinazione, i manufatti in PVC hanno, come schematicamente mostrato in tabella 1.3, una lunga vita in esercizio con sostanziale permanenza, per tutto questo tempo, delle caratteristiche chimico-fisico-prestazionali richieste.

Tabella 1.3 - *Distribuzione dei tempi di vita in esercizio dei manufatti in PVC*

Tempo di vita dei manufatti in PVC	*Manufatti*	*Distribuzione (%) dei tempi di vita*
■ Breve (< 1 anni)	Imballaggi Giocattoli Applicazioni medicali	10
■ Media (1-10 anni)	Tubi flessibili Calzature Carte da parati	15
■ Lunga (10-20 anni)	Pavimenti Teloni Profili	25
■ Molto lunga (> 20 anni)	Tubi rigidi Finestre Cavi	50

L'ampio spettro di applicazioni del PVC all'interno dei numerosi settori industriali di destinazione (tabella 1.1 e 1.2) deriva dalla costituzione chimico fisica del PVC, che consente facile miscibilità e forti legami fisici con numerosi composti. Questa miscibilità con formazione di legami forti e stabili, che costituisce una caratteristica specifica del PVC rispetto alla più parte degli altri materiali polimerici, permette di ottenere manufatti in PVC sia rigidi che flessibili, con proprietà diverse a seconda delle esigenze applicative e tutti con relativamente elevata inerzia agli attacchi chimici ed intrinseca resistenza all'innesco ed alla propagazione della fiamma.

Le proprietà dei molteplici e diversi manufatti in PVC comprendono ad esempio:

- durezza e resilienza, come per i tubi rigidi di trasporto acqua che hanno vita in opera di più di 50 anni;
- elevata trasparenza, permeabilità bilanciata e sterilità, come per gli imballaggi rigidi e flessibili di alimenti e medicinali;
- superfici brillanti e opache, come per gli impermeabili, le carte di credito e di riconoscimento e la valigeria;
- compatibilità con i tessuti e liquidi umani, come per le sacche trasfusionali e per i tubicini di circolazione extracorporea.

Tutte le applicazioni a partire da quelle nei settori più critici, quali i dispositivi medicali e l'imballaggio di alimenti, sono dettagliatamente regolamentate e controllate da normative nazionali ed internazionali e da leggi, cui i manufatti in PVC conformano anche con ampi margini di garanzia. A parte l'obbligatorio rispetto delle leggi, decenni di impiego dei manufatti in PVC in molteplici applicazioni, nelle più disparate e differenti condizioni ambientali in tutto il mondo, hanno validato nei fatti la loro adeguatezza ed idoneità prestazionale.

2 Acquedotti

Le reti di distribuzione di acqua potabile delle grandi città sono di notevole importanza e hanno il compito di assicurare la continuità e la qualità della fornitura. Il progetto di un acquedotto deve comprendere:

- La valutazione della portata necessaria alla fornitura di acqua per tutti gli utenti;
- La localizzazione dell'opera di captazione;
- Il progetto di un serbatoio di accumulo di volume adeguato;
- Il progetto della rete di distribuzione.

2.1 Dotazione idropotabile

La valutazione del fabbisogno idropotabile di una città non è un compito semplice in quanto i consumi sono influenzati da diversi fattori, tra i quali, in primo luogo, l'entità della popolazione servita e il suo tenore di vita, il clima, la tipologia edilizia, la presenza di attività turistiche, di giardini, della tariffazione ecc.

Per stabilire il fabbisogno idropotabile di un comune, espresso in $\frac{litri}{abitante\ giorno}$, si valutano, generalmente, la dotazione unitaria (media annua) e la popolazione prevista nell'arco della durata dell'opera (che di solito si considera cinquantennale).

La dotazione unitaria si può stimare in base a tabelle che riportano la quantità di acqua consumata da ogni singola attività presente nel comune. Un altro metodo è quello su base statistica che fornisce la dotazione unitaria in funzione della popolazione N e di due coefficienti d_0 e α che sono stati stimati da ogni regione su base statistica:

$$d = d_0 N^{\alpha}$$

La dotazione non si mantiene però costante nell'arco della vita tecnica dell'acquedotto. Per questo si può stimare la dotazione al tempo t mediante la formula:

$$d_t = d_0 (1+r^*)^{t-t_0}$$

In cui d_0 è la dotazione della messa in esercizio, r^* è un parametro che si deve stimare in base agli standard di vita e alla zona geografica di collocazione dell'opera. Può quindi essere positivo o negativo in base alla previsioni future.

La conoscenza della dotazione media annua unitaria permette la stima del consumo medio annuo totale e della portata media annua. A quest'ultimo valore, sono legati, mediante coefficienti empirici, i valori di portata media e massima mensile, giornaliera e oraria.

Ad esempio, le portate di massimo consumo mensile, giornaliera e oraria si possono calcolare conoscendo la portata media annua e i valori assunti dai seguenti coefficienti:

$$k_m = \frac{Q_m}{Q_{ma}}$$

$$k_g = \frac{Q_g}{Q_{ma}}$$

$$k_h = \frac{Q_h}{Q_{ma}}$$

Tabella 2.1

	k_m	k_g	k_h
Grandi agglomerati	1,1	1,2	1,3
Città medie	1,2	1,5	2,5
Piccoli centri rurali	1,3	2-3	4-6

La portata massima giornaliera servirà a progettare la rete di distribuzione, mentre la portata massima media giornaliera per il dimensionamento della condotta di adduzione al serbatoio. Si osserva inoltra che nella realtà i consumi non sono distribuiti uniformemente nell'arco della giornata, del mese o dell'anno, ma sono concentrati in momenti determinati a causa della contemporaneità dell'utilizzo di acqua da parte delle utenze.

2.2 Condotta di adduzione e serbatoio di compenso

Innanzi tutto, si deve notare come esistano diverse fonti di approvvigionamento:

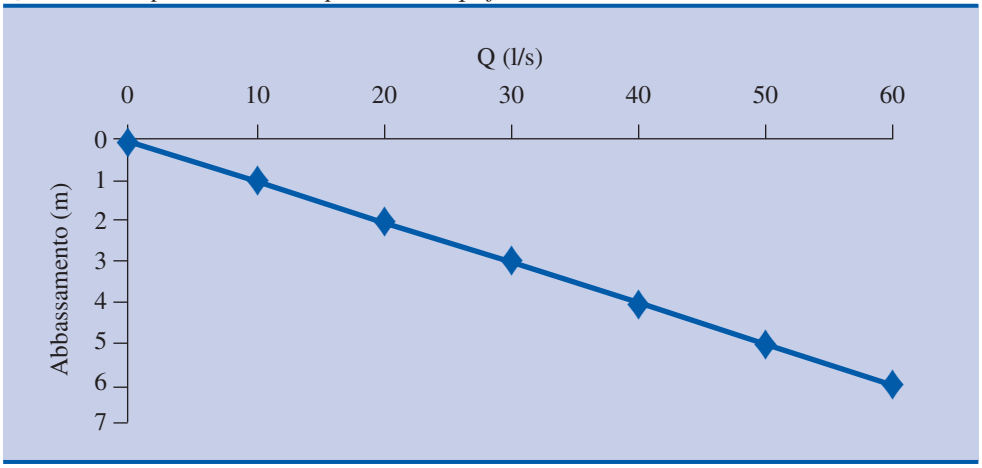
- Le sorgenti: queste non hanno bisogno di impianto di potabilizzazione;
- Le acque superficiali: necessitano indubbiamente di depurazione;
- Le acque sotterranee: per le quali la possibilità di trovare acqua potabili fa sì che ci si debba spingere al secondo acquifero confinato.

Se si considera la possibilità di emungimento di acqua da pozzo, si devono innanzi tutto definire le caratteristiche dell'acquifero. Se il pozzo si trova in un acquifero artesiano è necessaria una sola prova di pozzo in quanto la relazione tra portata e abbassamento dell'acqua nel pozzo è lineare. Se invece è freatico, allora saranno necessarie più prove.

La zona limitrofa alla fonte di approvvigionamento deve essere opportunamente protetta da tutte le possibili fonti di inquinamento.

Conosciuta la portata massima giornaliera ci si appresta al dimensionamento della condotta di adduzione e alla capacità del serbatoio. Il serbatoio di approvvigionamento di solito si trova in posizione elevata rispetto alla rete e in modo che il moto avvenga per gravità. Piccoli acquedotti possono non essere dotati di serbatoio di accumulo e allora l'immissione in rete avviene direttamente dalla pompa. In questo caso si deve prevedere l'inserimento di una opportuna cassa d'aria in modo da attenuare le sovrap-

Figura 2.1 - *Esempio di curva di pozzo di acquifero artesiano.*



pressioni di colpo d'ariete. Per lo stesso motivo, una cassa d'aria deve essere prevista anche nel caso la condotta di adduzione al serbatoio sia molto lunga in modo da fungere da ammortizzatore elastico alle oscillazioni di pressione.

2.2.1 Condotta di adduzione

Il progetto della condotta di adduzione avviene applicando il principio di mitizzazione degli oneri annui di gestione e costruzione, che si traduce nella relazione:

$$r \cdot c_t + c_E \cdot E_P = \min$$

in cui r è la rata annua di ammortamento del costo di costruzione, c_t è il costo della tubazione, c_E è il costo medio dell'energia elettrica al kWh, E_P è l'energia dissipata all'anno.

L'equazione sopra riportata può essere risolta sia analiticamente che graficamente per determinare il diametro più conveniente per la costruzione della condotta di adduzione.

Nel caso di installazione di impianti di pompaggio si possono eseguire i calcoli anche per diverse ipotesi di pompaggio. Si può infatti valutare la possibilità di utilizzare le pompe soltanto nelle ora notturne in modo da avere costi dell'energia elettrica inferiori, sebbene la portata sarà superiore. Infine si confronteranno i risultatati ottenuti e si sceglierà la soluzione che si ritiene migliore. Si osserva che non si ritiene una buona soluzione effettuare un pompaggio per 24 ore continue in quanto è utile avere qualche ora libera per effettuare la necessaria manutenzione.

Per quanto riguarda il tracciato della condotta di adduzione, si dovrà fare in modo che:

- le tubazioni siano fatte passare, per quanto possibile, al di sotto della viabilità pubblica; inoltre si cerca un percorso esterno al centro abitato;
- dove occorresse attraversare la ferrovia, è preferibile agganciare le tubazioni ai viadotti gia esistenti;
- nei punti in cui si rendesse necessario attraversare proprietà private, sarebbe necessaria un analisi catastale in modo da seguire i confini delle proprietà;

La condotta, compatibilmente con tali vincoli, dovrà seguire il percorso più breve e rettilineo possibile.

Si riporta ora un esempio di dimensionamento della condotta di adduzione di un acquedotto.

2.2.1.1 Esempio di calcolo

Si deve dimensionare la condotta di adduzione di un acquedotto supponendo che abbia pompaggio per nove ore consecutive durante la notte. Per stimare il diametro della condotta si tengono conto degli oneri riguardanti la stessa e il costo dell'energia elettrica.

I dati noti necessari ad effettuare il dimensionamento, relativi alla configurazione delle caratteristiche della zona, sono i seguenti:

- lunghezza della condotta di adduzione: Lc = 2580 m;
- quota del serbatoio: Qa = 363,2 m;
- quota del pozzo: Qp = 216,3 m;
- portata nel giorno di massimo consumo: Q_{gmax} = 150 l/s;
- livello piezometrico statico: 70 m dal p.c.;
- diametro della condotta all'interno del pozzo: D_P = 0,4 m.

Come già accennato, il dimensionamento avviene cercando di minimizzare gli oneri di costruzione e quelli relativi alla gestione energetica dell'opera. Si rende minima la seguente relazione:

$$r \cdot C_c + C_E \cdot E_P = \min$$

dove:

r è il tasso di ammortamento annuo del costo di costruzione, pari all'8%;

C_c è il costo della condotta di adduzione e si può esprimere come:

$$C_c = \beta \cdot k \cdot (L_P \cdot D_P{}^{\alpha} + L_c \cdot D_c{}^{\alpha})$$

in cui:

β rappresenta il costo accessorio aggiuntivo che risulta essere pari 1.6 se D_c<400 mm oppure 1.8 se D_c>400 mm.;

k è il costo unitario;

α = 1,4.

C_E è il costo medio dell'energia, che varia a seconda che si considerino le ore piene di maggior consumo o quelle vuote di minimo consumo .

E_P rappresenta l'energia di pompaggio:

$$E_P = W_P \cdot n = \frac{9{,}8 \cdot Q \cdot n \cdot H_P}{\eta}$$

con:

W_P = potenza della pompa;

n = numero di ore di funzionamento in un anno;

Q = portata relativa alle ore di funzionamento;

H_P =prevalenza della pompa =H_g+$i_P L_P$+$i_c L_c$;
H_g = dislivello geodetico;
i = cadente piezometrica = $\frac{\beta^* \cdot Q^2}{D^{5.33}}$;
η = rendimento della pompa = 0.7.

Inserendo le relazioni appena descritte nell'espressione che minimizza il costo e imponendo uguale a zero la sua derivata prima, si ottiene il diametro teorico della condotta di adduzione D_C:

$$D_C = \left(\frac{9{,}8 \cdot n \cdot \beta^* \cdot C_E \cdot Q^3 \cdot 5.33}{\eta \cdot \alpha \cdot \beta \cdot r \cdot k} \right)^{\frac{1}{6.73}} \quad (\#)$$

Il diametro commerciale di progetto verrà scelto a seconda dei valori disponibili sul mercato più prossimi a quello trovato mediante la formula sopra indicata.

Si deve ricavare innanzi tutto il valore della portata Q circolante nella condotta di adduzione. In questo caso, sapendo che la portata massima giornaliera vale 150 l/s:

$$Q = Q_{gmax} \frac{24}{9} = 400 \text{ l/s}$$

Il pompaggio avviene durante le ore vuote e per questo il costo dell'energia C_E sarà pari a 0.026 €/kWh.

La cadente piezometrica i_p è calcolata pari a 0.042:

$$i_P = \frac{\beta^* \cdot Q^2}{D^{5{,}33}} = \frac{0.002 \cdot 0{,}4^2}{D^{5.33}} = 0.042$$

ed inoltre: η=0.7; β=1.8; r=8%.

Utilizzando la formula precedentemente citata (#), si ottiene il diametro teorico: $D_{Cteorico}$ = 524 mm.

Si adotterà pertanto un diametro commerciale $D_{C=}$ 500 mm.

Conoscendo:

L_P = 70 m (profondità falda in quiete) + 40 m (abbassamento dovuto al pompaggio) + 20 m (ulteriore abbassamento adottato per impedire che la pompa aspiri aria) = 130 m

- D_P = 400 mm;
- L_C = 2580 m;
- D_C = 500 mm;

Si ricava il costo della condotta di adduzione per questa ipotesi di pompaggio:

$$C_c = \beta \cdot k \cdot (L_P \cdot D_P{}^{\alpha} + L_c \cdot D_c{}^{\alpha}) = 565.634 \text{ €}$$

Esiste anche un metodo grafico per eseguire gli stessi calcoli e che consiste nel diagrammare gli oneri di costruzione e di gestione della condotta e l'onere totale (somma dei due prima citati), in funzione del diametro della condotta. Il diametro da adottare nella progettazione è quello per cui si ha il minimo valore di onere totale.

La formula utilizzata per calcolare l'onere annuo di costruzione è la seguente:

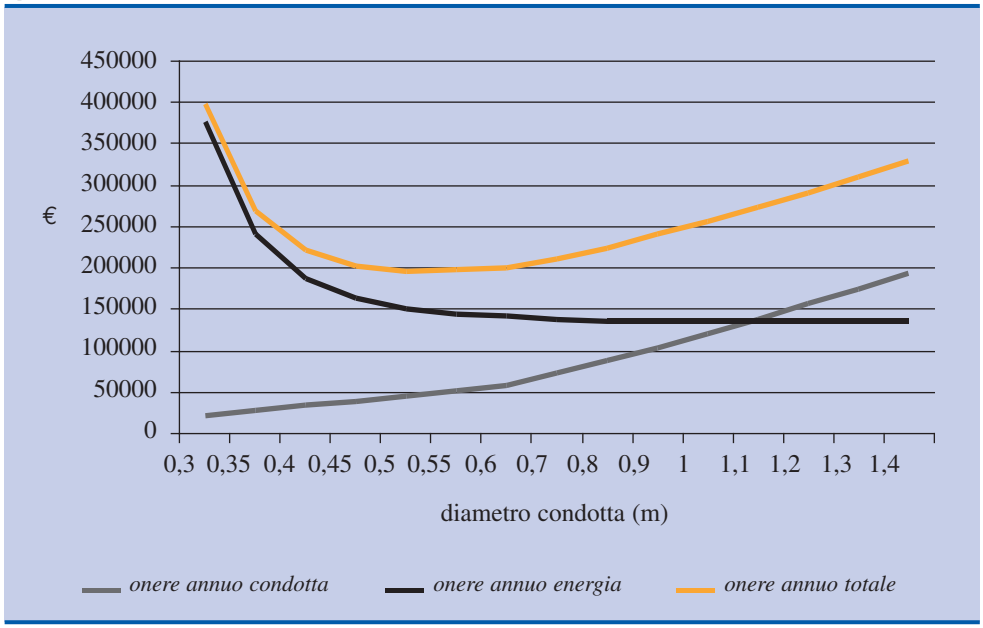
$$C_c = \beta \cdot k \cdot (L_P \cdot D_P{}^{\alpha} + L_c \cdot D_c{}^{\alpha})$$

L'onere di gestione è invece rappresentato dalla spesa totale annuale per l'energia necessaria al pompaggio:

$$C_E = c_E \cdot E_P = c_E \cdot W_P n = c_E \cdot \frac{9{,}8 \cdot Q \cdot H_P}{\eta} \cdot n$$

La figura 2.2 mostra l'applicazione del suddetto metodo.

Figura 2.2



La condotta di adduzione deve sempre essere anche verificata per il colpo d'ariete sia per sovrappressioni positive che negative.

2.2.2 Serbatoio di compenso giornaliero

Per effettuare il progetto del serbatoio di compenso giornaliero, si devono stabilire sia la sua quota che la sua capacità.

Sia per problemi costruttivi, che idraulici, i serbatoi si progettano considerando una variazione massima di livello nel serbatoio di 3-5 metri.

Per definire la quota, si considera il punto della rete idaulicamente più disagiato. La quota del serbatoio sarà:

$$h_s = h + \Delta y + \Delta z$$

in cui Δy è la perdita i carico globale nella rete considerato di circa 15-20 m, Δz è la variazione massima di livello nel serbatoio, h è il carico piezometrico nel punto più disagiato della rete:

$$h = a + \Delta y_i + \frac{p_r}{\gamma}$$

a è la quota dell'utilizzazione più elevata, Δy_i sono le perdite di carico all'interno del fabbricato (circa 10 m) e p_r/γ è il carico minimo che deve essere presente per avere il funzionamento dell'utenza (5 metri).

Una volta stabilita la quota del serbatoio, si determina la capacità di compenso. Conosciuti i volumi d'acqua in arrivo al serbatoio V_A e defluiti nel tempo V_D in base ai fabbisogni giornalieri, si esegue il calcolo della capacità necessaria ad effettuare le regolazioni C:

$$C = |(V_A - V_D)_{\max}| + |(V_A - V_D)_{\max}|$$

A questo valore va aggiunto il volume d'acqua che deve essere disponibile per antincendio e il volume tecnico da destinare all'aria.

Esempio di calcolo

Si consideri un serbatoio che riceve in ingresso 400 l/s per nove ore giornaliere. Come si è già detto, per il calcolo della capacità utile del serbatoio bisogna tener conto dei volumi affluiti e defluiti in esso nel corso delle 24 ore.

I volumi defluiti sono calcolati come:

$$Q_{out} = k_h * Q_{gmax}$$

In particolare bisogna considerare la differenza massima e quella minima, in valore assoluto: sommandole si ottiene la capacità Cu .

La capacità antincendio, necessaria a garantire la portata all'idrante per tre ore consecutive, è valutata con la formula di Conti:

- portata antincendio:

$$Q_A\ (l/s) = 6 \cdot \sqrt{\frac{N_{futura}}{1000}} = 37{,}3 \text{ con } N_{futura} \text{ di circa 38000 abitanti}$$

- capacità antincendio:

$$C_A\ (m^3) = 3 \cdot Q_A \cdot 3{,}6 = 403\ m^3$$

Per evitare variazioni elevate di carico nella rete, il serbatoio è progettato in modo da ripartire la capacità giornaliera su 4 m di altezza.

Si possono calocolare le variazioni di volume ottenendo:

$$|(Vin - Vout)\ max| = 8523\ m3$$

$$|(Vin - Vout)\ min| = 3051\ m3$$

Quindi:

$$C_U = |(V_{in} - V_{out})_{max}| + |(V_{in} - V_{out})_{min}| = 11574 \text{ m}^3$$

La capacità antincendio è $C_A = 403$ m^3, perciò la capacità del serbatoio risulta essere:

$$C = 11574 + 403 = 11977 \text{ m}^3.$$

I parametri costruttivi del serbatoio sono, prevedendo dei franchi d'aria per un'altezza totale di 1,5 m per garantire l'ossigenazione e mantenere costante la temperatura dell'acqua:

- altezza interna del serbatoio = 4 + 1,5 = 5,5 m
- area di base del serbatoio cilindrico = C/4 = 11977/4 = 2994 m^2
- raggio interno del serbatoio = 30,8 m.

2.3 Rete di distribuzione

La rete di distribuzione, che generalmente corre sotto i semini stradali, può seguire diverse tipologie:

1. rete ramificata aperta: questo schema può essere applicato nel caso di centri urbani di modeste dimensioni o a prevalente sviluppo longitudinale (come ad esempio lungo le coste);
2. rete a maglie chiuse: questo schema è quello idraulicamente e funzionalmente migliore in quanto, dal punto di vista idraulico, si ha un equilibrio della rete che si esplica con la presenza di un cielo piezometrico uniforme, mentre dal punto di vista del funzionamento, questa soluzione è quella che garantisce l'approvvigionamento idrico anche in caso di guasto su di un ramo;
3. rete mista: è quella che si realizza in pratica,a causa dei continui ampliamenti dei centri abitati.

I requisiti ottimali che una rete deve soddisfare, una volta progettata, sono i seguenti:

- la massima oscillazione del carico piezometrico non deve superare i 15-20 metri, cioè, con la notazione spiegata precedentemente:

$$\Delta y + \Delta z = 15 - 20 \text{ metri}$$

- il carico piezometrico minimo h deve essere pari alla quota dell'utenza più disagiata a a cui sommare perdite di carico massime di 15 m:

$$h = a + 15 \text{ metri}$$

In condizioni eccezionali, ad esempio in caso di incendio h può avere un valore compreso tra 5 e 10 metri.

- Il carico piezometrico massimo non deve superare 45-50 metri. Nel caso in cui non si riesco a garantire questa condizione, si deve inserire una valvola riduttrice di pressione.

2.3.1 Progettazione della rete

Per effettuare la progettazione di una rete di approvvigionamento idrico si devono in primo luogo valutare le portate circolanti di ciascun ramo in base alla zonizzazione

della città, cioè considerando il numero di abitanti da rifornire mediante quel ramo della rete.

La portata di competenza Q_{comp} è definita come il prodotto della portata specifica q_s per la popolazione servita n, facendo riferimento all'ultimo anno di vita tecnica dell'acquedotto:

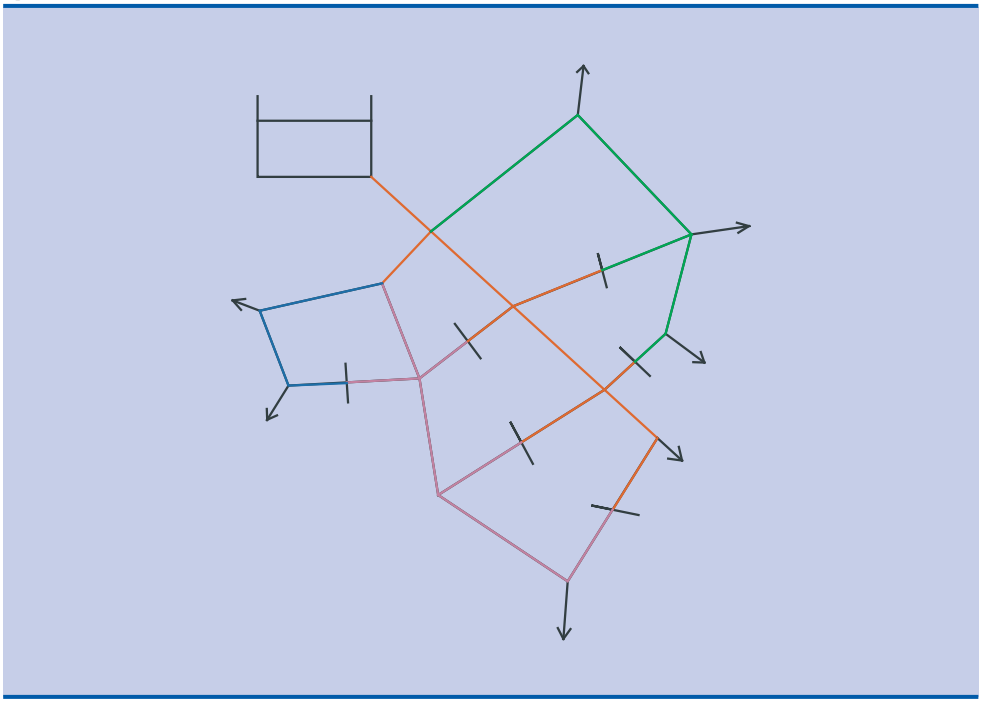
$$Q_{comp} = q_s \, n$$

In realtà questa non è la portata circolante nel ramo.

Ogni rete, anche quelle a maglie chiuse, viene divisa generando tante reti ramificate aperte. Si considera inoltre l'ipotesi semplificativa che la portata di competenza non venga distribuita uniformemente lungo il ramo, ma che si suddivida a metà per nodo (estremità). Così si potrà affermare che la portata circolante in ogni ramo sarà data dalla somma della portata di competenza di tutti i rami a valle e di metà della sua portata di competenza:

$$Q_{circ,i} = Q_{comp\ tratti\ a\ valle} + \frac{1}{2} Q_{comp,i}$$

Figura 2.3



Si individua la direzione di flusso dell'acqua nella ramificazione, quindi, partendo da valle e andando verso monte, si calcolano le portate circolanti per ciascun tratto della ramificazione secondaria. Determinate le portate circolanti per le ramificazioni secondarie è possibile calcolare quella per la ramificazione principale, essendo così note le portate di competenza di tutti i tratti a valle del punto di innesto considerato.

Il calcolo dei diametri teorici e reali viene effettuato in prima istanza considerando la rete ramificata aperta che si può ottenere da quella a maglie chiuse effettiva dell'acquedotto progettato.

I diametri teorici, per ogni ramificazione, si possono calcolare con la formula:

$$D_{i,t} = \left[\frac{\alpha \cdot \beta \cdot \Sigma (Q_j^{1/3,165} \cdot L_j)}{Y} \right]^{1/5,33} \cdot Q_j^{1/3,165}$$

in cui:

- $D_{i,t}$ è il diametro teorico del tratto i-esimo (m);
- α è un coefficiente correttivo in quanto si ipotizza che le portate siano concentrate ai nodi ed è pari a 1,1;
- β è il coefficiente di scabrezza per tubi usati;
- Q_j è la portata circolante nei tratti che costituiscono l'asta principale a cui appartiene il tronco i-esimo (m^3/s);
- L_j è la lunghezza dei tratti dell'asta principale della ramificazione (m);
- Q_i è la portata circolante nel tratto i-esimo (m^3/s);
- Y è la perdita di carico relativa al punto più disagiato.

La perdita di carico nel punto più disagiato Y si calcola in modo diverso a seconda della ramificazione considerata.

Se si considera la ramificazione principale che parte dal serbatoio:

- Y = (quota minima del serbatoio) – (quota geodetica del punto) – (altezza del carico).

Per le altre ramificazioni invece:

- Y = (carico punto di innesto nella ramificazione di ordine superiore) – (quota geodetica del punto) – (altezza del carico).

L'altezza del carico si ottiene sommando l'altezza a dell'utilizzazione più alta della zona in esame, delle perdita interne della rete dei fabbricati e del carico aggiuntivo necessario affinché l'utilizzazione possa funzionare.

Il diametro ottenuto da calcolo è teorico e per questo si scelgono successivamente i diametri commerciali più vicini a quelli calcolati approssimando per eccesso e per difetto in modo da compensare approssimativamente i risultati.

Nelle aste secondarie è necessario innanzi tutto calcolare il carico minimo del punto di innesto dell'asta secondaria in esame sull'asta principale mediante la formula:

$$\Delta Y_i = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot Q^2}{d_{i,reale}^{5,33}} \cdot L_j$$

$$h_{i,\min} = h_{i\text{-}1,\min} - \Delta Y_i$$

Si può quindi effettuare il calcolo delle perdite di carico Y_i relative al punto più sfavorevole di ogni diramazione secondaria, che coincide con il nodo di coda o con la sezione neutra del tratto tagliato:

$$Y_i = (h_{i,min}) - (Q_{gj}) - (altezza\ del\ carico)$$

dove con Q_{gj} si intende la quota geodetica del punto di coda.

Nei tronchi tagliati, la quota della sezione neutra è considerata uguale a quella del nodo di coda, la portata circolante è supposta pari all'intero tratto e la lunghezza pari alla metà dell'intero tratto.

Si può quindi calcolare il diametro di ogni diramazione con la formula:

$$D_{i,t} = \left(\frac{\alpha \cdot \beta \cdot Q_i^2 \cdot L_j}{Y_i} \right)^{1/5,33}$$

Una volta ottenuti tutti diametri, si può procedere alla verifica delle condizioni di buon funzionamento della rete. Per effettuare questa verifica si devono calcolare i carichi ad ogni nodo della rete.

Le perdite di carico nella rete ramificata si calcolano applicando la legge di Chezy, ottenendo per ogni tratto le cadenti piezometriche e quindi le perdite massime e minime:

$$i_{i,\min} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot Q_{i,\min}{}^2}{D_{i,reale}{}^{5,33}}$$

$$\Delta Y_{i,\min} = i_{i,\min} \cdot L_i$$

$$i_{i,\max} = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot Q_{i,\max}{}^2}{D_{i,reale}{}^{5,33}}$$

$$\Delta Y_{i,\max} = i_{i,\max} \cdot L_i$$

I valori trovati in precedenza permettono di calcolare la quota piezometrica massima e minima dei singoli nodi della rete aperta, data dalla differenza tra la quota piezometrica del nodo precedente e la perdita di carico tra i due nodi:

$$h_{i,min} = h_{i-1,\ min} - \Delta y_{i,max}$$
$$h_{i,max} = h_{i-1,\ max} - \Delta y_{i,min}$$

I carichi piezometrici massimi e minimi ai singoli nodi si calcolano eseguendo la differenza tra la quota piezometrica nel nodo e la rispettiva quota geodetica:

$$C_{i,min} = h_{i,min} - Q_{gi}$$
$$C_{i,min} = h_{i,min} - Q_{gi}$$

L'oscillazione della piezometrica ai singoli nodi si calcola, in modo da verificare l'andamento della stessa nel tempo, come:

$$\Delta C_i = C_{i,max} - C_{i,min}$$

Le considerazioni effettuate fin'ora sono stati eseguite su una rete aperta, ottenuta sezionando in alcuni punti, detti 'neutri', la rete a maglie chiuse progettata. Occorre quindi verificare che i diametri e le portate circolanti, calcolate mediante la rete aperta, siano congruenti anche per la rete chiusa. In particolare, deve risultare che la rete a maglie chiuse sia bilanciata. Il bilanciamento della rete implica:

- la validità dell'equazione di continuità ad ogni nodo della rete (la somma delle portate entranti ed uscenti deve essere uguale);
- la somma delle perdite di carico sulla generica maglia sia uguale a zero, dato un verso di percorrenza.

Si nota che esiste un solo insieme di portate, dette di 'equilibrio', che sono congruenti sia per la continuità, che per le quote piezometriche.

Il metodo di bilanciamento che verrà in seguito descritto è quello di Hardy - Cross di bilanciamento dei carichi.

Il metodo prevede:

1. L'individuazione delle maglie sulle quali eseguire il bilanciamento dei carichi;
2. La definizione un verso di percorrenza delle maglie (ad esempio quello orario);
3. L'assunzione che nei singoli tronchi circolino le portate valide per la rete ramificata aperta. La validità dell'equazione di continuità in ogni nodo è assicurata considerando la portata distribuita a ogni nodo dall'acquedotto. Nei tratti comuni a due maglie la portata assume versi opposti, quindi avrà segno diverso;
4. Si considera l'equazione di bilanciamento dei carichi di Hardy – Cross:

$$\sum_{i=1}^{n^\circ\ tronchi} \Delta h_i = \sum_{i=1}^{n^\circ\ tronchi} |r_i \cdot Q_i| \cdot Q_i = 0$$

in cui:

- Δh_i è la perdita di carico nel tronco i-esimo;
- Q_i è la portata circolante nel tronco i-esimo corretta. Può essere scritta come somma della portata di primo tentativo Q_i' e la portata di correzione q_c:

$$Q_i = Q_i' + q_c$$

$$r_i = \alpha \cdot \beta \cdot \frac{l_i}{d_i^{5.33}}$$

con α=1.1 fattore correttivo che tiene conto della semplificazione di considerare le portate distribuite ai nodi, β è il coefficiente di scabrezza dei tubi usati, l_i è la lunghezza del tronco i-esimo, d_i è il diametro del tronco i-esimo.

5. L'espressione precedentemente scritta non risulta verificata per nessuno dei nodi, se calcolate con le portate e i diametri considerati nel calcolo della ramificata aperta. Per questo si applicano correzioni successive date dall'espressione:

$$q_c = \frac{\sum_{i=1}^{n^\circ\ tronchi} |r_i \cdot Q_i| \cdot Q_i}{2 \cdot \sum_{i=1}^{n^\circ\ tronchi} |r_i \cdot Q_i|}$$

La portata di correzione così ottenuta per ogni tronco delle maglie deve essere sommata algebricamente i tronchi comuni a due maglie per ottenere la nuova portata circolante.

6. Ottenute le nuove portate circolanti si verifica nuovamente il bilanciamento dei carichi e si effettua, se necessario, una successiva iterazione (calcolo delle q_c). Le iterazioni sono eseguite finchè su ogni maglia la portata di correzione tende a zero.

Ottenute le nuove portate di circolazione e i relativi diametri, si effettua nuovamente il calcolo del cielo piezometrico per le portate orarie massima e minima (30% della massima). A questo punto è possibile verificare i requisiti di buona progettazione.

2.4 Ancoraggi

Le giunzioni a bicchiere con guarnizione elastomerica non possono reagire alla spinta dovuta alla pressione che viene esercitata nelle testate e nelle curve. Queste forze dovranno essere annullate con blocchi di ancoraggio adatti a distribuire le spinte sulle pareti dello scavo.

La spinta ha il seguente valore:

$$F = \mathrm{K\ p\ S}$$

Dove:

- K=1 per le estremità e per i T a 90°;
- K=1,414 per le curve a 90°;
- K=0,766 per le curve a 45°;
- p è la pressione interna massima di prova in kgf/cm^2;
- S è la sezione interna del tubo in cm^2, è la sezione delle derivazione per i T ridotti in cm^2, è la 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 (vedi tabella 2.2).

H è la profondità di interramento commisurata rispetto all'asse mediano del tubo in metri.

- S_1 è la sezione di appoggio Lxh in m^2, essendo L la lunghezza del massello di ancoraggio, h l'altezza del massello di ancoraggio.

Tabella 2.2 - *Valori del coefficiente K_1*

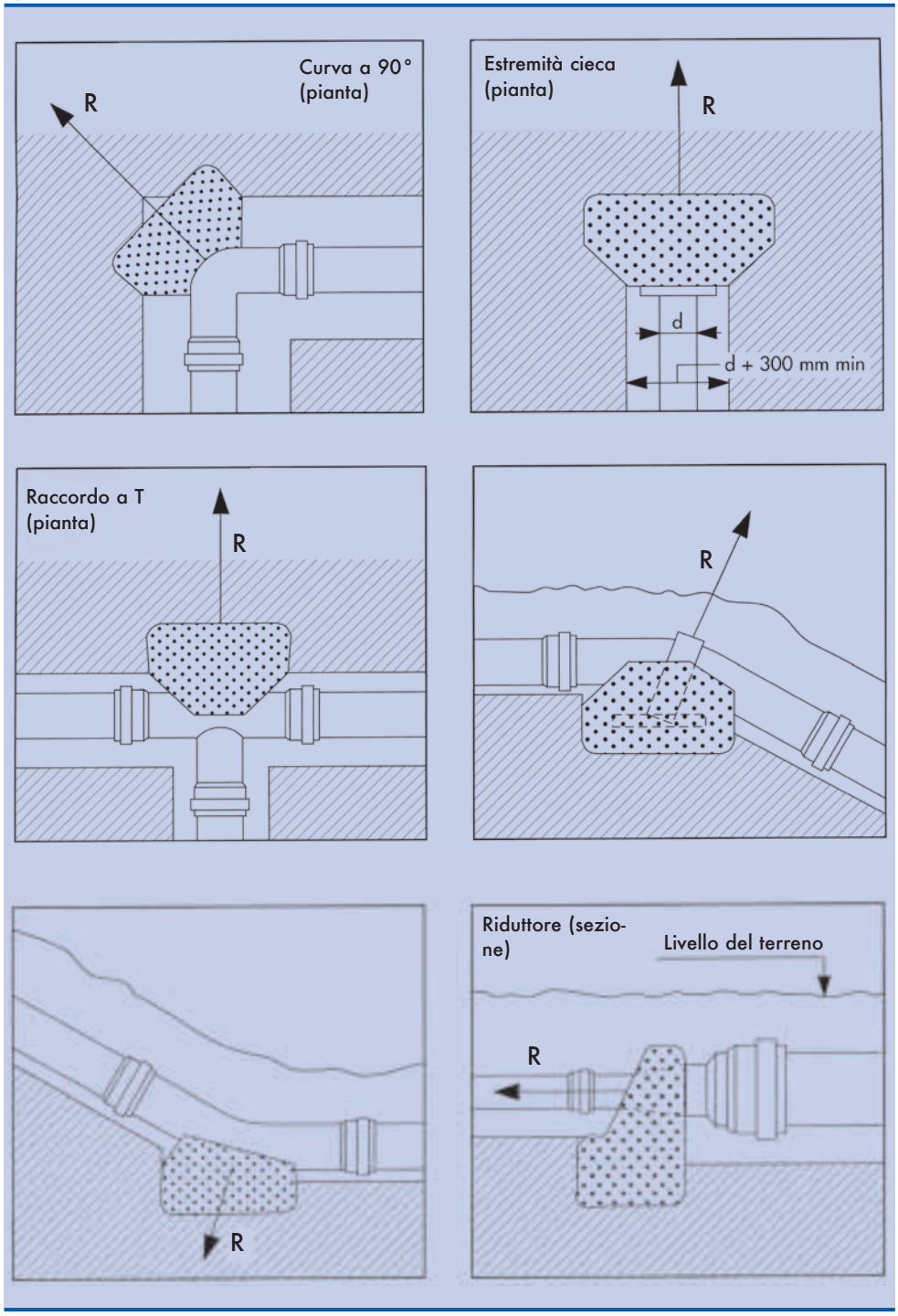
Terreno	*K_1 (kg/m^3)*
Sabbia argillosa	3000
Terreni di media compattezza	5000
Sabbia o ghiaia	6000

Affinché l'ancoraggio sia verificato deve valere:

$$B \geq 1{,}5F$$

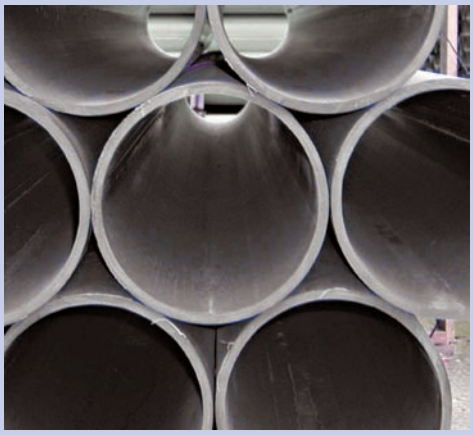
Si osserva che per le curve a grande raggio ottenute per la flessibilità del tubo di PVC le spinte sono in generale assorbite dal materiale di riempimento (rinterro).

Figura 2.4


Curva a 90°
(pianta)
R
Estremità cieca
(pianta)
R
d
d + 300 mm min
Raccordo a T
(pianta)
R
R
R
Riduttore (sezione)
Livello del terreno
R

2.5 Gamma prodotti

2.5.1 Tubazioni



Tipo tubazione	*DN esterno (mm)*	*PN*	*SDR/spessori (mm)*	*SERIE S*
■ Tubazione secondo UNI EN 1452 con giunzione elastomerica	32-40-50-63-75-90 -110-125-140-160-180 -200-225-250-280-315 -355-400-450-500 -630-710-800-900-1000	6-8*-10 -16-20 -25*	Per DN≤90: 33-21-17-13,6-11 Per DN>90: 40-26-17-13,6	20-16-10 -6,3-5
■ Tubazioni in PVC-O	100-125-150-200-250-300 -	16-25 -		
■ Tubazioni in PVC-A	63-90-110-140-160-200 -250-280-315-355-400 -450-500-630-710	8-10 -12,5-16	Gli spessori variano tra 3,0 e 33,5 mm	

* = *non in Italia*

2.6 Sistemi di tubazioni per l'adduzione d'acqua: Norma UNI EN 1452

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Generalità
- Parte 2: Tubi

- Parte 3: Raccordi
- Parte 4: valvole ed attrezzature ausiliarie
- Parte 5: Idoneità all'impiego del sistema
- Parte 6: Guida per l'istallazione
- Parte 7: Guida per la valutazione della conformità

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica gli aspetti generali dei sistemi di tubazioni di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) nel campo dell'adduzione dell'acqua ed utilizzabili per gli impieghi seguenti:

- condotte principali e diramazioni interrate;
- trasporto di acqua sopra terra sia all'esterno che all'interno dei fabbricati;
- sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) destinata al consumo umano e per usi generali.

La norma è anche applicabile ai componenti per l'adduzione d'acqua fino a 45°C compresi.

N.B. Le presenti tubazioni hanno anche caratteristiche conformi a quelle prescritte dalla norma UNI 10952 – sistemi di tubazioni per la conduzione di fluidi industriali (ad es. tubazioni antincendio). Si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento per la resistenza chimica dei manufatti (vedere ad esempio UNI ISO TR 7473)

Riferimenti legislativi:

Decreto n.174 del 6 aprile 2004 del ministero della Salute: Regolamento concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano;

Decreto Ministeriale del 21.03.73 e successivi aggiornamenti: manufatti plastici destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o d'uso personale (trasporto di fluidi alimentari quali ad esempio latte, vino, succhi di frutta ecc.).

Altri riferimenti:

UNI EN 1622: Determinazione della soglia di odore e sapore (proprietà organolettiche).

La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi, raccordi e valvole) deve essere una composizione (compound) di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Nessuno dei componenti plastici e non plastici del sistema (ad esempio guarnizioni, adesivi, lubrificanti ecc.) in contatto permanente o temporaneo deve influenzare negativamente la qualità dell'acqua potabile o costituire un pericolo tossico, organolettico o microbiologico né inficiare le proprietà fisiche, meccaniche e di tenuta del sistema.

È ammesso esclusivamente l'uso di materiale rilavorabile proprio del fabbricante prodotto durante la produzione e proveniente da campioni utilizzati per laboratorio.

Il compound deve essere valutato secondo la norma ISO/TR 9080 metodo II al fine

di determinare la resistenza alla pressione a lungo termine (M.R.S.); tale prova (che è in realtà una serie di prove di resistenza alla pressione interna effettuate a diversi valori di temperatura, sollecitazione e durata) intende verificare la capacità della materia prima (compound) di produrre tubazioni con una vita utile in esercizio di almeno cinquanta anni alla temperatura di 20°C.

La gamma dimensionale (UNI 1452):

La norma prevede tubazioni a giunzione elastomerica, con guarnizioni conformi alla norma EN 681, a giunzione ad incollaggio, a farfalla, a serraggio meccanico ed a giunzione filettata.

Le classi dimensionali delle tubazioni sono (vedere anche premessa nazionale nella parte 2 della UNI EN 1452):

- PN 6 dal DN 40 al DN 1000
- PN 8 dal DN 32 al DN 1000 (solo per mercato estero)
- PN 10 dal DN 32 al DN 800
- PN 12,5 dal DN 25 al DN 630 (solo per mercato estero)
- PN 16 dal DN 20 al DN 500
- PN 20 dal DN 12 al DN 500
- PN 25 dal DN 110 al DN 200 (solo per mercato estero)

Accorpabili nei seguenti:
- gruppi di pressione
  gruppo 1: PN 6 e 8
  gruppo 2: PN 10 e 12,5
  gruppo 3: PN 16, 20 e 25
- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 12 mm al DN 63
  gruppo 2 dal DN 75 mm al DN 225
  gruppo 3 dal DN 250 mm al DN 630
  gruppo 4 dal DN 710 mm al DN 1000
- gruppi di figure (raccordi)
  gruppo 1: curve
  gruppo 2: gomiti e ti
  gruppo 3: riduzioni, manicotti e tappi
  gruppo 4: bocchettoni, collari per flangia, pezzi per adattatori e loro parti
  gruppo 5: valvole e loro parti
  gruppo 6: attrezzature ausiliarie e loro parti

ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (UNI ENV 1452 parte 7).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP = Non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale [UNI EN 1452-1 e 2]

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
■ Effetto sulla qualità dell'acqua	Disposizioni di legge	NP	X	NP	NP
■ Massa volumica	ISO 1133	NP	X	NP	NP
■ Minimum Strenght Required (MRS)*	ISO/TR 9080 metodo II	NP	X	NP	NP
■ Materiale dell'anello di tenuta	UNI EN 681	NP	X	NP	NP
■ Materiale adesivo	Disposizioni di legge e ISO 7387-1	NP	X	NP	NP
■ Aspetto	UNI EN 1452-2	X	X	NP	X
■ Colore	UNI EN 1452-2	X	X	NP	X
■ Dimensioni	UNI EN 1452-2	X	X	NP	X
■ Marcatura	UNI EN 1452-2	X	X	NP	
■ Resistenza all'urto	UNI EN 744	X	X	NP	X
■ Resistenza alla pressione interna - 1h a 20°C (AT-TT-BRT) - 100h a 20°C (AT-TT) - 1000h a 60°C (AT-TT-PVT)	UNI EN 921	X	X	X	X
■ Resistenza a pressione per tubi con bicchiere intero- 1h a 20°C	UNI EN 921	X	X	NP	NP
■ Temperatura di rammollimento (Vicat)	UNI EN 727	X	X	NP	
■ Ritiro longitudinale	UNI EN 743	X	X	NP	X
■ Grado di gelificazione	EN 580	X	X	NP	X
■ Contenuto di cloruro di vinile monomero (VCM)	ISO 6401	X	X	NP	

* = Se esiste una lunga esperienza con il materiale/composizione (compound) tra l'organismo di certificazione e il fabbricante e/o sugli effetti di una proposta di variazione nel materiale/composizione non oltre i limiti previsti dalla parte 7 della norma al prospetto 7, non è necessario l'MRS; in questo caso vengono determinate cinque prove a 20°C e 60°C da 1000h a 5000h che devono collocarsi sulla o al di sopra della curva caratteristica a lungo termine del limite inferiore di confidenza stabilita prima della variazione del materiale/mescola.

Caratteristiche dei raccordi, delle valvole ed attrezzature ausiliarie e del materiale [UNI EN 1452-3 e 4]

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
■ Effetto sulla qualità dell'acqua	Disposizioni di legge	NP	X	NP	NP
■ Massa volumica	ISO 1133	NP	X	NP	NP
■ Minimum Strenght Required (MRS)*	ISO/TR 9080 metodo II	X	X	NP	NP
■ Materiale dell'anello di tenuta	UNI EN 681	NP	X	NP	NP

segue >>>

>>> seguito

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
■ Materiale adesivo e ISO 7387-1	Disposizioni di legge	NP	X	NP	NP
■ Aspetto	UNI EN 1452-3 e 4	X	X	NP	X
■ Colore	UNI EN 1452-3 e 4	X	X	NP	X
■ Dimensioni ed EN 578	UNI EN 1452-3 e 4	X	X	NP	X
■ Marcatura	UNI EN 1452-3 e 4	X	NP	NP	NP
■ Temperatura di rammollimento (Vicat)	UNI EN 727	X	X	NP	NP
■ Resistenza alla pressione interna - 1h a 20°C (AT-TT-BRT) - 1000h a 20°C (AT-TT-PVT)	UNI EN 917	X	X	X	X
■ Prova di schiacciamento	EN 802	X	X	NP	X
■ Effetti del calore	EN 763	X	X	NP	X
■ Contenuto di cloruro di vinile monomero (VCM)	ISO 6401	X	NP	NP	NP

* = Se esiste una lunga esperienza con il materiale/composizione (compound) tra l'organismo di certificazione e il fabbricante e/o sugli effetti di una proposta di variazione nel materiale/composizione non oltre i limiti previsti dalla parte 7 della norma al prospetto 7, non è necessario l'MRS; in questo caso vengono determinate cinque prove a 20°C e 60°C da 1000h a 5000h che devono collocarsi sulla o al di sopra della curva caratteristica a lungo termine del limite inferiore di confidenza stabilita prima della variazione del materiale/mescola.

Caratteristiche della funzionalità dei componenti assemblati e della idoneità all'impiego del sistema (degli assemblaggi)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
■ Tenuta dei manicotti a doppio bicchiere con trasmissione di carico a 20°C	EN ISO 13783	X	X	NP	NP
■ Proprietà funzionali delle valvole	EN 28233	X	X	NP	NP
■ Prove di tenuta a breve termine degli assemblaggi	EN 917 metodo B	X	X	NP	NP
■ Prova di tenuta a lungo termine degli assemblaggi	EN 28659	X	X	NP	NP

Idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 1452-5)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
■ Prova a pressione a breve termine per la tenuta degli assiemi	EN ISO 13845	X	X	NP	NP
■ Prova a breve termine con pressione negativa per la tenuta degli assiemi	EN ISO 13844	X	X	NP	NP
■ Tenuta alla pressione idrostatica a lungo termine	EN 1336	X	X	NP	NP

La guida per l'installazione (UNI 1452-6)

La norma UNI 1452 parte 6 (guida) fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi, raccordi, valvole ed attrezzature ausiliarie in poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) quando utilizzati nei sistemi di tubazioni per l'adduzione d'acqua sotto pressione.

Le raccomandazioni intendono fornire una guida pratica per i migliori metodi di progettazione e di installazione di sistemi di tubazioni per l'adduzione dell'acqua ed utilizzabili per gli impieghi seguenti:

- condotte principali e diramazioni interrate;
- trasporto di acqua sopra terra sia all'esterno che all'interno dei fabbricati;
- sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) destinata al consumo umano e per usi generali.

La norma è anche applicabile ai componenti per l'adduzione d'acqua fino a 45°C compresi.

Sono inoltre fornite raccomandazioni per la connessione ai raccordi, valvole ed attrezzature ausiliarie fatte con materiali diversi dal PVC-U.

A titolo informativo, come utile strumento per la posa in opera delle condotte in PVC-U, si può fare riferimento anche alla raccomandazione IIP n° 4 sulla installazione delle tubazioni in poli cloruro di vinile rigido (non plastificato) nella costruzione di acquedotti.

3 Fognature

Le fognature hanno come scopo principale quello di allontanare le acque di scarico delle abitazioni e le acque delle precipitazioni dalla zona urbana e farle defluire nel ricettore idrico più vicino, private del carico di inquinante di cui dispongono.

Le reti di drenaggio urbano comprendono varie parti: la tubazioni interne alle abitazioni, i pozzetti, i collegamenti con la rete principale, i collettori principali, i manufatti accessori, il depuratore e il ricettore idrico. La grande differenza con le reti acquedottistiche è che le fognature sono sempre reti aperte e il deflusso avviene, di norma, a pelo libero.

3.1 Classificazione delle reti

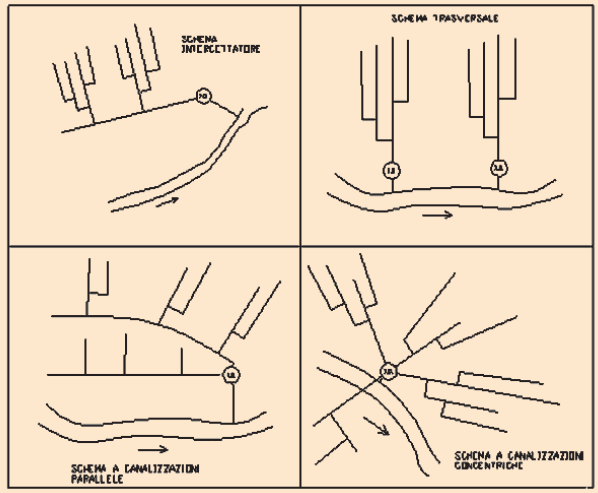
Esistono vari schemi semplici di reti di drenaggio urbano:

1. SCHEMA INTERCETTATORE: esiste un unico collettore che intercetta le portate di ogni ramo della rete dell'abitato;
2. SCHEMA TRASVERSALE: questo schema viene utilizzato quando non esiste la pendenza necessaria a collegare le varie reti, come nel caso delle fognature in pianura;
3. SCHEMA A CANALIZZAZIONI PARALLELE: in questo caso esistono due collettori paralleli che intercettano le varie reti. È lo schema adottato quando i centri urbani hanno grandi dislivelli;
4. SCHEMA A CANALIZZAZIONI CONCENTRICHE: il depuratore si trova in centro e tutte le reti si uniscono in un unico punto.

Le acque che possono essere drenate da una rete fognaria possono essere acque reflue (o nere) che sono quelle che raccolgono tutti gli scarichi e le acque pluviali (o bianche). Questa distinzione si riflette anche nel tipo di rete. Infatti si possono trovare *reti separative*, cioè che prevedono la presenza di una rete per le acque nere e una per le pluviali; oppure *reti unitarie (o miste*) che convogliano entrambe le portate.

Si deve inoltre fare notare come le acque bianche, in base al loro tasso di inquinamento, si possono distinguere in acque di prima pioggia e acque successive. Le prime hanno un tasso di inquinamento molto maggiore perché sono quelle che raccolgono tutto l'inquinamento che si è depositato sul bacino di drenaggio. Generalmente, quindi, nelle fognature delle città si cerca di suddividere le due portate mediante manufatti scolmatori o separatori, facendo così in modo che le acqua di prima pioggia vadano al depuratore prima di raggiungere il ricettore idrico finale.

Figura 3.1



3.2 Le portate pluviali

Le portate pluviali sono le portate di afflusso in fognatura quando si manifestano precipitazioni atmosferiche.

La portata pluviale Q_P in litri /s può essere espressa dalla formula:

$$Q_P = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{0{,}36}$$

in cui φ è il coefficiente di affusso in fognatura, i è l'intensità di pioggia in mm/h ed A è l'area scolante. Il coefficiente di afflusso è variabile a seconda che ci si trovi in tempo asciutto o di pioggia, oltre che dal tipo di superficie del bacino (permeabile, semi impermeabile o permeabile) e varia tra 0,3 e 0,8.

Tabella 3.1

φ = 0,8	Aree intensive residenziali
φ = 0,6	Aree estensive dei servizi e delle industrie
φ = 0,4	Aree estensive residenziali

La valutazione della portata pluviale, per eseguire una adeguata progettazione della rete, deve tenere conto degli eventi pluviali estremi. Per questo ci si deve riferire alle curve delle possibilità climatiche delle massime precipitazioni, che forniscono la relazione tra l'altezza d'acqua caduta in mm e il tempo di pioggia in cui si è verificato l'evento. Analiticamente:

$$h = a \cdot t^n$$

in cui i coefficienti a e n sono variabili a seconda del tempo di ritorno adottato nella progettazione.

Il tempo di ritorno è un concetto probabilistico che indica il tempo in cui un determinato evento estremo può essere raggiunto o superato mediamente una volta sola.

Generalmente nella progettazione, invece di utilizzare curve di possibilità climatica che si riferiscono a tempi di ritorno diversi a seconda del rischio idraulico che si può sostenere, si adotta una curva media e si usano coefficienti cautelativi diversi da zona a zona.

Inoltre, poiché le curve suddette si riferiscono ad un punto preciso (quello in cui è posizionato il pluviometro), si devono conoscere le relazioni empiriche che permettono di valutare a e n per tutto il bacino di riferimento.

3.3 Portate reflue

Per valutare le portate reflue è necessario conoscere il numero di abitanti dell'area servita e la dotazione idrica giornaliera per abitante. Quest'ultima è variabile da città a città ed è fissata dagli enti tecnici dei comuni e dei consorzi. Normalmente oscilla tra 250 e 350 litri/abitante-giorno.

Per la progettazione della rete è necessario poter stimare la portata reflua massima, mentre per la sua verifica si deve conoscere la portata minima.

La portata di un collettore di acque nere in litri/s è data:

$$Q_{R\,\max} = \frac{\alpha \cdot k_{h\,\max} \cdot d \cdot N}{86400}$$

$$Q_{R\,\min} = \frac{\alpha \cdot k_{h\,\min} \cdot d \cdot N}{86400}$$

dove:

α è un coefficiente di riduzione pari a 0,8 , d è la dotazione idrica giornaliera per abitante, N è il numero di abitanti, k_h è il coefficiente per ottenere la portata oraria massima o minima.

La verifica della rete con la portata minima è indispensabile in quanto si cerca di evitare che si manifesti il fenomeno della sedimentazione nei collettori a causa della bassa velocità. Per questo scopo, la velocità ottimale deve essere compresa tra 0,5 m/s e 4 m/s. Si è visto che il coefficiente k_{hmin} sperimentalmente è pari a:

$$k_{h\,min} = 0{,}3 - 04k_{h\,max}$$

Il moto nei collettori fognari, ai fini del loro dimensionamento, può essere considerato come un susseguirsi di moti uniformi. Per il movimento dell'acqua nelle tubazioni circolari di PVC si usa solitamente la formula di Prandtl-Colebrook per la stima della velocità media V, formula che nel settore delle fognature trova sempre maggiori consensi:

$$V = -2\sqrt{2gD_iJ} \cdot log\left(\frac{K}{3{,}71D_i} + \frac{2{,}51v}{D_i\sqrt{2gD_iJ}}\right)$$

dove:

D_i è il diametro interno della tubazione in metri, J è la pendenza, K scabrezza assoluta della tubazione in metri (altezza media delle irregolarità della parete interna), ν è la viscosità cinematica.

Per le tubazioni di PVC appena uscite dalla fabbrica, il valore di K è pari a 0,007 mm. Nel calcolo della rete di drenaggio si consiglia l'utilizzo del valore K=0,025 mm in modo da tenere conto della diminuzione della sezione per depositi e incrostazioni, la modifica della scabrezza del tubo in esercizio, la presenza di giunzioni non ben allineate, l'ovalizzazione del tubo, le modifiche di direzione e la presenza di immissioni laterali.

Si riportano in allegato le tabelle che riportano il calcolo della portata con deflusso informa piena per diversi diametri e pendenze. In realtà è meglio che il deflusso in sezione piena non si verifichi perché è necessario che nei collettori rimanga uno spazio d'aria:

- per evitare che le numerose perturbazioni al moto che sono presenti favoriscano l'incollarsi alla calotta del fluido facendo diventare il moto in pressione,
- per considerare ulteriori possibili ampliamenti della rete,
- e per permettere il passaggio del materiale galleggiante che si può trovare accidentalmente in fognatura.

I coefficienti di riempimento che si dovrebbero adottare per una buona progettazione verranno riportati di seguito.

Per valutare la portata defluente e la velocità nella tubazione, è stata realizzata una tabella (in allegato) contenente i coefficienti di adeguamento nel caso di riempimenti parziali. I simboli utilizzati sono i seguenti:

- Q_P=portata di riempimento parziale;
- Q= portata a riempimento totale;
- h=altezza del riempimento;
- D_i=diametro interno del tubo;
- V_P=velocità di flusso relativa a riempimento parziale;
- V= velocità relativa a riempimento totale.

3.4 Calcolo idraulico

Esistono principalmente due metodi di calcolo delle portate per progettare la rete di drenaggio urbano:

- il metodo cinematico;
- il metodo dell'invaso.

Il metodo cinematico prende in considerazione, oltre all'intensità di pioggia (in base alla curva di possibilità pluviometrica in modo che escluda uno o due eventi eccezionali per anno), un coefficiente che tiene conto della copertura del suolo e uno che dipende dall'are drenata, dalla pendenza media della rete e dall'intensità di pioggia

In Italia è molto diffuso il metodo dell'invaso. Ora se ne darà una breve descrizione.

Questo metodo viene così denominato in quanto l'insieme dei collettori della rete possono essere considerati come un invaso che riesce ad attenuare i picchi di portata.

L'equazione risolutiva del metodo è quella che permette il calcolo del modulo udometrico u che si misura in l/(s·ha):

$$u = \frac{2168 * n_0 * (\varphi_m * a_a)^{\frac{1}{n_0}}}{W^{\frac{1-n_0}{n_0}}}$$

dove:

- $n_0 = 4/3\ n_a$
- 2168 n_0 = funzione di n_0 per i canali chiusi
- φ_m = coefficiente di deflusso medio
- W = somma, divisa per l'area di competenza cumulata da monte a valle della ramificazione, dei volumi:
- $V1$= volume dei piccoli invasi (pozzanghere, grondaie)
- $V2$=volume invasato da tutti i tronchi a monte
- $V3$=volume invasato dal tronco in esame

Quindi:

- $W1 = V1/A$ che si pone generalmente pari a 80 m^3/ha
- $W2 = V2/A$
- $W3 = V3/A$

$$W1 = \frac{V1 + V2 + V3}{A}$$

In particolare la portata pluviale viene espressa mediante l'equazione

$$Q_p = u * A$$

dove:

A = area di competenza di ogni singolo tronco e u = coefficiente udometrico .

Per il dimensionamento delle tubazioni si ricorre ad un processo iterativo in cui l'incognita è il volume $V3$ invasato dal tronco considerato e, conseguentemente, il volume $V2$ invasato da tutti i tronchi a monte.

Si dimensionano i collettori, effettuando tutte le iterazione necessarie al dimensionamento, dai collettori di monte (estremità), verso valle, in modo da avere già alla prima iterazione il valore del volume $V2$ invasato dai tronchi a monte e ridurre quindi il numero di iterazioni necessarie.

La prima iterazione prevede che, partendo da monte verso valle, si imponga che il volume invasato dal tronco $V3$ sia nullo. $V2$ sarà nullo se si sta dimensionando un collettore di estremità oppure pari alla somma di tutti i volumi invasati dai collettori a monte già dimensionati. Il volume dei piccoli invasi è noto e pari a 80 m^3/ha moltiplicato per il valore delle singole aree di competenza. Di qui si procede al calcolo del coefficiente udometrico e delle portate pluviali.

Si calcolano le portate totali, date dalla somma delle portate reflue e pluviali di competenza dei vari tronchi.

Nota la pendenza dei vari tronchi si dimensionano i diametri dei collettori stabilendo un grado di riempimento limite, pari al rapporto tra la sezione bagnata reale e quella totale, che non deve essere superato; i gradi di riempimento limite sono in funzione del diametro del collettore e precisamente:

Tabella 3.2

Diametri	*η limite*
< 500 mm	0.5
500-1200 mm	0.66
1200-2000 mm	0.75
> 2000 mm	0.8

Per la prima iterazione si impone un grado di riempimento un po' maggiore, per esempio pari 0.55 per diametri < 500 mm, in modo che nelle iterazioni successive si possa raggiungere il valore desiderato, considerando che il grado di riempimento diminuisce conseguentemente alla riduzione subita dalla portata totale, in quanto il diametro è ipotizzato costante. Si procede per tentativi: assegnando un certo diametro ed essendo nota la pendenza del fondo scorrevole del collettore si osserva se per la portata di competenza totale, relativa al tronco considerato, il grado di riempimento risulta minore o uguale a quello limite.

Se il vincolo del grado di riempimento è rispettato, si assegna al collettore il diametro ipotizzato e si calcola il volume *V'3* invasato dal tronco in esame.

Nella seconda iterazione, noto il volume *V'3* invasato dal tronco si sostituisce tale valore al posto del volume *V3*, ipotizzato nullo per la prima iterazione. Conseguentemente si calcolano il valore di *W'*, il coefficiente udometrico *u'* e la nuova portata pluviale *Q'p*.

Si calcolano le nuove portate totali, date dalla somma delle portate reflue e pluviali di competenza dei vari tronchi.

Si ripete lo stesso procedimento illustrato nella prima iterazione ottenendo sia un grado di riempimento del collettore minore o al più uguale a quello del passo precedente (in quanto si ipotizza il diametro costante e la portata totale di competenza diminuisce) che un nuovo valore della sezione bagnata ω' e, conseguentemente, del volume invasato dal tronco in esame *V"3*.

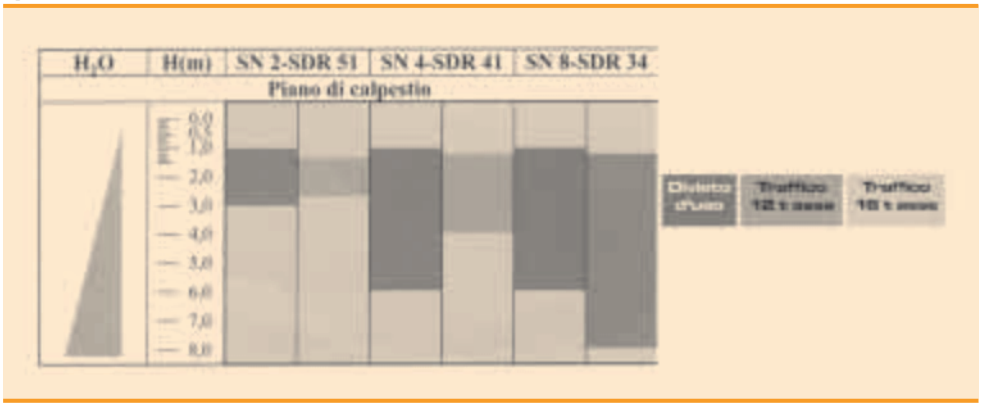
Si continua il processo iterativo finché la differenza dei volumi invasati dal tronco in due iterazioni successive non tende a zero.

Il passo successivo sarà la verifica della rete di drenaggio urbano.

È necessario verificare che la velocità minima di 0.5 m/s sia raggiunta anche quando la portata defluente è minima, ossia composta solo da quella reflua Q_{rmin} e quest'ultima riferita alla portata oraria minima dell'acquedotto.

3.5 Calcolo meccanico delle reti interrate

Figura 3.2



Il parametro più importante sia in fase di calcolo che in fase di collaudo è la deformazione diametrale dei tubi. A tale proposito, per ottenere i migliori risultati è indispensabile:

- utilizzare per il sottofondo, il rinfianco ed il ricoprimento i materiali più adatti (sabbia o ghiaia);
- procedere al loro compattamento nel modo più valido;
- provvedere che la trincea presenti la minor larghezza possibile.

La scelta dello spessore di parete del tubo dipende in gran parte dalle tre condizioni sopra precisate.

I progressi compiuti negli ultimi anni nello studio delle condotte rigide e di quelle flessibili hanno ampiamente dimostrato i vantaggi che proprio la flessibilità dei tubi interrati offre nel sostenere i cariche sfruttando le reazioni laterali del terreno. Studi e prove pratiche hanno ripetutamente dimostrato che una adeguata progettazione ed una corretta esecuzione del riempimento della trincea migliorano fortemente la capacità del tubo di sostenere i carichi. Si può concludere che il progettista deve tenere presente il sistema tubo-terreno piuttosto che il solo elemento tubo, con il vantaggio derivato dal minore spessore del tubo, che appare sempre interessante, pur tenendo presente la maggior incidenza della posa in opera.

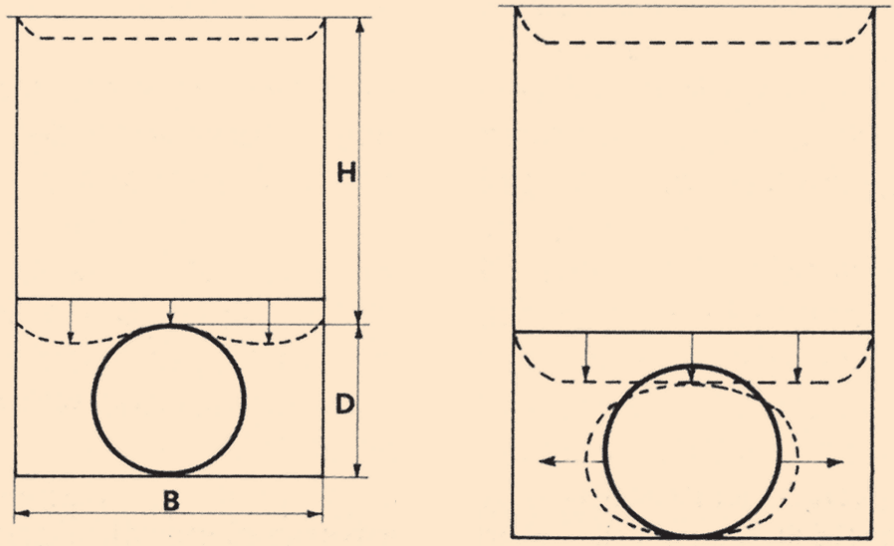
Sono *rigidi* i tubi di cemento, di fibro-cemento e di gres.

Sono *flessibili* i tubi di PVC e di altri materiali plastici (PE, PP, PRFV).

I tubi flessibili si deformano più del terreno circostante. Da soli quindi non sarebbero in grado di resistere a forti carichi verticali. Con un adeguato riempimento della trincea la loro resistenza aumenta notevolmente in quanto gran parte del carico sovrastante il tubo viene sopportato dal terreno.

In figura 3.3 si possono vedere le deformazioni del terreno nei due casi. Il tubo flessibile (seconda figura), deformandosi nel piano orizzontale, provoca una reazione laterale del terreno. Si ha così sul tubo un carico radiale che porta ad una sollecitazione di compressione sulle pareti del tubo del tutto analoga a quella tipica dell'arco. Il tubo rigido (prima figura), in funzione del carico verticale impostogli, viene sottoposto ad uno

Figura 3.3



sforzo di flessione del tutto analogo a quello tipico della trave. È ben noto che l'arco rispetto la trave presenta una utilizzazione nettamente migliore del materiale che lo costituisce. Nel nostro caso l'azione del terreno aumenta quindi la capacità di resistenza del tubo flessibile.

La resistenza meccanica dei tubi destinati alle fognature è determinata dai carichi esterni *(Q)* e non dalla pressione idraulica interna accidentale. Si ricordi infatti che essi vengano raramente utilizzati a flusso pieno, e inoltre che lo spessore di parete della serie più leggera di questi tubi (SN 2) è tale da sopportare la pressione di 4 bar.

I suddetti carichi esterni sono dati dalla somma di:

- carico del terreno q_t;
- carico di traffico o carichi mobili q_m;
- acqua di falda q_f.

Si indicherà di seguito con q in kg/m^2 il carico per unità di superficie e con $Q=q.D$ in kg/m il carico per unità di lunghezza.

3.5.1 Carico del terreno

Il carico del terreno si determina in modo diverso a seconda di come è stato eseguito lo scavo.

Il caso di trincea stretta è il più favorevole in quanto il carico è sopportato in parte per attrito dai fianchi della trincea. La definizione di trincea stretta è condizionata rispetto dei seguenti limiti geometrici:

$$B \leq 3D$$
$$B \leq H/2$$

Il carico del terreno è dato da:

$$q_{t1} = C_{d1} \cdot \gamma \cdot B$$

dove:

$C_{d1} = \dfrac{1 - e^{-2k\,tan\,0 \cdot H/B}}{2K\,tan0}$ è il coefficiente di carico per il riempimento in trincea stretta;

γ è il peso specifico del terreno in kg/m^3;

$K = tan^2\left(\dfrac{\pi}{4} - \dfrac{\phi}{2}\right)$ rapporto tra pressione orizzontale e verticale nel materiale di riempimento;

θ è l'angolo di attrito tra il materiale di riempimento e le pareti della trincea;

ϕ è l'angolo di attrito interno del materiale;

H è l'altezza del riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo in metri;

B è la larghezza della trincea, misurata in corrispondenza della generatrice superiore del tubo in metri.

Tabella 3.3

Natura del terreno	*Materiale di riempimento*	*Angolo*
Marna	Sabbia	30
Marna	Ghiaia	35
marna	Ciottoli grossi	40
Rocce lisce	Sabbia	25
Rocce lisce	Ghiaia	30
Rocce scistose	Sabbia	35
Rocce scistose	ghiaia	40

Nel caso di trincea infinita o terrapieno, cioè nel caso in cui:

$$B \leq 10D$$
$$B \leq H/2$$

il carico del terreno è dato da:

$$q_{t2} = C_{d2} \cdot \gamma \cdot H$$

in cui C_{d2}=1 perché la trincea è infinita e H è l'altezza del riempimento misurata a partire dalla generatrice superiore del tubo.

3.5.2 Carichi mobili

Anche nel caso di carichi mobili (traffico stradale o ferroviario) le pareti della trincea assorbono una parte del carico.

Tuttavia per semplicità e per motivi di massima sicurezza, si propone l'uso della formula prevista nel caso meno favorevole, cioè nel caso in cui il tubo si trova in una trincea infinita o terrapieno.

Il carico mobile è dato da:

$$q_m = \frac{3}{2\pi} \frac{P}{(H + D/2)^2} \varphi$$

dove:

P rappresenta il carico concentrato in kg costituito da una ruota o da una coppia di ruote, può essere di 3000 kg se rappresenta la situazione in cui sono previsti solo passaggi di autovetture o di autocarri da cantiere; oppure 6000 kg quando rispecchia la situazione in cui sono previsti solo passaggi di autovetture o di autocarri leggeri; oppure 9000 kg se rispecchia la situazione in cui sono previsti passaggi di autotreni pesanti.

D è il diametro nominale del tubo;

H è l'altezza di riempimento misurata dalla generatrice superiore del tubo;

φ è il coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto dinamico dei carichi.

Si assume uguale a *1+0,3/H* (limitatamente ai mezzi stradali) oppure *1+0,6/H* (limitatamente ai mezzi ferroviari), se il tubo flessibile non è inserito, come di norma, in un tubo d'acciaio.

3.5.3 Carico per acqua di falda

In presenza di acqua di falda il tubo interrato è soggetto ad un carico q_f di cui va tenuto conto nella determinazione del carico totale Q agente sul tubo.

Tale carico è dato da:

$$q_f = \gamma_{H20} (H - H_1 + D/2)$$

dove *H* è il riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo, H_1 è la soggiacenza della falda dal piano campagna, *D* è il diametro nominale esterno del tubo.

3.5.4 Interazione tubo terreno

Le flessioni e di un anello elastico sottoposto ad un carico sono espresse dalla formula di Spangler:

$$\Delta y = N_{\Delta y} \frac{QD^3}{\beta EI}$$

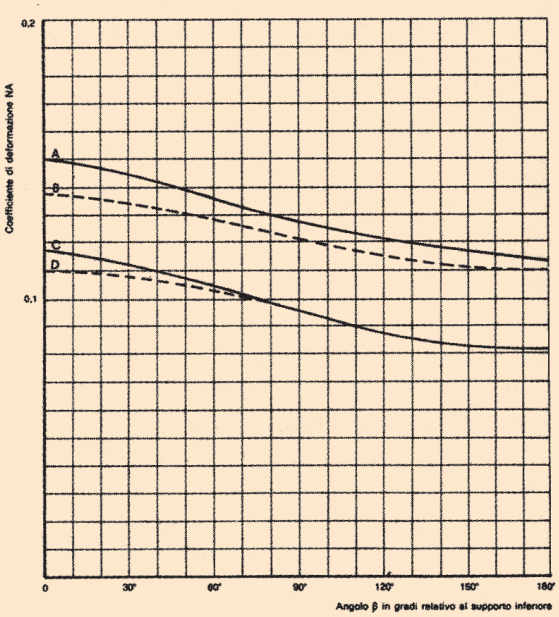
$$\Delta x = N_{\Delta x} \frac{QD^3}{\beta EI}$$

dove *I* è il momento di inerzia della parete del tubo pari a $S^3/12$; *E* è il modulo di elasticità del materiale costituente il tubo; esono coefficienti variali in funzione di α (angolo di distribuzione del carico) e β (angolo di supporto del letto di posa). Questi valori sono riportati in figura 3.4 dalla quale appare che l'andamento della flessione orizzontale è assai simile a quello della flessione orizzontale.

Ponendo $\alpha = 180°$ e quindi anche $\beta = 180°$ si ottiene:

$$\Delta x = \Delta y = \frac{0{,}083 QD^3}{8EI}$$

Figura 3.4



A) Deformazione orizzontale - carico lineare
B) Deformazione verticale - carico lineare
C) Carico orizzontale - uniformemente distribuito
D) Carico verticale - uniformemente distribuito

Si osserva che nel caso di un tubo flessibile interrato, la deformazione laterale comprime il terreno che a sua volta sviluppa una reazione nei confronti del tubo, proporzionale ad modulo elastico del terreno E_1. Pertanto le deformazioni sopra enunciate di attenuano e assumono un valore pari a:

$$\Delta x = \Delta y = \frac{0{,}083QD^3}{8EI + 0{,}061E_1D^3}$$

e per un tubo liscio:

$$\Delta x = \Delta y = \frac{0{,}125QD^3}{E(s/D)^3 + 0{,}0915E_1}$$

Le suddette formule sono valide per determinare la deformazione al tempo iniziale t=0.

Per tenere conto della variazione nel tempo sia delle caratteristiche del PVC che del comportamento del terreno, si inserisce nella suddetta formula un coefficiente T.

Si ottiene pertanto:

$$\Delta x = \Delta y = \frac{0{,}125TQ}{\frac{E}{T}(s/D)^3 + 0{,}0915E_1}$$

dove T=2 è il valore raccomandato.

I valori di E_1 si possono calcolare in base all'espressione:

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^4}{\alpha'} (H + 4)$$

in cui H è l'altezza del riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo e è un fattore che dipende dalla compattazione del rinfianco del tubo e che è collegato alla prova Proctor.

Si deve anche considerare che il valore di E_1 varia anche con la compressione.

Tabella 3.4

Prova Proctor	*α'*
95°	1,0
90°	1,5
85°	$1,5^2$
80°	$1,5^3$
75°	$1,5^4$

3.5.5 Pressione di collasso

Un tubo caratterizzato da pareti mobili molto sottili, invece che per sovratensioni o per eccessiva deformazione diametrale, si può rompere anche per collasso. Per gli spessori previsti per i tipi UNI EN 1401-1 il collasso non si verifica. Il valore della deformazione è il vincolo più limitativo.

3.5.5.1 Esempio di calcolo

Si calcolano le flessioni di un tubo in PVC della serie SN4 kN/m^2 con diametro nominale DN=0,4 m, interrato a 4 m, in una trincea stretta, subito dopo la posa e nel tempo nell'ipotesi che l'indice Proctor del terreno sia del 90% e che il peso specifico del terreno γ=2000 kg/m^3. Si applica la formula di Spangler:

$$\Delta x = \frac{0{,}125 \cdot Q}{E \cdot (s / D)^3 + 0{,}0915 \cdot E_1}$$

in cui Q=*4500 D* è il carico totale esterno sul tubo, E=30000 $\cdot$ 10^4 è il modulo elastico del tubo, s/D=0,0078/0,4=0,0195 e, infine, il valore di E_1 si può calcolare in base all'espressione:

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^4}{\alpha'} (H + 4)$$

Dove H è l'altezza del riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo in metri e α' vale 1,5. Pertanto E_1=480000 kg/m^2.

Sostituendo si può ottenere:

$$\frac{\Delta x}{D} = 1{,}21\%$$

E quindi la flessione del tubo alla posa in opera.
Volendo calcolare la flessione dello stesso tubo nel tempo si applica la formula:

$$\frac{\Delta x}{D} = \frac{0{,}125 \cdot T \cdot Q}{\frac{E}{T} \cdot (e / D)^3 + 0{,}0915 \cdot E_1}$$

Sostituendo ed eseguendo i calcoli indicati:

$$\frac{\Delta x}{D} = 2{,}49\%$$

3.6 Gamma prodotti

3.6.1 Tubazioni

Tipo tubazione	*DN Esterno (mm)*	*Spessore (mm)*	*Lunghezza barra (m)*
UNI EN 1401 –SDR 51SN2	160-200-250-315-400 -500-630-800-1000	3,2-3,9-4,9-6,2-7,9 -9,8-12,3-15,7-19,6	6
UNI-EN 1401 - SDR 41 -SN4	110-125-160-200 -250-315-400-500-630	3,2-4-4,9-6,2-7,7 -9,8-12,3-15,4	6-5-2-1
UNI-EN 1401 – SDR34 -SN8	110-125-160-200-250 -315-400-500-630	3,7-4,7-5,9-7,3-9,2 -11,7-14,6-18,4	6-3
A PARETE STRUTTURATA LISCIA INTERNA –ESTERNA SN4	110-125-160-200 -250-315-400-500	Altezza si struttura*: 3,2-4-4,9-6,2 -7,7-9,8-12,3	0,5-1-2-3-5

segue >>>

>>> seguito

Tipo tubazione	*DN Esterno (mm)*	*Spessore (mm)*	*Lunghezza barra (m)*
A PARETE STRUTTURATA LISCIA INTERNA –ESTERNA SN8	125-160-200-250 -315-400-500	Altezza di struttura*: 3,7-4,7-5,9-7,3-9,2 -11,7-14,6	3-6
TUBAZIONI ALVEOLARI SN2	500-630-710-800 -900-1000-1200	Altezza di struttura*: 12,4-16,9-18-21 -26-28,5	3-6
TUBAZIONI ALVEOLARI SN4	160-200-250-315-400 -500-630-710-800 -900-1000-1200	Altezza di struttura*: 5,5-6,7-8,5-10,9-13,1 -17,7-21-22,5-24 -27,5-30,5	3-6
TUBAZIONI ALVEOLARI SN8	160-200-250-315 -400-500-630-710 -800-900-1000-1200	Altezza di struttura*: 6,2-7,8-9,8-12,5-15,5 -19,4-23-24,5-28-30-32,5	3-6
TUBAZIONI ALVEOLARI SN16	200-250-315 -400-500	Altezza di struttura*: 8-10-12,5-16-19	3-6

*: non è uno spessore a parete piena come per UNI EN 1401

3.7 Sistemi di tubazioni per fognatura e scarichi interrati non in pressione: Norma UNI EN 1401

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Specificazioni per i tubi, i raccordi ed il sistema
- Parte 2: Guida per la valutazione della conformità
- Parte 3: Guida per l'istallazione

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica i requisiti per i tubi, i raccordi ed il sistema di tubazioni di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) nel campo degli scarichi interrati e delle fognature non in pressione nelle seguenti applicazioni:

- all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- sia interrati entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "D") che all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");

per le tubazioni idonee per entrambe le applicazioni viene assunto il codice "UD".

La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi e raccordi) deve essere una composizione (compound) di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Se calcolato sulla base di una formulazione nota, il contenuto di PVC deve essere almeno l'80% n massa per i tubi e almeno l'85% in massa per i raccordi, calcolato secondo la norma EN 1905.

Una ulteriore riduzione del contenuto di PVC-U al valore ≥ 75% in massa per i tubi è permessa a patto che il PVC compatto sia sostituito con PVC caricato e non caricato con $CaCO_3$ conformemente a quanto specificato di seguito:

a) la composizione di $CaCO_3$ dovrà essere conforme alle specifiche seguenti:
   - contenuto di $CaCO_3$ ≥ 96% in massa;
   - contenuto di $MgCO_3$ ≤ 4% in massa;
   - contenuto di $CaCO_3$ e di $MgCO_3$ complessivamente ≥ 98% in massa.

b) Le proprietà fisiche del materiale dovranno conformarsi a:
   - Dimensione media delle particelle D50 ≤ 2,5 µm;
   - Valore superiore D98 ≤ 20 µm.

La gamma dimensionale (UNI 1401-2):

La norma prevede tubazioni a giunzione elastomerica, con guarnizioni conformi alla norma EN 681, a giunzione ad incollaggio, con anello di ritenuta.

- SN 2 dal DN 160 al DN 1000
- SN 4 dal DN 110 al DN 1000
- SN 8 dal DN 110 al DN 630

Accorpabili nei seguenti:
- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 110 mm al DN 200
  gruppo 2 dal DN 250 mm al DN 500
  gruppo 3 dal DN 710 mm al DN 1000
- gruppi di figure (raccordi)
  gruppo 1: curve
  gruppo 2: derivazioni
  gruppo 3: altri tipi di raccordi

ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (parte 2).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP= Non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale (UNI EN 1401-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Contenuto di PVC	EN 1905	X	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna a 1000h*	UNI EN 921	X	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1401-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1401-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1401-1	X	X	NP	X
Resistenza all'urto a 0°C	EN 744	X	X	NP	X
Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	X	X	X	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	X	X	NP	X
Grado di gelificazione	EN 580	X	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1401-1	X	X	NP	X

* = Sul diametro più piccolo prodotto

Caratteristiche dei raccordi e del materiale (UNI EN 1401-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Contenuto di PVC	EN 1905	X	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna a 1000h*	EN 921	X	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1401-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1401-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1401-1 ed EN 496	X	X	NP	X
Resistenza meccanica o felessibilità	EN 12256	NP	X	X	NP
Prova di caduta a 0°C	EN 12061	X	X	X	NP
Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	X	X	NP	NP
Effetto del calore	EN 763	X	X	NP	X
Tenuta all'acqua	EN 1053	NP	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1401-1	NP	X	NP	NP

* = La dimensione da verificare è funzione dello spessore del provino

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 1401-1- e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Tenuta dei giunti con guarnizione elastomerica	EN 1277	X	X	X	NP
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	X	NP
Prestazioni a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	X	NP

La guida per l'installazione (1401-3)

La norma 1401 parte 3 unitamente alle norme ENV 1046:2000 e UNIEN 1610:1999 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi e raccordi in poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) quando utilizzati nei sistemi di tubazioni per scarichi interrati e fognature non in pressione nelle seguenti applicazioni:

- all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- sia interrati entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "D") che all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- per le tubazioni idonee per entrambe le applicazioni viene assunto il codice "UD".

3.8 Sistemi di tubazioni a parete strutturata per fognatura e scarichi interrati non in pressione: Tubazioni in PVC-U – PP – PE – Progetto di Norma UNIEN 13476

La trattazione approfondita della norma UNIEN 13476 viene effettuata nell'appendice 13 in cui si tratta il confronto del PVC con gli altri materiali.

4 Impianti di scarico

Le tubazioni di scarico sono quelle al cui interno scorrono le acque di rifiuto domestico come *acque bianche* quando provengono da impianti pluviali e *acque nere* quando provengono da servizi igienici, lavelli, vasche da bagno, elettrodomestici.

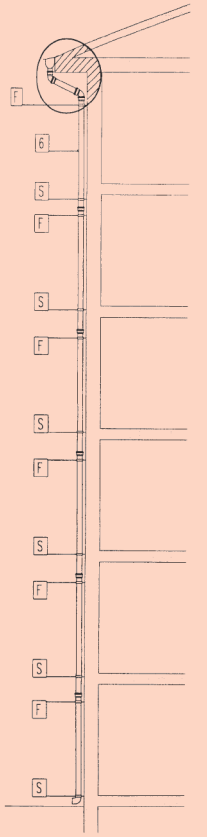
4.1 Impianti pluviali

La raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche viene effettuato mediante gli impianti pluviali. Gli elementi principali costituenti tali impianti sono:

1. canali di gronda o di conversa: tubazioni normalmente semicircolari, ma anche a sezione quadrata, trapezia ecc. che raccolgono le acque da lati perimetrali delle diverse superfici. I canali di gronda sono paralleli alle gronde e scaricano nei pluviali o, più raramente, in altri canali; le converse sono disposte tra due falde e scaricano nei canali o raramente, nei pluviali.
2. pluviali: elementi tubolari a sviluppo verticale ed a sezione circolare o anche quadrata, che raccoglie le acque dai canali e li scarica nei collettori a terra.
3. doccioni: elementi di scarico nei casi di piogge intensissime o di pluviale intasato.

Il PVC ha caratteristiche che lo rendono particolarmente idoneo a questo impiego specifico: si installa con facilità, è resistente all'aggressione chimica degli agenti atmosferici con durabilità

Figura 4.1



Schema pluviale

Legenda	
F	Ancoraggio a punto fisso
S	Ancoraggio a manicotto scorrevole
1	Tubo
2	Guarnizione
3	Anello di serraggio
4	Stelo degli ancoraggi
5	Gioco
6	Doccione

eccellente, resiste bene alle varie sollecitazioni meccaniche e anche al tambureggiamento da pioggia o grandine, smorzando il fastidioso rumore tipico dei materiali metallici, è imputrescibile.

4.1.1 Dimensionamento dei canali e dei pluviali

Per effettuare il dimensionamento di questi elementi si deve conoscere il dato della precipitazione che ha maggiore possibilità di manifestarsi più volte nell'arco di uno, due, cinque o dieci anni, secondo i casi. Le stazioni meteorologiche locali potrebbero fornire questi valori, denominati di seguito PUC (Precipitazione Ufficiale di Calcolo). Spesso non è facile possedere questi valori, si scelgono allora i valori di altezza di pioggia tanto più alti quanto la zona è soggetta ad alte e brevi precipitazioni (temporali). I valori varieranno, normalmente e prudentemente, tra 150 e 210 mm per ora per metro quadrato.

In secondo luogo si deve calcolare la superficie equivalente (SE) a quella per cui si deve effettuare il dimensionamento. In tabella 4.1 si riporta il metodo di calcolo della SE.

Tabella 4.1 - *Calcolo della SE.*

Caso	***Superficie equivalente (SE)***
■ Superfici orizzontali o inclinate (fino a 60°)	100% della somma di tutte le superfici
■ Superfici verticali o inclinate più di 60°:	
- UNA SOLA	50% della superficie
- DUE	35% della somma delle due superfici
- TRE O PIÙ	35% della somma delle due superfici maggiori

Il dimensionamento di canali di gronda si effettua conoscendo il valore della SE e le varie pendenze dei canali. In caso di canali semicircolari si utilizza la tabella 4.2.

Tabella 4.2 - *Dimensionamento dei canali di gronda.*

	Pendenze dei canali			
	0,5 %	1 %	2 %	4 % o più
Diametro nominale	***Superficie equivalente (SE) servita in m²***			
■ 100	40	55	80	110
■ 150	100	150	200	300
■ 200	200	300	450	600
■ 250	400	550	800	1100

Il dimensionamento delle colonne verticali si conduce secondo la tabella 4.3 che fissa l'altezza di pioggia PUC o quella di progetto scelta tra i valori della tabella, in termini discrezionali secondo le caratteristiche meteorologiche del luogo. Il diametro dei pluviali è definito dal valore di SE.

In pratica avviene che per motivi estetici o architettonici, oppure perché i canali di gronda presentano numerose variazioni di sezione, i pluviali vengano installati in punti tali da dover servire superfici di 80 e 120 mq. In ogni caso il pluviale da 100 mm di diametro riesce sempre a fronteggiare precipitazioni di 270 mm/h.

Occorre aggiungere che i pluviali non trasportano solo acqua, ma acqua mista a solidi (terricci, piume di volatili, erbe, ecc.) ed aria. Per questo motivo il diametro dei pluviali non dovrebbe essere inferiore a 100 mm.

In colonne a servizio di edifici molto elevati è opportuno spezzare il percorso verticale con un freno. È in pratica un disassamento, cioè un tratto di circa 1 metro inclinato a 30°, connesso ai due rami verticali con curve a 67°.

Tabella 4.3 - *Dimensionamento dei pluviali circolari in PVC, PP o PE.*

	Valori della superficie equivalente in m^2 in base a diametro e altezza di pioggia			
Diametro esterno	***Altezza di pioggia***			
	90	**150**	**210**	**270**
75	200	120	90	70
110	360	220	160	120
125	660	400	280	220
160	1200	740	530	410

4.1.2 Criteri di progetto e installazione

CANALI DI GRONDA

- I sostegni ad ampia superficie di appoggio (5 cm) sono previsti ad intervalli di 0,8 e 1,0 m;
- le tratte dei canali orizzontali presenteranno in genere un culmine al centro per far defluire le acque a i lati;
- si deve curare particolarmente l'imbocco tra canale e pluviale per evitare al massimo l'intasamento o l'ostruzione;
- una buona e periodica pulizia garantisce la piena efficienza dei canali di scarico.

PLUVIALI

- La colonna verticale è composta da barre diritte di lunghezza di circa 3 metri. Ogni barra è ancorata almeno ad un punto fisso. Per ogni elemento lungo 3 metri si prevede un punto fisso e uno scorrevole a manicotto. Per le barre di 6 metri invece si prevede un punto fisso centrale e due scorrevoli alle estremità.;
- Va evitata la trasmissione di vibrazioni e dei rumori, pertanto i vincoli, al fine di evitare il contatto diretto tra tubo e anello, sono composti dalla staffa metallica che serra una guarnizione in materiale antinvecchiamento resistente all'aggressione da agenti esterni (aria acida, escursioni termiche) e particolarmente adatta a smorzare le vibrazioni;

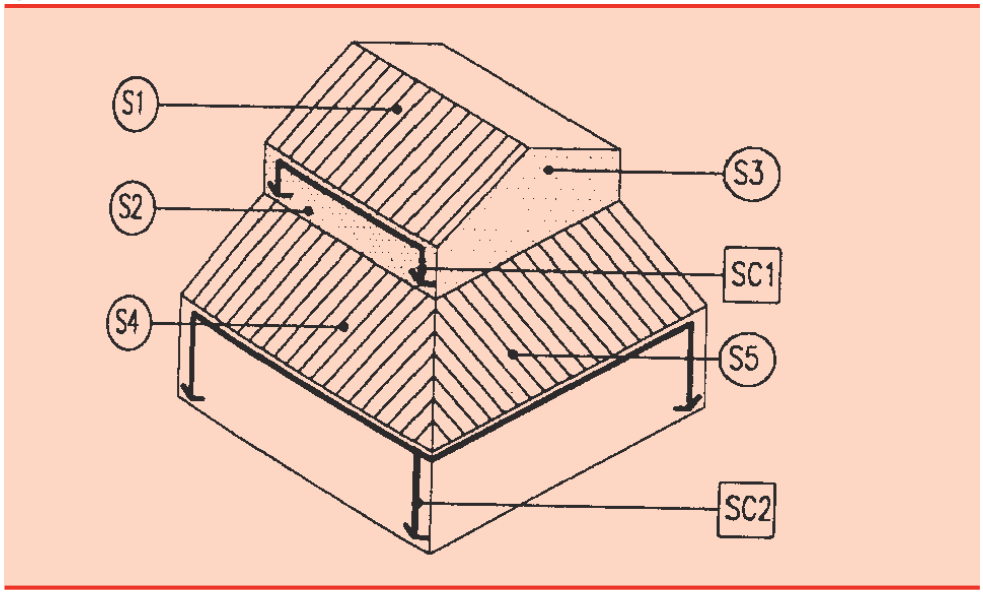
- Il getto dell'acqua che fuoriesce dal doccione deve essere orientato in modo che non possa provocare danni o molestie.

COLLETTORI ORIZZONTALI APPESI

- La pendenza ottimale si colloca tra 1% e 2% e il diametro va scelto pari a quello che si sceglierebbe per il canale di gronda che deve servire la stessa superficie equivalente;
- Per evitare l'inflessione del tubo, l'interasse massimo dei sostegni per i tubi fino a 63 mm di diametro è di 0,50 m, per diametri tra 75 e 125 mm è di 0,80 m e per i tubi fino a 250 mm l'interasse si spinge ad 1 m.
- Per la dilatazione termica a cui sono soggetti, gli appoggi fissi sono posti ad un massimo di 6,0 – 8,0 metri e tra essi vanno installati appoggi scorrevoli a cadenza opportuna per evitare l'inflessione. La massima dilatazione da prevedere e da distribuire su tutti gli appoggi è di 2 mm per metro per i tubi non esposti al sole. La massima diminuzione di lunghezza tra due appoggi fissi è invece di 12 mm per metro

4.1.3 Esempio

Figura 4.2



Per il sistema SC1:
SE 1 = S1
Per il sistema SC2:
SE 2 = S1+S4+S5+0,35(S2+S3)

Il pluviale centrale di SC serve la superficie equivalente SE = 0,5 (S1+S4+S5+0,35 (S2+S3)).
I due laterali invece servono ciascuno la superficie metà della precedente.

4.2 Impianti di scarico delle acque usate

Gli impianti di scarico delle acque usate devono assicurare il moto del fluido misto aria-acqua. L'acqua, in moto verso il basso, comprime l'aria davanti a sé (fisicamente e per trascinamento) e dilata quella dietro di sé, creando zone di sovrappressione e di depressione (vuoto).

Le caratteristiche che deve soddisfare un buon impianto di scarico sono:

1. impedire che gli odori della fognatura e degli scarichi tornino verso l'interno, penetrando nell'edificio. La soluzione a questo problema è l'installazione del sifone ai singoli apparecchi sanitari;
2. non dare luogo a corrosione per effetto delle sostanze con le quali è posto in contatto;
3. evacuare rapidamente e per la via più breve le acque di rifiuto.

La rete di convogliamento delle acque di scarico si articola in:

- *dispositivi di scarico* applicati ai singoli apparecchi sanitari: si tratta generalmente di sifoni;
- *diramazioni di scarico:* sono costruite da quei tratti di tubazione, prevalentemente a sviluppo orizzontale, che collegano i sifoni alle colonne verticali di scarico;
- *colonne di scarico:* sono generalmente disposte verticalmente. Esse raccolgono le acque provenienti dalle singole diramazioni e le portano ai collettori; inoltre la colonna viene prolungata fin oltre la copertura del tetto con un tratto chiamato tronco di esalazione, che termina con un cappellotto o mitra;
- *collettori di scarico:* hanno piccole pendenze rispetto all'orizzontale e raccolgono le acque delle diverse colonne per inviarle alla fognatura.

Si possono realizzare reti di scarico completamente in PVC. Per quanto riguarda la temperatura dei fluidi evacuabili, si osserva che raramente la temperatura è superiore a 60°C ed il flusso è limitato a poche decine di secondi, per cui l'esposizione continua e permanente ad un agente a temperatura maggiore di 70°C è di fatto molto improbabile. La deformazione meccanica può avvenire solo se le temperature superano gli 80°C per lungo tempo e se contemporaneamente si applicano sollecitazioni meccaniche. Gli scarichi di acque bollenti non pregiudicano quindi l'uso di tubi in PVC.

4.2.1 Tipologia degli schemi

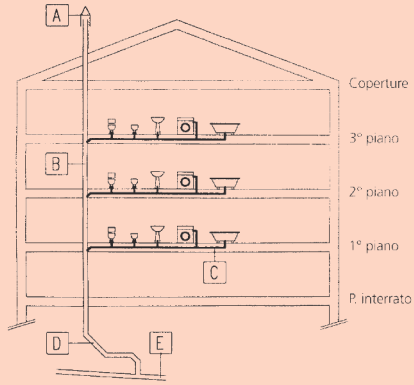
Gli schemi che si possono trovare dipendono dal tipo di ventilazione che si decide di adottare.

La ventilazione di un impianto è l'insieme delle tubazioni dedicate al passaggio dell'aria necessaria a compensare le depressioni idrostatiche che si formano nelle colonne di scarico a gravità. Durante la caduta dell'acqua nella colonna si crea un effetto di compressione dell'aria sottostante e una depressione idrostatica (vuoto) a monte dell'allacciamento interessato. La ventilazione deve colmare questo vuoto ed evitare lo svuotamento dei sifoni di ogni singolo apparecchio collegato. La depressione si può creare:

nel caso di allacciamento alla colonna con deviazione a 45° ridotta in cui si può verificare una chiusura idraulica della colonna;

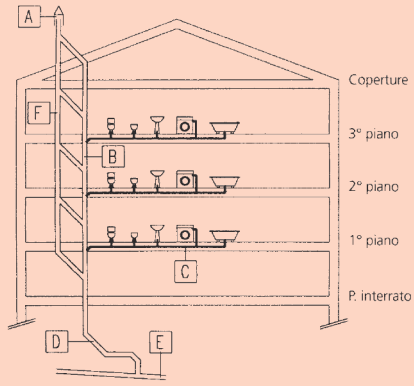
al piede della colonna, dove la condotta di scarico passa da verticale ad orizzontale e le acque compiono un brusco cambiamento di direzione, nel caso in cui si adotti una sola curva a 87°30' invece di due a 45°.

Figura 4.3

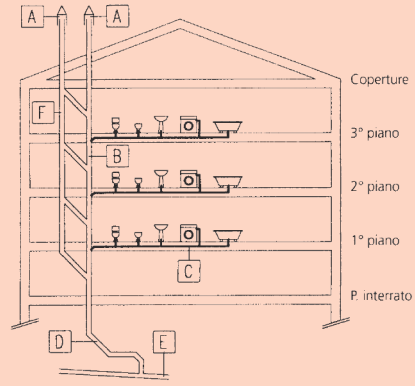


Schema S.1 - Sistema semplice

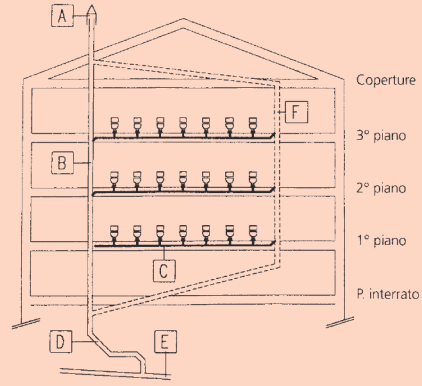
Legenda	
A	Esalatore
B	Colonna di scarico
C	Diramazioni primarie
D	Piede di colonna
E	Collettore
F	Colonna di areazione



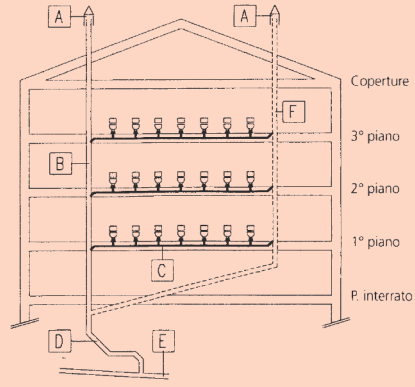
Schema S.2A - Sistema a colonna doppia ad anello



Schema S.2B - Sistema a colonna doppia aperta



Schema S.3A - Sistema a rete primaria ad anello (per collettività)



Schema S.3B - Sistema a rete primaria aperto (per collettività)

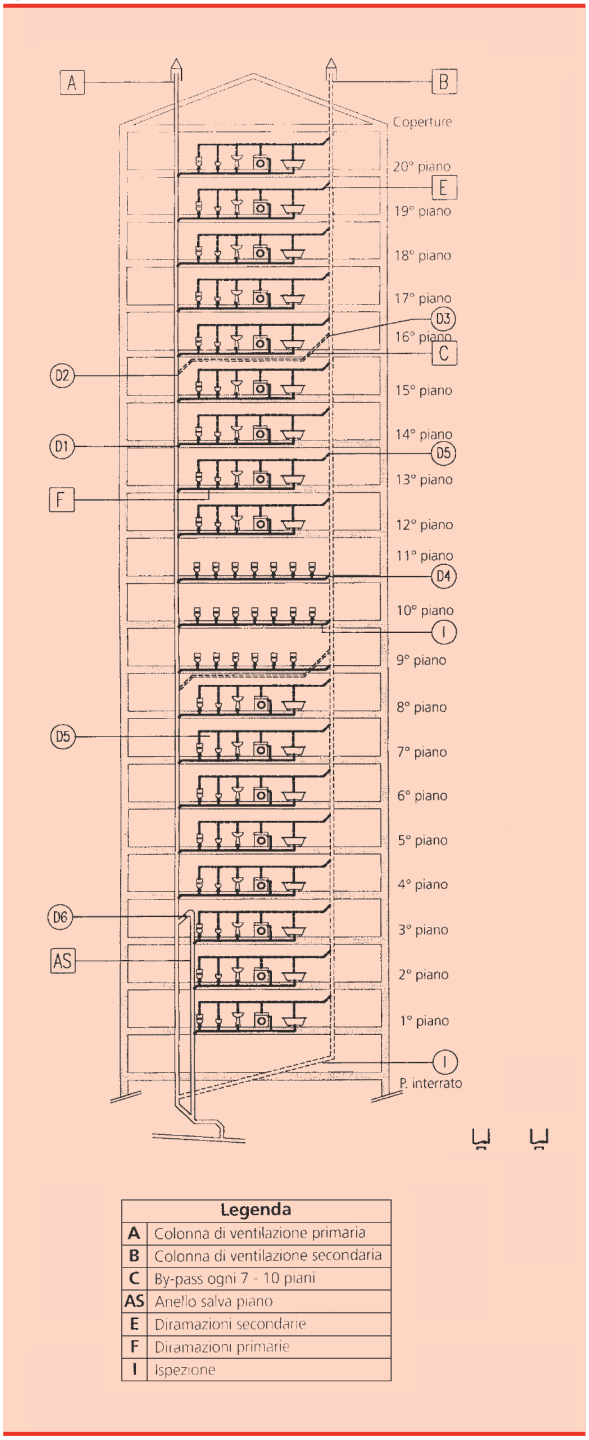
La ventilazione primaria è quella che si ottiene mettendo semplicemente in comunicazione con l'esterno la colonna di scarico verticale mediante un esalatore.

La ventilazione secondaria, invece, è costituita da una tubazione verticale, parallela alla colonna di scarico, alla quale sono innestate le diramazioni di ventilazione provenienti da un attacco a valle di ogni sifone.

In riferimento alle figure riportate di seguito si possono distinguere i diversi schemi:

- S1: sistema primario semplice;
- S2: sistema primario dotato di colonna doppia, ad anello (quando le due colonne si riuniscono in un esalatore) oppure aperta (quando le due colonne salgono indipendenti fino ai due esalatori);
- S3: schema primario tipico per collettività: le diramazioni ai vari piani sono collegate, ad una estremità con una colonna di scarico, e all'altra estremità, ad una seconda colonna, per il reintegro di aria;
- S4: sistema completa: con diramazioni primarie che si immettono nella colonna primaria e diramazioni secondarie che si immettono nella colonna secondaria.

Figura 4.4



Legenda	
A	Colonna di ventilazione primaria
B	Colonna di ventilazione secondaria
C	By-pass ogni 7 - 10 piani
AS	Anello salva piano
E	Diramazioni secondarie
F	Diramazioni primarie
I	Ispezione

4.2.2 Dimensionamento

Il dimensionamento degli scarichi è correlato alla portata da smaltire in Unità di Scarico (US). US è la portata che si scarica da un lavabo

normale e si pone uguale ad 1. In tabella 4.4 si riportano i principali valori di US per i singoli apparecchi e per i gruppi tipici per mezzo di un coefficiente di contemporaneità.

Per ogni diramazione o colonna si sommano le varie portate generate dagli apparecchi allacciati.

Tabella 4.4 - *Valori di US.*

Apparecchi	*Portata US*
Lavello, vasca con doccia, bidet, doccia, lavabiancheria, lavapiatti	2
Vaso con cassetta	4
Caso con flussometro	8
Lavabo domestico	1
Lavabo professionale (barbiere, dentista, ecc.)	2
Lavabo+vasca+bidet+vaso con cassetta	7
Lavabo+vasca+bidet+vaso con flussometro	10
Lavabo + vaso con cassetta	4
Lavabo + vaso con flussometro	8

Per il dimensionamento delle diramazioni primarie si individua il diametro della tubazione in funzione della portata US in base alla tabella 4.5. Le diramazioni al servizio di vasi non hanno mai diametro inferiore a 75 mm.

Tabella 4.5 - *Dimensionamento delle diramazioni primarie.*

DN (mm)	*Portata (US)*
32	2
40	3
50	6
75	18
100	160
125	360
160	620

Per il dimensionamento delle colonne di scarico (primarie) si considera la portata che si immette in un tratto di circa tre metri (un piano). Il diametro, a parità di portata, dipende anche dal numero di piani. In tabella 4.6 viene indicata la massima portata scaricabile da ogni diramazione.

Tabella 4.6 - *Dimensionamento della colonna di scarico.*

Diametro (mm)	*Edificio*		*Massima immissione da una diramazione tra un piano e l'altro (portata US)*
	Fino a 3 piani (portata US)	*Oltre i 3 piani (portata US)*	
50 (escluso WC)	10	24	6
75 (escluso WC)	30	60	15
100	250	500	90
125	55	1000	200
160	950	1900	350

Per quanto riguarda i *collettori* la pendenza ottimale è il 2%. Il diametro adeguato di un collettore è quello che consente una velocità di 0,6 m/s. La tabella 4.7 permette il dimensionamento.

Tabella 4.7 - *V=velocità in m/s, P=portata in US.*

Diametro (mm)	*Pendenza %*					
	1%		*2%*		*3%*	
	V	*P*	*V*	*P*	*V*	*P*
75	0,54	20	0,76	27	0,94	33
100	0,62	180	0,88	210	1,08	250
125	0,69	400	1,08	480	1,31	570
160	0,76	700	1,24	850	1,52	1000
200	0,88	1600	1,29	1900	1,57	2300

La rete secondaria può essere dimensionata utilizzando le tabelle 4.8 e 4.9. Il diametro della diramazione è quello consentito dalla lunghezza indicata.

Tabella 4.8 - *Lunghezza massima delle diramazioni secondarie.*

Diametro colonna (mm)	*Portata US*	*Lunghezza (m) Diametro raccordo orizzontale (mm)*				
		40	*50*	*75*	*100*	*125*
50	10	6				
	20	3				
75	10		12	30		
	30		10	27		
	60		5	25		
100	100		6	15	55	
	200		5	13	40	
	500		4	11	20	
125	200			5	20	60
	1000			3	10	40

Tabella 4.9 - *Lunghezza massima delle colonne secondarie.*

Diametro colonna (mm)	*Portata US*	*Lunghezza (m) Diametro raccordo orizzontale (mm)*				
		40	*50*	*75*	*100*	*125*
50	10	30	70			
	12	20	60			
	20	15	45			
75	10	10	30	480		
	30	7	20	150		
	60	5	15	120		
100	100		12	80	300	
	200		10	75	260	
	500		6	55	200	
125	200			25	100	300
	500			20	80	260
	1000			15	60	200

Il problema delle schiume che possono formare veri e propri tappi del sistema, si risolve prevedendo colonne e diramazioni secondarie con diametro maggiorato dal 20 all'80%.

4.2.3 Il progetto d'installazione

Il progetto della rete di scarico deve assicurare:

- L'equilibrio delle pressioni nel sistema;
- La limitazione del rumore derivante dallo scorrere dei fluidi (vedi paragrafo 4.3);
- La migliore possibilità di ispezionare, pulire e disinfestare il sistema;
- l'adeguata resistenza meccanica con la scelta degli ancoraggi.

L'equilibrio delle pressioni è indispensabile per evitare che si verifichi lo svuotamento dei sifoni (sifonaggio). Le condizioni da soddisfare affinché questo requisito sia soddisfatto sono:

1. adeguato dimensionamento delle tubazioni in funzione delle portate;
2. progetto adeguato riguardo agli innesti tra le diramazioni e colonne che devono avvenire a 90° teorici;
3. pendenze idonee delle parti orizzontali;
4. punti di collegamento tra la rete primaria e la secondaria.

La rumorosità dei tubi in PVC compatto si attesta a 48-50 dB. Il grado di trasmissione di rumorosità cresce per il PP per il quale si raggiungono valori di 60-61 dB.

I punti di ispezione sono realizzati con appositi tappi speciali. Essi devono essere previsti:

1. al piede di ogni colonna;

2. ad ogni confluenza e al termine del collettore orizzontale prima del sifone di separazione con al rete esterna, privata o pubblica;
3. ad ogni modifica di direzione orizzontale o verticale maggiore di 30 o 45 °.

I componenti del sistema vanno vincolati alle parti edili in modo da evitare inflessioni, deformazioni e rotture. La dilatazione termica dei tubi maggiori di un metro deve essere tenuta in conto. Per questo si deve predisporre un ancoraggio fisso ed altri scorrevoli. I punti fissi vanno previsti in corrispondenza di ogni derivazione e gomito e comunque a intervalli di 4 metri per le colonne verticali e 8 metri per i collettori interrati.

I *collettori orizzontali appesi* si dimensionano come quelli verticali, ma si deve tenere presente che:

1. sono soggetti anche al peso proprio oltre che a quella del fluido trasportato. L'interasse tra i sostegni dovrà essere adeguato per evitare inflessioni. L'interasse massimo dei sostegni per i tubi fino a 63 mm di diametro è di 0,50 m, per diametri tra 75 e 125 mm è di 0,80 m e per i tubi fino a 250 mm l'interasse si spinge ad 1 m.
2. il carico interagisce con l'appoggio. Per questo è meglio che gli appoggi siano semicircolari;
3. sono sottoposti a due tipi di dilatazione: negativa per il ritiro del materiale e positiva per la dilatazione termica. Per questo, gli appoggi fissi sono posti ad un massimo di 6,0 – 8,0 metri e tra essi vanno installati appoggi scorrevoli a cadenza opportuna per evitare l'inflessione. La massima dilatazione da prevedere e da distribuire su tutti gli appoggi è di 2 mm per metro per i tubi non esposti al sole. La massima diminuzione di lunghezza tra due appoggi fissi è invece di 12 mm per metro.

4.3 Tubi ad elevato potere fonoassorbente

Il rumore è considerato un fattore di stress per l'organismo. Nella progettazione degli edifici è importante perciò prospettare soluzioni tecnologiche capaci di soddisfare condizioni di benessere acustico degli individui.

I tubi ad elevato potere fonoassorbente sono il risultato di studi effettuati per rispondere alle esigenze del Decreto Ministeriale 5 Dicembre 1997 sulla rumorosità degli impianti tecnologici. I tubi ad alto potere fonoassorbente vengono realizzati per estrusione con una particolare lega polimerica con caratteristiche prestazionali stabilite dalla norma UNI EN 1329-1 sugli scarichi. La loro rigidità anulare supera SN4 e sono realizzate di colore grigio RAL 7035.

L'onda sonora proveniente dai sistemi di scarico può propagarsi nell'edificio per via aerea e attraverso la struttura. I tubi e i raccordi realizzati mediante questa nuova lega assicurano il massimo assorbimento delle onde sonore. Per evitare inoltre la trasmissione delle vibrazioni alla struttura, deve essere creata una discontinuità tra la sorgente di vibrazioni e la parete di installazione. Sono stati progettati, a questo riguardo, specifici collari che permettono di assorbire le vibrazioni provenienti dal tubo.

I tubi fonoassorbenti sono dotati di guarnizioni preinserite e bloccate e caratterizzate da una eccellente tenuta e durata.

4.3.1 Prove di laboratorio

Il DM 5/12/1997 stabilisce che la rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i seguenti limiti:

a. 35 dB(A) per i servizi a funzionamento discontinuo (scarichi idraulici, bagni, servizi igienici);
b. 25 dB(A) per i servizi a funzionamento continuo.

Per verificare il potere fonoassorbente delle tubazioni, vengono realizzate prove di laboratorio sia sui materiali che su realizzazioni di installazioni più complete. Le misurazioni effettuate secondo gli standard tedeschi DIN 52 219 e DIN EN 14366 e con flusso stazionario di acqua pari a 0,5 l/s, 1 l/s, 2 l/s e 4 l/s. Alla portata di 2 l/s, corrispondente al flusso medio di un WC, il livello acustico dell'impianto è di soli 25 dB(A).

L' impianto di scarico sul quale sono stati verificati i parametri acustici è stato allestito come segue:

1. La rete è costituita da tubi DN 110 esterno, due derivazioni di entrata a 87°, due curve da 45° al primo piano interrato con una sezione intermedia di rallentamento (lunghezza 250 mm circa), più una sezione orizzontale fognaria;
2. Morsetti per tubi: collari anti-vibrazione 110 mm di diametro con rivestimento in gomma lungo la sezione, completamente chiusi, fissati alla parete dell'impianto mediante perni e tiranti a vite.

Tabella 4.10 - *Risultati dei test fonometrici.*

Portata (l/s)	*Livello acustico dell'impianto dB(A) misurato nella sala di prova al pianto interrato*
0,5	14
1,0	16
2,0	25
4,0	29

4.3.2 La classificazione al fuoco

La classificazione al fuoco delle tubazioni fonoassorbenti è classificato secondo la norma 13501-1:2002 con l'euroclasse *B – s2, d0*. Il significato della sigla è il seguente:

- B = indice di comportamento al fuoco: contributo al fuoco molto basso;
- S2 = Indice di produzione di fumo: livello basso di produzione di fumo;
- d0 = indice di gocciolamento infiammato: assenza di particelle ardenti, caratteristica determinante per la propagazione degli incendi nelle case.

4.3.3 Posa in opera

Per quanto riguarda il montaggio del giunto, per permetter la dilatazione, si consiglia di inserire il tubo fino in fondo, di marcare il tubo lungo il bordo del bicchiere e quindi di ritirare indietro il tubo alla distanza desiderata. Per montaggi eseguiti a 10°C

è sufficiente lasciare per la dilatazione 10 mm. Il coefficiente di dilatazione del PVC è di 0,06 mm/m °C. Per un tubo lungo 3 m e uno sbalzo di temperatura di 50°C l'allungamento è di 0,06 x 3 x 50 = 9 mm.

Per consentire eventuali movimenti di scorrimento dovuti alle dilatazioni si consiglia di seguire le seguenti indicazioni:

1. Nel caso di tubazioni verticali che attraversano più piani è consigliabile montare un colare di guida vicino al bicchiere di innesto, e un secondo collare di guida ad una distanza di 1 / 2 metri. In questo caso il passaggio di solette costituisce di per sé un punto fisso di ancoraggio.
2. Se l'attraversamento delle solette è effettuato mediante foro passante, si deve montare un collare di fissaggio ed un collare di guida per ogni tubo; i primi devono essere montati al di sopra dei raccordi cioè all'estremità inferiore del tubo così da impedire lo scivolamento delle tubazioni verso il basso, i secondi saranno disposti al massimo 2m al di sopra dei primi.

In ogni caso si deve evitare il contatto della condotta con la parete al fine di evitare la trasmissione delle vibrazioni. Nel caso in cui questo non sia possibile, è necessario ricoprire il tubo con un idoneo materiale fonoisolante.

Per mantenere le proprietà di fonoassorbenza è indispensabile un'adeguata ventilazione e non è consentita alcuna riduzione della sezione lungo la colonna.

4.4 Gamma prodotti

4.4.1 Tubazioni

Tipo tubazione	*DN esterno (mm)*	*Spessore (mm)*	*Lunghezza spezzone (m)*
■ UNI EN 1329 -140-160-200	40-50-63-80-82-100-125	3-3,2-3,9	1-2-3
■ Tubazioni fonoassorbenti	110	3,2	1-2-3
■ UNI EN 1453	100 – 125 – 140 - 160 -200	3-3,2-3,9	1-2-3

Si ricorda anche la possibilità di utilizzo delle tubazioni caricate secondo la norma UNI 10972.

4.5 Sistemi di tubazioni per condotte di scarico all'interno dei fabbricati: Norma UNI EN 1329

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Specificazioni per i tubi, i raccordi ed il sistema – Maggio 2000
- Parte 2: Guida per la valutazione della conformità (sperimentale) – Ottobre 2002
- Parte 3: Guida per l'istallazione (sperimentale)

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica i requisiti per i tubi, i raccordi ed il sistema di tubazioni di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici (codice dell'area di applicazione "B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD".

La presente norma si applica ai tubi ed ai raccordi di PVC-U, alle giunzioni ed alle giunzioni con componenti di altri materiali plastici destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi e raccordi) deve essere una composizione (compound) di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Se calcolato sulla base di una formulazione nota, il contenuto di PVC deve essere almeno l'80% n massa per i tubi e almeno l'85% in massa per i raccordi, calcolato secondo la norma EN 1905.

Una ulteriore riduzione del contenuto di PVC-U al valore ≥ 75% in massa per i tubi è permessa a patto che il PVC compatto sia sostituito con PVC caricato e non caricato con $CaCO_3$ conformemente a quanto specificato di seguito:

a) la composizione di $CaCO_3$ dovrà essere conforme alle specifiche seguenti:
   - contenuto di $CaCO_3$ ≥ 96% in massa;
   - contenuto di $MgCO_3$ ≤ 4% in massa;
   - contenuto di $CaCO_3$ e di $MgCO_3$ complessivamente ≥ 98% in massa.

b) Le proprietà fisiche del materiale dovranno conformarsi a:
   - Dimensione media delle particelle D50 ≤ 2,5 µm;
   - Valore superiore D98 ≤ 20 µm.

La gamma dimensionale (UNI 1329-2):

La norma prevede tubazioni a giunzione elastomerica, con guarnizioni conformi alla norma EN 681, a giunzione ad incollaggio, con anello di ritenuta dal DN 32 al DN 315.

Le classi dimensionali delle tubazioni sono accorpabili nei seguenti:

- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 32 al DN 63
  gruppo 2 dal DN 75 al DN 180
  gruppo 3 dal DN 200 al DN 315
  gruppi di figure (raccordi)

- gruppo 1: curve
  gruppo 2: derivazioni
  gruppo 3: altri tipi di raccordi
  ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (parte 2).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP = Non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale (UNI EN 1329-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Contenuto di PVC	EN 1905	X	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna a 1000h*	EN 921	X	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X
Dimensioni ed EN 496	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X
Resistenza all'urto a 0°C	EN 744	X	X	NP	X
Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	X	X	X	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	X	X	NP	X
Grado di gelificazione	EN 580	X	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X

* = Sul diametro più piccolo prodotto

Nota: Per il codice di area di applicazione BD, il tubo deve avere una rigidità nominale minima di SN 4 secondo la norma UNI EN 1329-1.

Caratteristiche dei raccordi e del materiale (UNI EN 1329-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Contenuto di PVC	EN 1905	X	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna a 1000h*	EN 921	X	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X

segue >>>

>>> seguito

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
ed EN 496					
Prova di caduta a 0°C	EN 12061	X	X	X	NP
Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	X	X	NP	NP
Effetto del calore	EN 763	X	X	NP	X
Tenuta all'acqua	EN 1053	NP	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1329-1	NP	X	NP	NP

* = La dimensione da verificare è funzione dello spessore del provino

Nota: Per il codice di area di applicazione BD, il raccordo deve avere una rigidità nominale minima di SN 4 secondo la norma UNI EN 1329-1.

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 1329-1- e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Tenuta all'acqua	EN 1053	X	X	X	NP
Tenuta all'aria	EN 1054	X	X	X	NP
Tenuta dei giunti di giunzioni elastomeriche	EN 1277	X	X	X	NP
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	X	NP
Tenuta a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	X	NP

La guida per l'installazione (UNI EN 1329-3)

Il progetto di norma prENV 1329 parte 3 (sperimentale) unitamente alla norma ENV 13801 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi e raccordi in poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici (codice dell'area di applicazione "B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD" e destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);

- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

A titolo informativo, come utile strumento per la posa in opera delle condotte in PVC-U, si può fare riferimento anche alla raccomandazione IIP n° 8 sulla installazione di tubazioni di PVC rigido (non plastificato) per condotte di scarico nei fabbricati.

4.6 Sistemi di tubazioni con tubi a parete strutturata per condotte di scarico all'interno dei fabbricati: Norma UNI EN 1453

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un estratto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per

l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Specificazioni per i tubi, i raccordi ed il sistema
- Parte 2: Guida per la valutazione della conformità
- Parte 3: Guida per l'istallazione (sperimentale)

Scopo e campo di applicazione:

La norma specifica i requisiti per i tubi a parete strutturata ed il sistema di tubazioni di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) nel campo degli scarichi di acque usate (alta e bassa temperatura) sia all'interno dei fabbricati (codice dell'area di applicazione"B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD").

La presente norma si applica ai tubi a parete strutturata di PVC-U, alle giunzioni ed alle giunzioni con componenti di altri materiali plastici (marcati "B" e "BD") destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

N.B. Per i raccordi occorre fare riferimento alla norma UNI EN 1329 - Sistemi di tubazioni per condotte di scarico all'interno dei fabbricati

La materia prima

Il materiale con cui sono costruiti i tubi deve essere una composizione (compound) di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Se calcolato sulla base di una formulazione nota, il contenuto minimo di PVC deve essere almeno l'80% in massa per i tubi calcolato secondo la norma UNI EN 1905.

Per lo strato intermedio espanso dove viene utilizzato carbonato di calcio ($CaCO_3$), il contenuto di PVC deve essere almeno il 60% in massa. In tali casi il contenuto di PVC più il carbonato di calcio deve essere almeno l'85% in massa e si deve specificare il tipo di carbonato.

La gamma dimensionale (UNI ENV 1453-2):

La norma prevede tubazioni a giunzione elastomerica, con guarnizioni conformi alla norma EN 681 e a giunzione ad incollaggio dal DN 32 al DN 315.

Le classi dimensionali delle tubazioni sono accorpabili nei seguenti:

- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 32 al DN 63
  gruppo 2 dal DN 75 al DN 180
  gruppo 3 dal DN 200 al DN 315
- gruppi di figure (raccordi)
  gruppo 1: curve

gruppo 2: derivazioni
gruppo 3: altri tipi di raccordi
ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (ENV parte 2).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP = Non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale (UNI EN 1453-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Contenuto di PVC	EN 1905	X	X	NP	NP
Aspetto	UNI EN 1453-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1453-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1453-1 ed EN ISO 3126	X	X	NP	X
Resistenza all'urto a 0°C	EN 744	X	X	NP	X
Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	X	X	X	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	X	X	NP	X
Grado di gelificazione	EN 580	X	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1453-1	X	X	NP	X

Per quanto riguarda le caratteristiche dei raccordi occorre fare riferimento a quanto previsto dalla norma UNI EN 1329- Sistemi di tubazioni per condotte di scarico all'interno dei fabbricati.

Caratteristiche dei raccordi e del materiale (UNI EN 1453-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Contenuto di PVC	EN 1905	X	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna a 1000h*	EN 921	X	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1329-1	X	X	NP	X

segue >>>

>>> seguito

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
	ed EN 496				
■ Prova di caduta a 0°C	EN 12061	X	X	X	NP
■ Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	X	X	NP	NP
■ Effetto del calore	EN 763	X	X	NP	X
■ Tenuta all'acqua	EN 1053	NP	X	NP	X
■ Marcatura	UNI EN 1329-1	NP	X	NP	NP

* = La dimensione da verificare è funzione dello spessore del provino

Nota: Per il codice di area di applicazione BD, il raccordo deve avere una rigidità nominale di SN 4 secondo la norma UNI EN 1401-1.

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 1453-1- e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
■ Tenuta all'acqua	EN 1053	X	X	X	NP
■ Tenuta all'aria	EN 1054	X	X	X	NP
■ Tenuta dei giunti di giunzioni elastomeriche	EN 1277	X	X	X	NP
■ Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	X	NP
■ Tenuta a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	X	NP

La guida per l'installazione (prENV 1453-3)

Il progetto di norma prENV 1453 parte 3 (sperimentale) unitamente alla norma ENV 13801 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi e raccordi in poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici (codice dell'area di applicazione "B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD") e destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

5 Tubi di drenaggio

È il sistema di tubazioni che vengono utilizzate per l'eliminazione degli accumuli di acqua dovuti alle piogge o alla filtrazione del terreno con applicazioni abbastanza distinte.

5.1 Sistemi di drenaggio

Si distingue in:

1. drenaggio lineare: è il sistema di drenaggio utilizzato nelle strade, nelle ferrovie, negli edifici. Si installa una rete di tubi con una pendenza determinata e un diametro che aumenta fino a che si raggiunge il diametro massimo utile per lo smaltimento della portata.
2. drenaggio superficiale: si utilizza per il drenaggio di giardini, campi sportivi e altre zone in cui si ritiene sia utile. Generalmente si installano canalizzazioni parallele alla distanza adeguata per coprire tutta l'area interessata e si calcolano le pendenze e i diametri per ogni ramo e infine per il collettore finale.

5.1.1 Drenaggi in opere civili e in aree sportive

Si possono distinguere le seguenti applicazioni:

- drenaggio dei muri di sostegno e contenimento;
- drenaggi in strade carrabili;
- drenaggi di reti ferroviarie;
- drenaggi di canali;
- drenaggi realizzati con geotessili;
- drenaggi superficiali, campi sportivi.

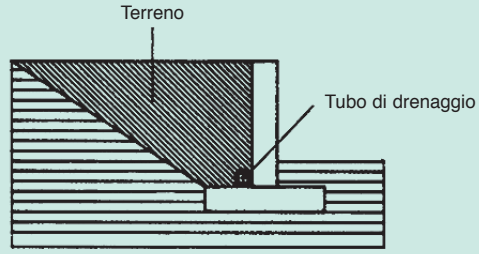
Il drenaggio è indispensabile in diverse situazioni e ambiti per evitare l'insorgere di sovrappressioni che possono essere estremamente pericolose. Anche il drenaggio di terreni di fondazione è molto importante, per assicurare la stabilità delle opere. Canali grigliati in PVC di varie dimensioni possono essere utilizzati anche per il drenaggio di acque meteoriche in giardini, parcheggi, garage, cortili ecc.

5.1.2 Drenaggio di muri di sostegno e di contenimento

Per facilitare il drenaggio posteriormente ai muri di sostegno si inserisce materiale filtrante di granulometria grossolana e alla base una canalizzazione per evacuare l'acqua. Il riempimento dello strato filtrante di solito ha una granulometria compresa tra 8 e 12mm. Dimensioni superiori non sono ammesse a stretto contatto con la tubazione drenante. Quando si utilizza materiale naturale, è ammesso solo il 5% del passante al setaccio di 2 mm. Lo strato su cui appoggia la tubazione drenante deve essere almeno di 100mm.

In figura 5.1 si riporta un esempio di tale realizzazione.

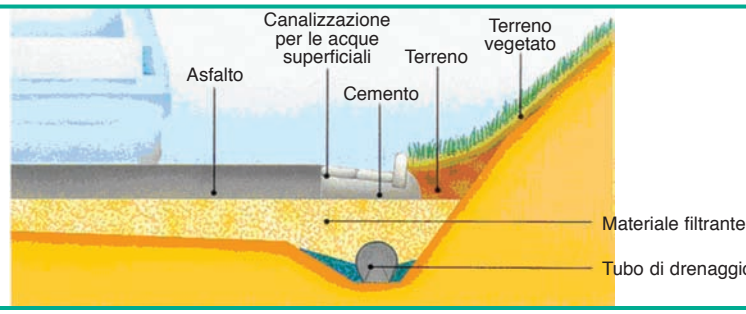
Figura 5.1



5.1.3 Drenaggio delle strade carreggiabili

Un altro aspetto molto importante è il drenaggio delle carreggiate nel caso di eventi di precipitazione molto intensa. Per evitare inconvenienti al traffico stradale è indispensabile che l'acqua sia evacuata il prima possibile. Si mostrano di seguito due esempi di realizzazioni sempre ipotizzando che l'asfalto poggi su di uno strato drenante. Si deve sempre considerare anche la possibilità di un apporto dalla falda freatica nel dimensionamento delle condotte. In queste configurazioni si è soliti utilizzare tubazioni circolari ma anche a tunnel.

Figura 5.2

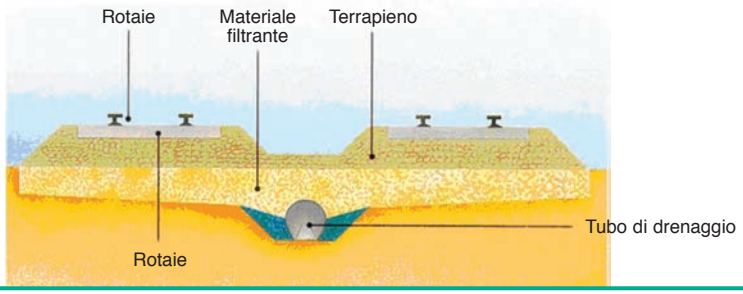


5.1.4 Drenaggio di reti ferroviarie

I tratti ferroviari richiedono una base idonea per assicurare la stabilità e la sicurezza. Infatti le vibrazioni discontinue fornite dal passaggio dei treni necessiterà di una base senza giunzioni, che possono rappresentare falle puntuali ma sufficienti perché si possano realizzare occasionali incidenti.

Nella figura 5.3 può vedere un esempio di drenaggi in questa situazione.

Figura 5.3



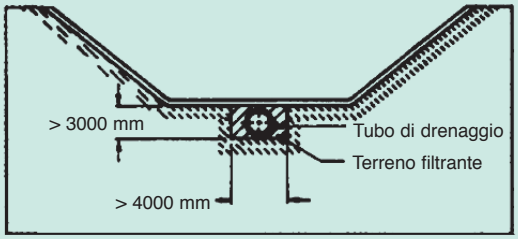
5.1.5 Drenaggi di canali

Può essere necessario realizzare drenaggi di opere civili importanti come nel caso di canali che devono trasportare portate da utilizzare per irrigazione o centrali elettriche.

Qualsiasi assestamento successivo alla posa in opera della base del canale può provocare crepe con tutti i possibili problemi conseguenti per il suo utilizzo, la sua stabilità e l'inquinamento delle acque di falda o viceversa.

Alle perdite naturali per evaporazione si dovranno quindi anche sommare le perdite dal fondo o dalle pareti. Nella costruzione del canale si dovranno adottare tutti gli accorgimenti necessari ad assicurarne la solidità e per realizzare i drenaggi necessari. Nella figura 5.4 si mostra un esempio di realizzazione in cui viene assicurato il drenaggio della parte circostante il canale.

Figura 5.4



5.1.6 Drenaggio realizzato mediante geotessuti

Quando si devono effettuare drenaggi in suoli argillosi o con alto contenuto i particelle fini che potrebbero intasare i fori dei tubi di drenaggio, allora si circonda il tubo con un geotessile.

5.1.7 Drenaggi superficiali, di campi sportivi, piste ciclabili

A seconda della forma e della pendenza del terreno da drenare, lo schema delle tubazioni di drenaggio da installare potrà essere lineare o di tipo ramificato. In quest'ultimo caso le ramificazioni potranno assumere la forma di spina di pesce

con un collettore centrale, di pettine con un collettore laterale, di costola con un collettore centrale e rami su entrambi i lati che scaricano perpendicolarmente, o di griglia in cui i rami paralleli confluiscono in un collettore perimetrale che li circonda.

La distanza tra i vari collettori è variabile tra 10-24 m a seconda delle precipitazioni, della permeabilità del suolo e della necessità del prosciugamento.

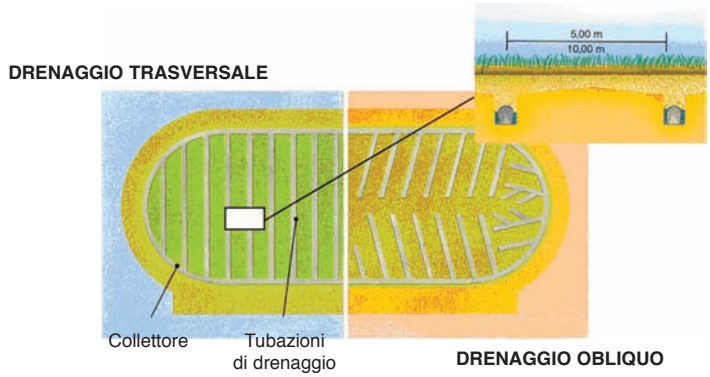
Adottando il tracciato a pettine si avrà una minore lunghezza del tubo e si potranno realizzare allineamenti più larghi.

In generale, si raccomanda di installare drenaggi paralleli alle curve di livello quando la pendenza è leggera, mentre la posa dovrà essere perpendicolare alle curve di livello se la pendenza è elevata. La pendenza dei dreni non dovrebbe mai essere interiore al 2 per mille.

Se i terreni in cui si deve installare il dreno sono di tipo limoso, allora per evitare il loro intasamento si dovrà prevedere l'installazione di un filtro in materiale granulare e/o geotessuto.

In figura 5.5 si rappresentano due tipi di installazioni di drenaggio in un campo sportivo.

Figura 5.5



5.2 Drenaggi agricoli

Queste tubazioni sono necessarie per evitare la saturazione di acqua del suolo per insufficiente capacità di assorbimento, migliorando la consistenza del terreno e la sua aerazione in modo da favorire un maggiore presenza di nutrienti e quindi di migliorare la resa agricola. Migliorando il controllo dell'umidità del suolo si migliora la lavorazione della terra così come la trasformazione delle sostanze organiche in sostanze come i minerali che possono essere assimilati dalle piante, incrementando la qualità delle coltivazioni.

Grazie all'utilizzo di opportuni drenaggi si possono recuperare terreni contaminati dall'acqua marina, terreni paludosi o suoli che per l'alto livello di contaminazione chimica non sarebbero più adatti alla coltivazione se non con il drenaggio effettuato e grazie al lavaggio effettuato dall'acqua piovana.

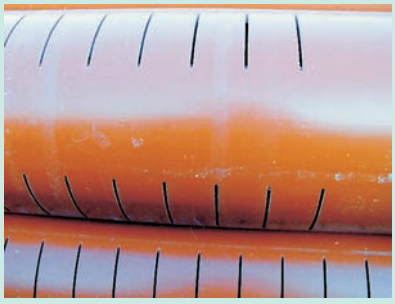
5.3 Tipologie di tubazioni per il drenaggio

I tubi che possono essere utilizzati per il drenaggio di terreni sono:

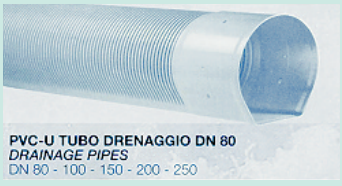
- tubazioni corrugate circolari;
- tubazioni corrugate circolari a doppia parete;
- tubazioni corrugate a tunnel;
- tubazioni a tunnel con finestrature per il drenaggio sulle pareti;
- tubazioni circolari con finestrature del tubo in senso ortogonale alla generatrice del tubo stesso.

Le tubazioni per drenaggio sono generalmente fornite in barre giuntabili tra loro tramite filettatura maschio-femmina per fare in modo che i tubi, allontanandosi, non provochino un'interruzione del condotto, dando origine ad un punto soggetto a frane con relative possibili occlusioni della linea drenante. Le tubazioni possono avere finestratura unica, doppia, tripla o plurima a seconda della percentuale di passaggio richiesta. Le finestrature hanno uno spessore variabile da 0,20 mm a 3,0 mm ed oltre, e sono in rapporto alla granulomentria del terreno da drenare.

Esempio di tubo fessurato



Tubazioni corrugate



5.4 Resistenza meccanica del tubo di drenaggio

La resistenza alla plasticizzazione è definita da un valore minimo denominato Rigidezza Circonferenziale Specifica (RCS). Questa rigidezza è distinta secondo il tipo di tubazioni considerate e viene specificata dal produttore nei fascicoli informativi.

I tubi ondulati o strutturati presentano una elevata rigidezza circonferenziale. I tubi circolari corrugati con parete sottile hanno una maggiore flessibilità longitudinale che permette loro di adattarsi alla configurazione del terreno, fino al punto di poter essere avvolto in grandi bobine per facilitarne il trasporto. La tubazioni corrugate a doppia parete hanno un elevato momento di inerzia che è proporzionale a elevati valori di rigidezza circonferenziale specifica. Le tubazioni corrugate a tunnel sulla parte superiore sono costituite da un semi tubo la cui parete è corrugata formando anelli trasversali di rinforzo per incrementare la rigidezza anulare del tubo e così poter sopportare meglio i carichi esterni del terreno e del traffico, contemporaneamente evacuando l'acqua drenata nella parte inferiore. Questa è costituita da una canalizzazione di forma trapezoidale che incrementa la sezione utile e ha a parete interna senza corrugazioni, il che riduce le perdite di carico nella circolazione dell'acqua drenata.

5.5 Gamma prodotti

5.5.1 Tubazioni

Tipo tubazione	*DN Esterno (mm)*	*Larghezza fessure (mm)*	*Lunghezza spezzone (m)*
■ Dreno sezione coassiale circolare, M/M filettato all'interno, M/F a bicchiere all'esterno	60-200	0,5-1	3
■ Tubo rigido in PVC liscio o scanalato per drenaggi suborizzonatali, pozzi, piezometri	1"1/2 – 4"	0,5 - 0,7	6
■ Tubo in PVC fessurato con sezione a tunnel	80-300	0,8 – 1,4	6 - 6,25 – 6,27 – 6,3

6 Impianti industriali

Di seguito si descriveranno brevemente alcune possibili applicazioni delle tubazioni di PVC agli impianti industriali, in particolare a:

- Impianti antincendio;
- Impianti di aria compressa;
- Impianti chimico-industriali.

Si ricordano infine ulteriori applicazioni delle condotte in PVC quali l'utilizzo per iniezioni di consolidamento oppure nei pozzi artesiani.

6.1 Impianti antincendio

Tecnicamente, si definisce incendio un processo di ossidazione violenta e non controllata con emissione di energia termica e formazione di gas (CO oppure CO_2 e distillazione di prodotti volatili).

I danni provocati dagli incendi negli stabilimenti industriali, calcolati nel loro complesso, sono elevatissimi: infatti, ai danni diretti si aggiungono i danni indiretti, dovuti alla mancata produzione. Per ridurre od evitare gli uni e gli altri, si rende necessaria l'adozione di opportuni mezzi di prevenzione e protezione. In pratica si distingue tra provvedimenti di tipo preventivo e provvedimenti rivolti a spegnere o a circoscrivere l'incendio.

6.1.1 Carico di incendio e la resistenza al fuoco

Il carico di incendio dà una misura del grado di pericolo cui è soggetto un edificio o locale contenente materiale combustibile sotto forma di calore che si può sviluppare per unità di area di quell'edificio in caso di incendio.

La normativa italiano sulla prevenzione degli incendi considera, come carico di incendio, il potenziale termico dei materiali combustibili presenti nei locali, misurato in chilogrammi di legno equivalente. Perciò il carico d'incendio specifico, riferito cioè alla unità di superficie lorda del locale, si calcola tramite l'espressione:

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{N} g_i H_i}{4400\ A} \text{ (kg di legno equivalente/m}^2\text{)}$$

dove g_i è la massa in kg di sostanza combustibile *i* fra le *N* presenti nel locale, H_i è il potere calorifico superiore della sostanza combustibile, in kcal/kg o MJ/Kg, *A* è l'area del locale, 4400 kcal/kg è il potere calorifico del legno standard.

Si ricorda inoltre che il carico d'incendio serve a calcolare, mediante un opportuno coefficiente di riduzione, un indice di rischio. Secondo la C.M. n.91 del 14/9/61 sono previste sette classi per un edificio o locale). L'indice di rischio definisce il tempo in minuti richiesto di resistenza al fuoco. Il carico d'incendio e la classe del locale, inoltre, determinano la scelta del tipo di struttura resistente al fuoco (REI).

La resistenza al fuoco REI di un elemento strutturale è il tempo in minuto dopo il quale l'elemento perde le sue caratteristiche funzionali (Resistenza, Ermeticità ed Isolamento termico). Una volte determinata la classe di un edificio o locale, il progettista deve prevedere strutture che assicurino la corrispondente resistenza al fuoco.

6.1.2 Impianti di rivelazione/segnalazione (UNI EN 54)

Un elemento di grande importanza ai fini della sicurezza antincendio è la tempestiva segnalazione di un principio di incendio.

I principali sistemi di segnalazione possono essere:

1. rivelatori termici:
   - di massima;
   - differenziali;
   - a fusibile.
2. rivelatori di fumo:
   - ottici;
   - ionici.
3. rivelatori di fiamma:
   - a raggi infrarossi;
   - a raggi ultravioletti.
4. rivelatori pneumatici:
   - a pressione;
   - a depressione.

Per una trattazione approfondita di tali sistemi si rimanda a testi tecnici specifici.

6.1.3 Impianti di spegnimento

I principali metodi di estinzione di un incendio sono:

- per raffreddamento: si diminuisce la temperatura al di sotto del punto di accensione;
- per soffocamento: si può ottenere riducendo l'afflusso di aria e quindi il tenore di ossigeno, oppure diluendo la miscela combustibile con una miscela gasosa inerte;
- per 'strappamento alla fiamma'.

Per estinguere un incendio si può ricorrere a:

- mezzi antincendio mobili (estintori, autopompe);
- impianti antincendio fissi (ad acqua, a schiuma meccanica, a CO_2).

I più diffusi sono gli impianti ad acqua, tra i quali si devono distinguere:

- impianti a idranti;
- impianti a pioggia (tipo a sprinkler);
- impianti a nebulizzatori.

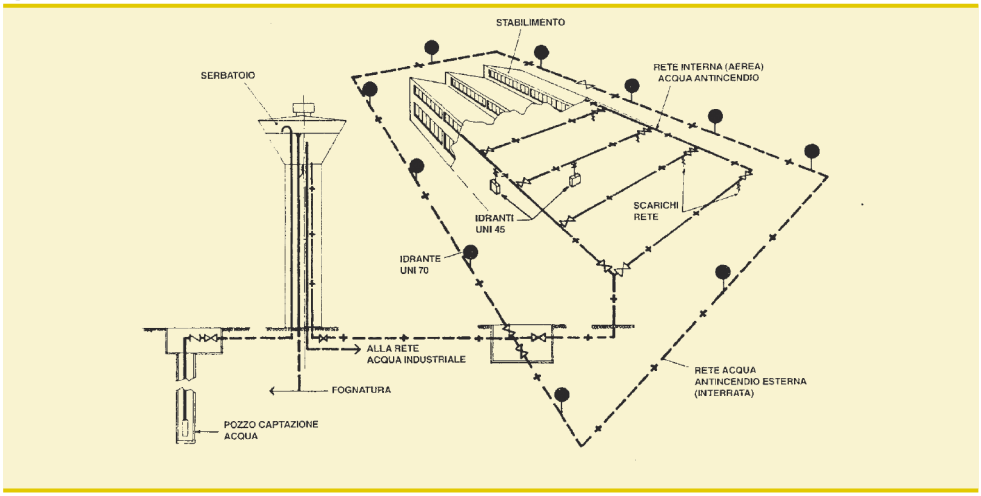
Per garantire la sicurezza dell'alimentazione dell'impianto sia dal punto di vista idrico che elettrico si dovranno adottare alcuni accorgimenti, quali:

- collegamenti fissi al tronco di acquedotti, serbatoio a gravità o a pressione;
- eventuali alimentazioni di rincalzo;
- attacchi di rincalzo per VV. F. (UNI 9490);
- pompe autoadescanti per serbatoi a livello o interrati;
- rete elettrica su linea preferenziale;
- gruppo elettrogeno oppure motopompa.

La rete idrica dovrà essere inoltre verificata affinché possa assicurare in ogni momento la pressione e la portata previsti dall'impianto e deve essere ad uso esclusivo dell'impianto.

Impianto antincendio a idranti

Figura 6.1



L'acqua di alimentazione può provenire da pozzi, vasche, serbatoi, fiumi, canali, acquedotti.

L'anello esterno della rete antincendio è costituito da una tubazione interrata posta ad una distanza di 5-15 m dal fabbricato. A tale tubazione vengono allacciati di norma idranti dotati di uno o due attacchi DN70. In pratica gli idranti non dovrebbero essere distanziati fra loro più di 50-80 m. È consigliabile prevedere un idrante in corrispondenza di ogni ingresso nel fabbricato, in modo che risulti agevole accedere con le tubazioni flessibili.

Fra ogni idrante e la condotta di alimentazione è installata una valvola di tenuta, al fine di poter eseguire eventuali riparazioni sul singolo idrante senza dover vuotare l'intera rete.

Gli idranti previsti all'interno del fabbricato sono in genere del tipo UNI45 a cassetta con manichetta e lancia. L'allacciamento alla rete è effettuato mediante derivazione con tubo e valvola di intercettazione di diametro non inferiore a 50 mm.

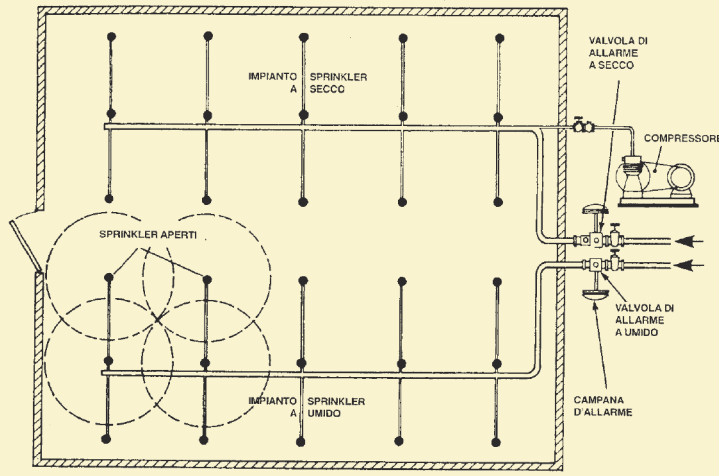
Per la progettazione delle reti, i dati di partenza sono ovviamente quelli della portata delle lance antincendio e delle pressioni dell'acqua richieste per assicurare le migliori prestazioni degli idranti. Apposite tabelle forniscono i valori delle portate teoriche delle lance in funzione della pressione e del diametro di bocchelli. In genere si impone una pressione dell'acqua non inferiore a circa 2 bar all'idrante più lontano. La contemporaneità del funzionamento degli idranti è stabilita di volta in volta: in pratica, la portata minima da considerare non scende mai al di sotto di 600 l/min alla pressione minima di 3 bar.

In tutti i casi, la riserva di acqua antincendio dovrebbe assicurare l'alimentazione degli idranti in funzione per almeno 2 ore. La velocità dell'acqua nelle tubazioni si assume pari a 2-3 m/s. Noti tali elementi si può risalire al diametro dei tubi e quindi, tenendo conto delle perdite di carico, alla pressione da assegnare all'acqua a monte delle reti: in tal modo si perviene ad individuare l'altezza minima dell'eventuale serbatoio aereo oppure le caratteristiche delle pompe.

Impianti a pioggia

Tale tipo di installazione, nota anche come impianto a sprinkler, è caratterizzato dall'impiego di ugelli erogatori o 'teste' (sprinkler) tenuti chiusi da una piastrina di lega metallica fusibile ad una temperatura prefissata oppure da un bulbo o una ampolla di quarzo contenente un liquido con elevata tensione di vapore, il quale, a temperatura prestabilita, provoca la rottura dell'ampolla. I tipi fondamentali di impianti sono:

Figura 6.2



- a umido, cioè con tubi sempre pieni di acqua in pressione;
- a secco, cioè con tubi contenenti aria compressa;
- a preazione, che rappresenta un connubio fra i due tipo precedenti.

L'impianto a umido è il più comune, specie in locali non soggetti al gelo. Quando la temperatura ambiente raggiunge il valore prefissato, una o più testa si aprono, l'acqua della rete sulla quale esse sono montate inonda l'area sottostante spargendosi, grazie ad un apposito frangiflusso o diffusore, secondo un profilo all'incirca conico o 'a ombrello'. Ogni sprinkler può proteggere una zona di 7-12 m^2.

Nell'impianto a secco, le tubazioni sono tenute sotto una pressione d'aria costante. L'apertura degli sprinkler avviene per il calore sviluppato dall'incendio, oppure per una rapida sopraelevazione della temperatura. Quando una o più teste si aprono, l'aria fuoriesce dalla rete e la valvola di controllo installata a monte, non più tenuta chiusa dalla pressione dell'aria, si apre lasciando via libera all'acqua.

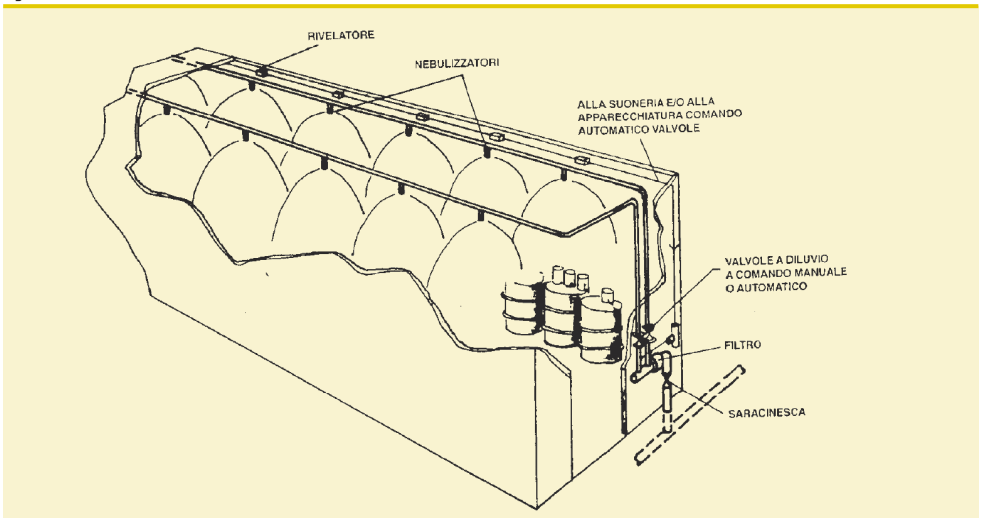
L'impianto a preazione è sostanzialmente costituito da un impianto a secco, ma senza aria in pressione, associato a rivelatori di fumo. Quando questi rilevano presenza di fumo, comandano l'apertura della valvola di controllo dell'impianto e i tubi si riempiono d'acqua. Gli sprinkler entreranno però in azione solo quando sia avvenuta la fusione delle testine, evitando il ritardo nello spegnimento presente nell'impianto tradizionale a secco.

Il dimensionamento delle tubazioni non presenta difficoltà una volta che siano noti il numero massimo di sprinkler da alimentare contemporaneamente, il tipo di questi e la pressione della rete. Anche per gli impianti a sprinkler, come velocità dell'acqua nei condotti si assumono di solito valori compresi tra 2 e 3 m/s.

Impianti a nebulizzatori

Tali impianti consistono in una rete di tubazioni portanti speciali con ugelli erogatori, sempre aperti, che hanno il compito di suddividere l'acqua in piccolissime gocce

Figura 6.3



e di distribuirla uniformemente in un getto a forma approssimativamente conica o 'a ombrello'.

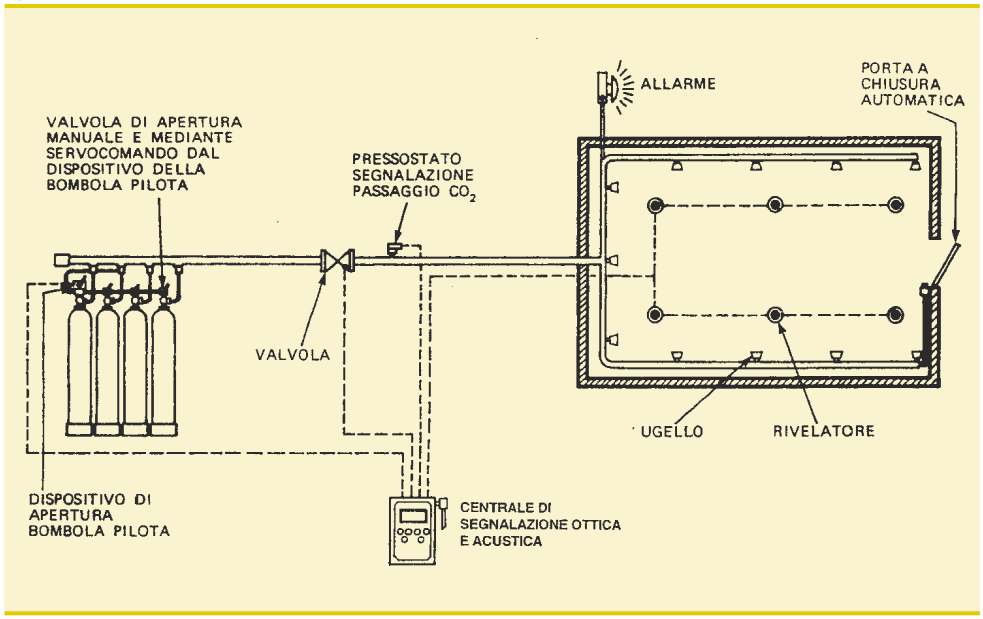
Gli impianti a nebulizzatori sono del tipo a secco: perciò, a impianto non funzionante, la rete di distribuzione è vuota d'acqua; l'alimentazione del liquido avviene solo a seguito dell'apertura di una valvola a comando automatico o manuale. Sono disponibili nebulizzatori di varie forme, a seconda delle necessità, caratterizzati da portate, pressioni e suddivisione dell'acqua diverse. In generale, comunque, si può dire che la superficie protetta da un nebulizzatore è all'incirca uguale a quella protetta da uno spinkler.

Il consumo può variare da 20 a 120 l/min a seconda del diametro, della casa costruttrice e della pressione dell'acqua in rete. Per ogni tipo di nebulizzatore, la finezza della suddivisione dell'acqua aumenta con la pressione in rete, che non dovrebbe scendere sotto i 3-4 bar.

In base a diagrammi che forniscono le caratteristiche del getto, si stabilisce la distanza tra i nebulizzatori, facendo in modo che sia assicurata la sovrappressione dei getti di nebulizzatori vicini. Stabilito il numero e il tipo di nebulizzatori occorrenti, si può calcolare il diametro delle tubazioni e definire l'intero impianto adottando una velocità dell'acqua di 2-3 m/s.

Impianti a CO_2 ad alta pressione

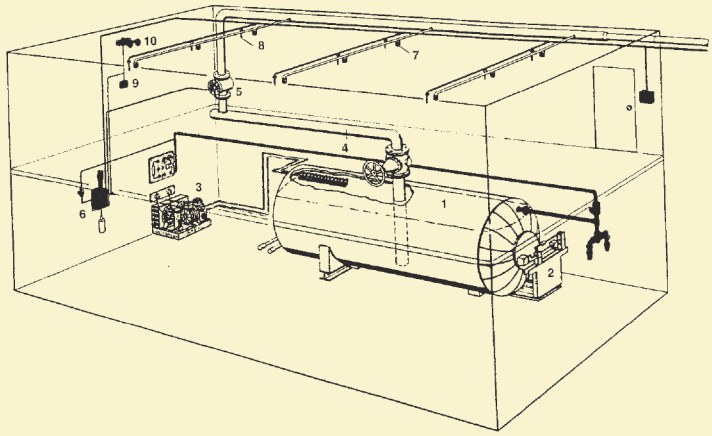
Figura 6.4



Consistono in una batteria di bombole contenenti CO_2 allo stato liquido e collegate, mediante una rete di tubazioni e valvole di intercettazione, agli ugelli che erogano CO_2 sotto forma di gas. Perché l'azione di soffocamento sia efficace, è necessario che l'ambiente sia completamente chiuso, quindi tutte le aperture debbono potersi chiudere automaticamente, per esempio tramite apparecchiature pneumatiche comandate dal deflusso della CO_2.

Impianti a CO_2 a bassa pressione

Figura 6.5

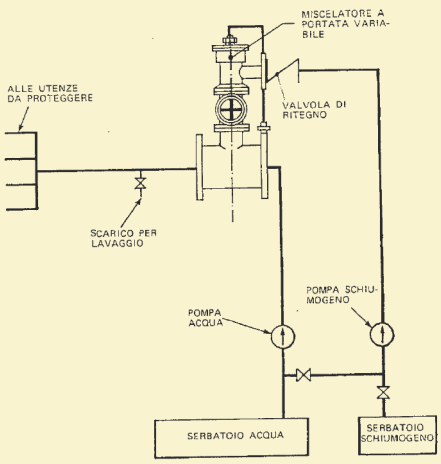


La principale differenza rispetto agli impianti ad alta pressione riguarda l'immagazzinamento della CO_2: non si usano bombole a temperatura ambiente, ma un unico recipiente refrigerato alla pressione di 20 bar e alla temperatura di –18°C montato su una bilancia a stadera.

Il costo degli impianti a CO_2 è molto elevato per cui l'applicazione è riservata a casi di forte pericolo, nei quali è necessario un agente estinguente che non provochi danni. L'impiego della CO_2 risulta particolarmente adatto per la protezione di apparecchiature elettriche ed elettroniche, depositi e reparti di lavorazione vernici, archivi e biblioteche, trafile e laminatoi, forni di essiccazione e liquidi infiammabili in genere.

Impianti a schiuma meccanica

Figura 6.6



Immettendo nell'aria soluzioni di acqua e liquidi schiumogeni (sostanze proteiniche, fluoroproteiniche, sintetiche, ecc.) si determina la formazione di schiuma, con l'effetto di isolare le sostanze combustibili rispetto all'aria e raffreddare i materiali esposti al fuoco. La schiuma non deve venire in contatto con apparecchiature in tensione.

Se l'impianto è poco esteso, è possibile formare la soluzione in un solo punto ed inviarla con tubazioni agli erogatori. Ma data la viscosità del prodotto, per percorsi più lunghi di qualche metro è necessario formarla zona per zona, in altrettante apparecchiature schiumogene.

Impianti a gas specifici

Sono messi al bando gli estinguenti a base di idrocarburi completamente alogenati contenti anche bromo (halons). In loro sostituzione sono state sperimentate sostanze non lesive dell'ozono stratosferico né dannose per l'ambiente, idonee ad estinguere fuochi che si sviluppano in locali chiusi. I prodotti sostitutivi sono costituiti da idrocarburi parzialmente alogenati oppure da gas inerti. In pratica, l'impiego dei nuovi estinguenti gassosi è limitato alla protezione di centri elaborazione e archivi dati, sale controllo, biblioteche.

6.2 Impianti di aria compressa

L'impiego dell'aria compressa in campo industriale è andato sempre più generalizzandosi ed oggi si può dire che non esista stabilimento il quale non utilizzi tale sevromezzo sia per comando e la regolazione di utenze, sia come forza motrice (macchine utensili, martelli pneumatici, trasporti pneumatici), sia infine come servocomando di utensili (pinze, tastatori, ecc.). Come è noto, la produzione di aria compressa è ottenuta mediante compressori, i quali aspirano l'aria atmosferica, la comprimono alla pressione occorrente e la alimentano alla rete di distribuzione. Esistono diversi vantaggi nell'utilizzo dell'aria compressa nella trasmissione di potenza tra i quali la sua versatilità, la possibilità di utilizzo anche in impianti dove esistono pericoli di scoppio o incendio, l'elevata maneggevolezza degli utensili che ne fanno uso (metà peso), coppia e velocità facilmente regolabili, elasticità e sicurezza contro i sovraccarichi e la buona sicurezza antinfortunistica.

6.2.1 Cenni alla composizione dell'impianto di aria compressa

L'aria da comprimere è aspirata mediante una presa posizionata a 2-3 metri dal suolo e in zona fresca in modo che sia aria pulita e in modo da aumentare il rendimento volumetrico. Si rende comunque sempre necessario il filtraggio dell'aria mediante filtri a secco, umettati o a bagno d'olio. Nella condotta di aspirazione l'aria è soggetta a pulsazioni (specialmente se si usano compressori alternativi) con una velocità massima di 1,2 – 2 volte la velocità media. Tali pulsazioni determinano maggiori perdite di carico e inducono vibrazioni, per questo si inseriscono polmoni smorzatori (silenziatori).

I compressori che si possono utilizzare in una centrale di compressione possono essere:

- volumetrici:
  1. alternativi
  2. rotativi (a palette, ad anello liquido, a ingranaggi)

- dinamici o turbocompressori:
  1. radiali o centrifughi;
  2. assiali.

Si riporta di seguito una tabella che indica i campi di impiego dei diversi tipi di compressori.

La compressione spesso avviene in più stadi con refrigerazioni intermedie.

La refrigerazione finale è anche molto importante in quanto l'aria calda in uscita può trascinare del lubrificante, generando miscele esplosive, oppure può portare alla formazione di condense nella rete e nel serbatoio. La condensa può corrodere le tubazioni e le apparecchiature oppure generare inconvenienti in alcuni processi produttivi. L'aria potrà quindi essere essiccata mediante essiccatori ad adsorbimento (gel di silice, allumina) oppure mediante essiccatori a refrigerazione, utilizzando un ciclo frigorifero.

Figura 6.7

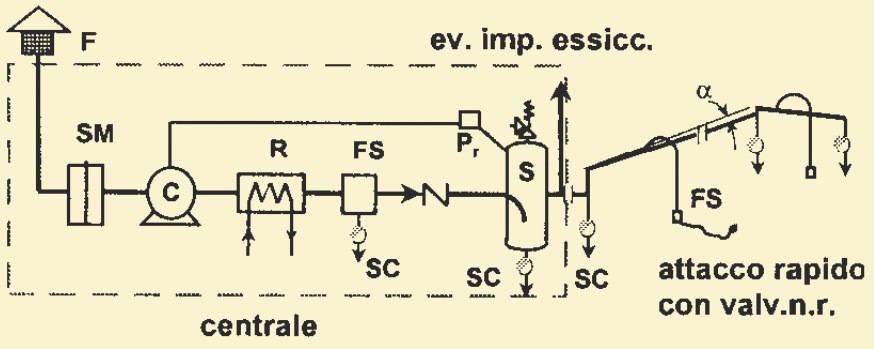
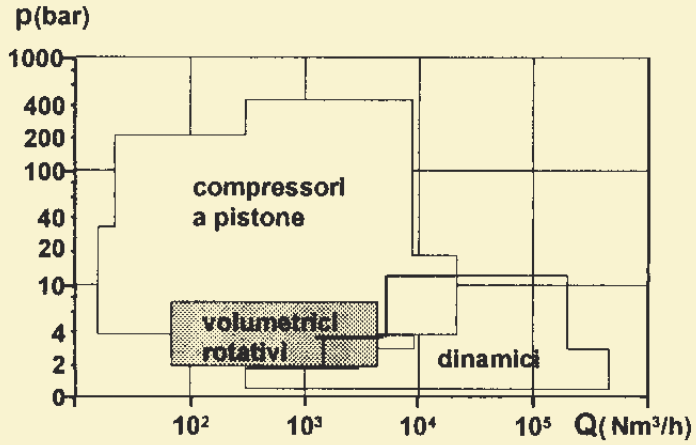


Figura 6.8

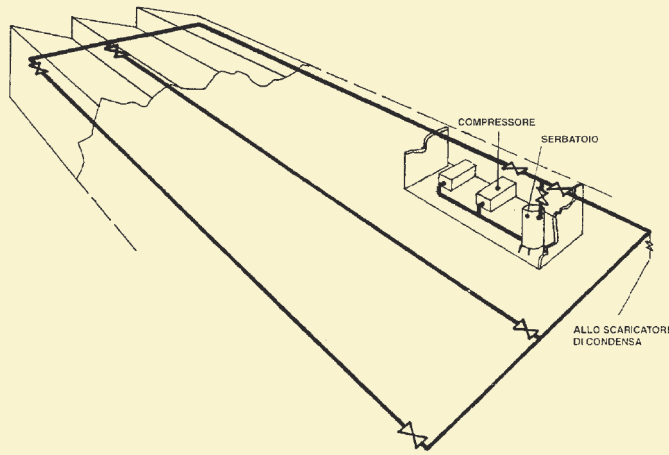


Per il dimensionamento della centrale di compressione, si calcola il fabbisogno medio, ottenuto come somma delle richieste delle utenze moltiplicate per il relativo grado di utilizzazione oppure per un coefficiente di contemporaneità. Se sono necessarie più pressioni, si tende a tenere separate le varie linee, e, comunque, anche in caso di linea unica si tende ad installare più unità autonome (aspirazione, refrigerazione finale, serbatoio). Il serbatoio viene dimensionato mediante formule empiriche in funzione della portata del compressore o del tempo di erogazione in emergenza.

Dalla sala compressori, l'aria compressa passa nella rete di distribuzione.

6.2.2 Rete di distribuzione

Figura 6.9



La rete di distribuzione è in genere del tipo a maglie, cioè ad anello chiuso con collegamenti trasversali intercettabili per mezzo di valvole, del tipo a sfera o a flusso avviato, installate all'estremità.

Al fine di evitare intasamenti dei tubi, dovuti alla presenza nell'aria di umidità residua, si realizza la rete con una pendenza fra 0,2% e 0,5% nel senso del movimento dell'aria. Tutte le prese d'aria per le utenze partono dalla parte superiore del tubo di alimentazione, allo scopo di non prelevare la condensa eventualmente accumulatasi nelle tubazioni. Se l'aria non è trattata negli impianti di essiccazione, nei punti bassi della rete di distribuzione si installano speciali dispositivi per lo scarico dell'acqua di condensa. Quando invece l'aria sia stata preventivamente essiccata, non è più indispensabile prevedere gli scaricatori lungo la rete.

Nel caso in cui i compressori siano lubrificati o ad iniezione d'olio, nella fase di compressione una parte dell'olio rimane nell'aria compressa, unitamente all'umidità presente nell'aria aspirata. A seguito del raffreddamento dell'aria compressa nel refrigeratore finale, dotato di separatore di condensa, dotato di separatore di condensa, buona parte di tale miscela acqua e olio finemente emulsionata viene rimossa.

Talvolta, qualunque sia il tipo di compressori adottato, si installano appositi filtri immediatamente a monte di utenze particolarmente esigenti. Al fine di assicurare la

continuità di esercizio dei macchinari che utilizzano l'aria compressa, conviene installare in parallelo due separatori di fine condensa, di cui uno solo funzionante.

Progettazione delle reti di distribuzione

Il calcolo delle perdite di carico nelle tubazioni può essere effettuato applicando la formula:

$$\Delta p = 10^{-4}\,\lambda\gamma_a\,\frac{v^2}{2g}\,\frac{L}{D}$$

dove:

Δp è la caduta di pressione (bar); λ è il coefficiente di attrito del movimento dell'aria dentro i tubi; λ_a è il peso dell'unità di volume di aria compressa; v è al velocità media dell'aria; D il diametro interno della tubazione ed L è la lunghezza equivalente della tubazione.

Molti progettisti applicano la formula sperimentale:

$$\Delta p = 1{,}6 \cdot 10^8 \cdot \frac{Q^{1,85}\,L}{d^5\,p_0}$$

dove:

Q è la portata di aria, d il diametro interno della tubazione e p_0 la pressione iniziale in bar.

La lunghezza L indicata nelle precedenti formule comprende le resistenze accidentali dovute a variazioni di sezione e di direzione, valvole, diramazioni, ecc. Si tiene conto di tali perdite localizzate considerando lunghezze equivalenti di tubazione, le quali si aggiungono alla lunghezza effettiva dei tubi su cui le resistenze stesse sono localizzate. Le lunghezze equivalenti sono fornite da tabelle o grafici.

In pratica, appositi diagrammi forniscono le perdite di carico in funzione della portata d'aria, della pressione di questa, della lunghezza equivalente e del diametro dei tubi.

Anche per le reti di aria compressa, come già per quelle di acqua, è possibile applicare metodi di dimensionamento basati sul concetto della massima economia totale.

In ogni caso, le velocità dell'aria nelle tubazioni non dovrebbero mai superare i 10-15 m/s, mentre la perdita di carico massima fra compressore ed estremità della rete dovrebbe risultare contenuta entro 0,5 bar, ivi compresi 0,2 bar perduti nell'essiccatore.

In definitiva, si opera come segue. Punto di partenza è il fabbisogno massimo di aria compressa: si assume come tale la somma dei fabbisogni delle singole utenze, quindi si moltiplica tale somma per un coefficiente di riduzione che tiene conto del fatto che non tutte le utenze dell'aria compressa funzionano contemporaneamente a pieno carico. In questa fase, si devono considerare le perdite d'aria, talvolta notevoli, che si verificano in corrispondenza dei vari servomezzi e di altri punti della rete. Essendo note le pressioni dell'aria richieste alle utenze, risulta possibile determinare i diametri dei tubi e le perdite di carico nella rete.

Infine, si scelgono il tipo, il numero e le caratteristiche dei compressori.

6.3 Impianti chimico – industriali

Gli impianti chimico- industriali vengono dimensionati come reti in pressione. Ci si può quindi riferire al capitolo 2.

Un aspetto molto importante da tenere in conto è la resistenza agli agenti chimici trasportati dalle tubazioni. Si veda l'appendice 6 (comportamento delle tubazioni in PVC agli agenti chimici) per stabilire se la tubazione in PVC è adatta all'impianto chimico da dimensionare.

6.4 Iniezioni per il consolidamento e l'impermeabilizzazione

Le tubazioni in PVC possono essere utilizzate anche per il consolidamento e l'impermeabilizzazione del sottosuolo. In questi casi è fondamentale riuscire a localizzare l'iniezione, o meglio localizzare i punti di iniezione, con facoltà di riprenderli anche diverse volte con iniezioni più o meno lunghe. Questo scopo si ottiene eseguendo dei fori nel terreno e inserendo al loro interno delle tubazioni in plastica che abbiano distanziati, in base a calcoli pre-effettiati, dispositivi a valvola atti a permettere il passaggio delle miscele di iniezione dall'interno delle tubazioni al terreno da consolidare e, al tempo stesso, d'impedire il riflusso. Tali tubazioni costituiscono la via sempre libera per il passaggio dei pistoncini di iniezione.

Questi elementi sono in PVC rigido antiurto, possono raggiungere diverse decine di metri, possono essere in barre uniche di lunghezza pari a 50 m e sono a perdere nel terreno. I tubi vengono forniti con fori ricoperti da un manicotto di gomma (valvola) e posizionati a distanze diverse (interasse) secondo le esigenza del tipo di terreno e delle miscele da iniettare. Gli elementi possono essere forniti di varie lunghezze, sono collegati con manicotti filettati e muniti di tappo di fondo. Il manicotto di gomma che ricopre i fori di iniezione viene trattenuto da due anelli saldati al muro per evitare il suo slittamento durante la posa nel terreno.

Detto manicotto possiede una sufficiente cedevolezza per deformarsi sotto l'effetto delle pressione esercitata dalla miscela, consentendone in tal modo la fuoriuscita, per riprendere la sua posizione iniziale allorché la pressione viene a cessare. In tal modo si evita che la miscela possa percorrere la strada a ritroso, e dall'esterno rientrare all'interno della tubazione.

6.5 Pozzi artesiani

I pozzi artesiani emungono acqua da un acquifero in pressione. Possono essere realizzati mediante tubazioni in PVC come viene mostrato dalle immagini seguenti. I tubi e i filtri in PVC filettato garantiscono resistenza alla corrosione di muffe, correnti vaganti, acque marine, soluzioni acide ed alcaline diluite; assenza di incrostazioni. La minore rugosità delle pareti interne garantisce, a parità di diametro, una maggiore portata d'acqua rispetto ai tubi in ferro, in ghisa o in fibrocemento. Hanno lunga efficienza nel tempo, semplicità di giunzione determinata dalla filettatura 'maschio-femmina' e ottima tenuta assicurata da un anello in gomma. La facile lavorabilità agevola le operazioni di trasporto e di posa in opera.

6.6 Tubi preisolati

È stata studiata una speciale coibentazione che permette di utilizzare i tubi in PVC anche per condotte fuori terra, con tutti i vantaggi connessi. I tubi in PVC sono infatti più leggeri ed economici dell'acciaio o del fibrocemento, hanno una durata eccellente, evitano i depositi calcarei e sono particolarmente resistenti alla corrosione delle sostanze chimiche. La coibentazione li rende quindi ideali, in termini di economicità e qualità di prestazioni in particolari settori. Sono ideali ad esempio per la realizzazione di acquedotti in zone rocciose, per l'attraversamento di fiumi e canali, per villaggi turistici e dovunque sia necessario impedire che l'acqua, presente nelle condotte, d'inverno geli e d'estate riscaldi. Sono ideali per la realizzazione degli impianti dell'industria chimica, in alternativa a sistemi tradizionali.

6.7 Irrigazione

La situazione attuale delle risorse idriche ha portato nell'ultimo decennio e porterà prossimamente ad un forte sviluppo di nuove tecniche di irrigazione accomunate nell'obiettivo di risparmiare ed ottimizzare l'uso dell'acqua. In questo contesto l'utilizzo delle tubazioni in PVC – U per il trasposto di acqua in pressione ha visto un forte incremento grazie alla costruzione di nuovi impianti intubati ad aspersione per uso irriguo e all'ottimo rapporto qualità prezzo offerto da questo materiale. In Italia ed in Europa vengono installate tubazioni PVC per irrigazione di terreni da oltre 50 anni. Le tubazioni sono integrate con una vasta gamma di raccorderai con giunzione ad anello ed incollaggio. La gamma dimensionale è molto vasta ad es. dal diam. 16 mm al diam. 800 mm.

6.8 Gamma prodotti

6.8.1 Tubazioni

Tipo tubazione (mm)	*DN esterno (mm)*	*Spessore*	*PN*
Tubi con estremità lisce	21,1-26,5-33,3 -4-48-60-75,3 -88,5-113,9	3-3,4-3,7-4-4,6 -4,3-5-5,3-5,4-6-6,4 -7,23-7,5-8,5-10,5	10-16
Tubi con estremità filettate	21,1-26,5-33,3 -42-48-60-75,3 -88,5-113,9	3-3,4-3,7-4-4,6 -4,3-5-5,3-5,4 -6-6,4-7,23-7,5 -8,5-10,5	10-16
Tubazioni con estremità lisce filettabile (non contrassegnato da marchio)	17-21,1-26,5 -33,3-42-48-60	2,6-3-3,4-4,3 -5-5,4-6,4	16
Tubi con bicchiere per incollaggio	20-25-32-40-50 -63-75-90-110	1,5-1,9-2,4-3,0 -3,7-4,7-5,6-6,7-6,6	10-16
Tubazioni in PVC-A	63-90-110-140-160 -200-250-280 -315-355-400-450 -500-630-710	Gli spessori variano tra 3,0 e 33,5 mm 8-10-12,5-16	

6.9 Sistemi di tubazioni per condotte di fluidi industriali: Norme UNI 10952 e UNI 10953 – Novembre 2002

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettagli si rimanda comunque alla specifiche norme di riferimento in vigore.

Scopo e campo di applicazione per la norma UNI 10952:

la norma UNI 10952 specifica gli aspetti generali dei sistemi di tubazioni di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U) nel campo del trasporto dei fluidi industriali ed utilizzabili per gli impieghi seguenti (rimandando espressamente a UNI EN 1452):

- condotte principali e diramazioni interrate;
- trasporto di acqua sopra terra sia all'esterno che all'interno dei fabbricati;

sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) (destinata al consumo umano) e per usi generali.

La norma è anche applicabile ai componenti per l'adduzione d'acqua fino a 45°C compresi.

N.B. Le presenti tubazioni hanno anche caratteristiche conformi a quelle prescritte dalla norma UNI EN 1452 (a meno dei requisiti per il contatto con fluidi destinati al consumo umano – UNI EN 1452). Si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento per la resistenza chimica dei manufatti (vedere ad esempio UNI ISO TR 7473)

Scopo e campo di applicazione per la norma UNI 10953:

la norma UNI 10953 specifica gli aspetti generali dei sistemi di tubazioni di polietilene (PE) nel campo del trasporto dei fluidi industriali ed utilizzabili per gli impieghi seguenti (rimandando espressamente a UNI10910 poi divenuta Uni EN 12201):

- condotte principali e diramazioni interrate;
- trasporto di acqua sopra terra sia all'esterno che all'interno dei fabbricati;

sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) (destinata al consumo umano – UNI EN 12201) e per usi generali.

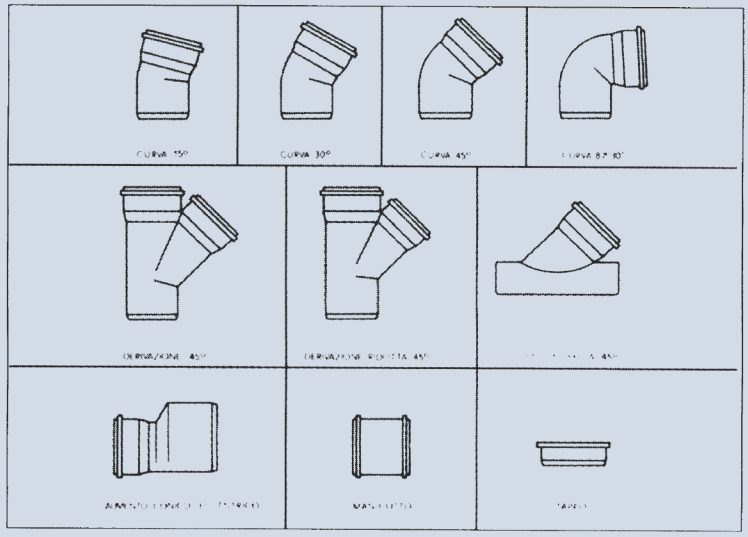
N.B. Le presenti tubazioni hanno anche caratteristiche conformi a quelle prescritte dalla norma UNI EN 12201 (a meno dei requisiti per il contatto con fluidi destinati al consumo umano). Si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento per la resistenza chimica dei manufatti (vedere ad esempio UNI ISO TR 7474).

7 Raccordi, valvole e pezzi speciali per realizzare le condotte

7.1 Raccordi

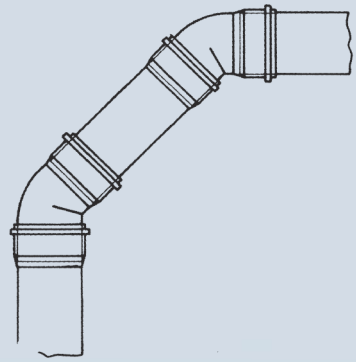
Lo sviluppo tecnologico nel settore delle materie plastiche ha permesso la produzione di una estesa gamma di raccordi e pezzi speciali che consentono di risolvere tutti i problemi connessi alle tubazioni di PVC. Nella seguente figura vengono rappresentati i principali raccordi. Le dimensioni e le loro caratteristiche sono riportate dalla norma UNI EN 1401-1.

Figura 7.1



Si nota che l'uso delle curve 87° 30' è limitato all'allacciamento di tubazioni poste perpendicolarmente tra loro su un piano verticale. Per ottenere una curva a 90° su un piano orizzontale conviene utilizzare due curve a 45°, interponendo tra esse uno spezzone di tubo. Si ottiene così un adeguato raggio di curvatura.

Figura 7.2



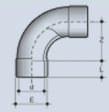
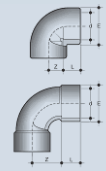
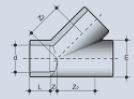
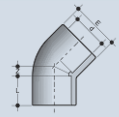
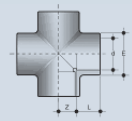
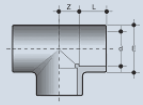
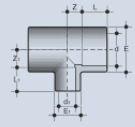
Oggi, a causa della sempre crescente domanda di raccordi speciali o 'su misura' per condotte interrate, si sta sviluppando l'uso della termoformatura per la realizzazione di raccordi di grande diametro. Attraverso questa tecnica si possono garantire qualità e resistenza dei materiali, fattibilità anche per piccole serie, costi competitivi, rispetto delle norme europee. I colori in cui possono essere realizzati questi raccordi sono il grigio RAL 7037 e il rosso RAL 8023.

Esempi di raccordi in PVC

7.1.1 Acquedotto e irrigazione

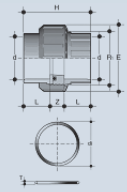
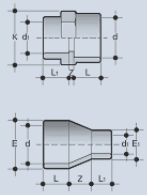
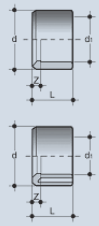
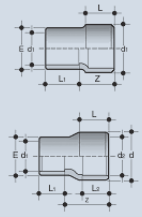
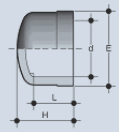
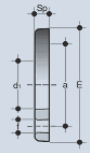
Particolari raccordi in PVC possono essere anche utilizzati con tubazioni che trasportano fluidi in pressione. L'accoppiamento può avvenire sia per incollaggio secondo la norma ISO 727DIN 8063NF T54-028KIWA 54UNI 7442/75 con tubi realizzati secondo ISO 161/1UNI 7441/75DIN 8062NF T54-016KIWA 49, oppure mediante filettatura secondo UNI ISO 228/1DIN 2999BS 21. La gamma dimensionale va dai 12 mm ai 315 mm e da R 3/8''a R 4''. I raccordi possono essere sottoposti in esercizio fino ad una pressione di 16 bar a 20°C. Il PVC utilizzato è idoneo a venire in contatto con acqua potabile o altri fluidi alimentari secondo le norme vigenti.

Raccordi per incollaggio

		D (mm)	*PN*
■ Curva a 90° a grande raggio		Da 20 a 160	16
■ Curva a 90°		Da 12 a 315	10-16
■ Ti a 45°		Da 20 a 160	4-16
■ Gomito a 45°		Da 12 a 315	4-10-16
■ Croce a 90°		Da 25 a 63	16
■ Ti a 90°		Da 12 a 315	10-16
■ Ti a 90° ridotto		Da 25x20 a 315x250	4-16

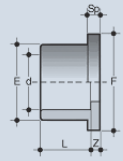
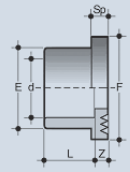
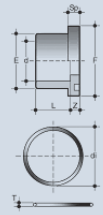
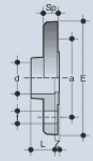
segue >>>

Raccordi per incollaggio

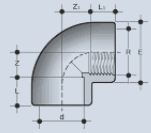
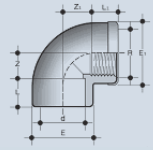
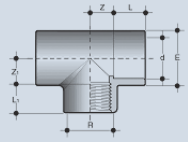
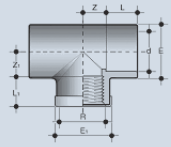
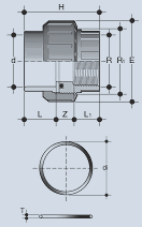
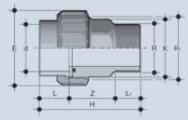
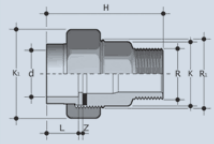
		D (mm)	*PN*
■ Bocchettone		Da 12 a 110	6-10-16
■ Manicotto		Da 12 a 315	4-10-16
■ Manicotto ridotto		Da 110x90 a 400x355	4-16
■ Bussola di riduzione		Da 16x12 a 315x280	4-10-16
■ Riduzione		Da 16x12 a 200x160	10-16
■ Calotta		Da 12 a 225	10-16
■ Flangia libera		Da 20 a 500 (DN da 15 a 500)	4-10

segue >>>

Raccordi per incollaggio

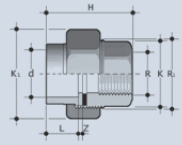
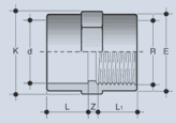
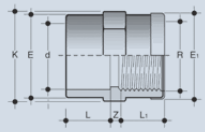
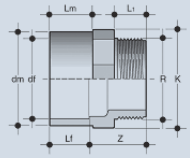
		D (mm)	*PN*
■ Collare d'appoggio piano		Da 20 a 500 (DN da 15 a 500)	4-16
■ Collare d'appoggio striato		Da 40 a 315 (DN da 32 a 300)	10-16
■ Collare d'appoggio a sede O-ring		Da 20 a 200 (DN da 15 a 200)	16
■ Flangia fissa		Da 32 a 110 (DN da 25 a 100)	16
■ Flangia cieca		Da 32 a 225 (DN da 25 a 200)	4-16

Raccordi di passaggio

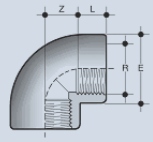
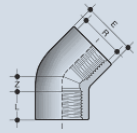
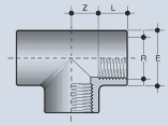
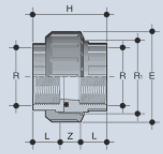
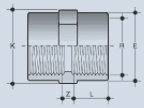
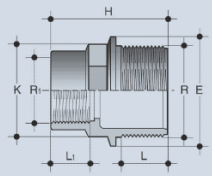
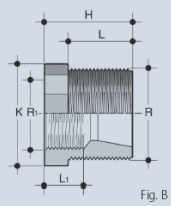
		d x R	*PN*
■ Gomito a 90°		Da 16x3/8a 110x4	16
■ Gomito a 90° con rinforzo		Da 16x3/8 a 63x2	16
■ Ti a 90°		Da 16x3/8 a 110x4	16
■ Ti a 90° con rinforzo		Da 16x3/8 a 63x2	16
■ Bocchettone		Da 16x3/8 a 110x4	6-10-16
■ Bocchettone con elemento fisso filettato		Da 50x1/2 a 63x2	16
■ Bocchettone di passaggio ottone/PVC		Da 16x3/8 a 63x2	16

segue >>>

Raccordi di passaggio

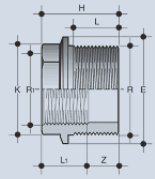
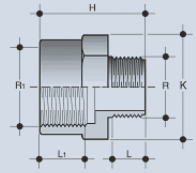
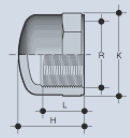
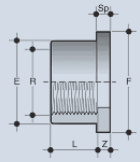
		d x R	*PN*
■ Bocchettone di passaggio Ottone/PVC ghiera ed elemento fisso filettato femmina in ottone		Da $^{3}/_{4}$ a 2 $^{3}/_{4}$	16
■ Manicotto		Da 16x3/8 a 63x2	16
■ Manicotto		Da 16x3/8 a 63x2	16
■ Adattatore di passaggio		Da 16x12x3/8 a 125x110x4	16

Raccordi filettati

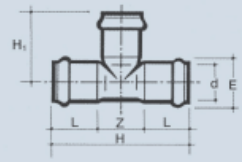
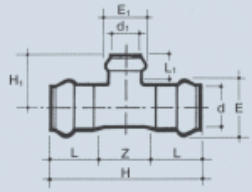
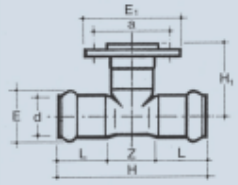
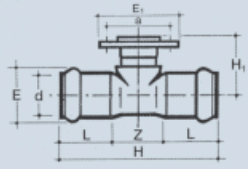
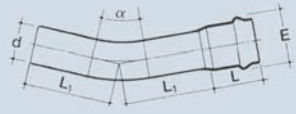
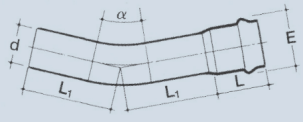
		R (")	PN
■ Gomito a 90°		Da R 3/8 a R4	16
■ Gomito a 45°		Da R1/2 a R2	16
■ Ti a 90°		Da R 3/8 a R4	16
■ Bocchettone		Da R 3/8 a R4 (da R1 3/4 a R1 2 3/4)	16
■ Manicotto		Da R 3/8 a R4	16
■ Riduzione	 Fig. A  Fig. B	RxR1: da 1/2x3/8 a 4x3	16

segue >>>

Raccordi filettati

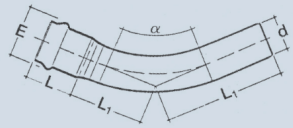
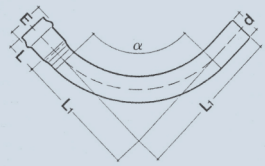
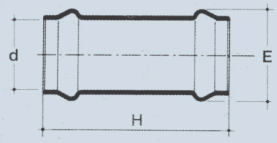
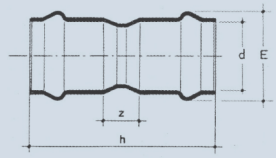
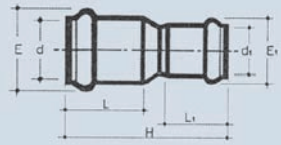
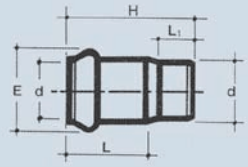
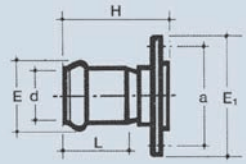
		R (")	*PN*
■ Bussola di riduzione		RxR1: da R 1/2x3/8 a 2x1 1/2	16
■ Riduzione femmina - maschio		R1xR: da 3/4x1/2 a 4x3	16
■ Calotta		Da R 3/8 a 3	16
■ Collare d'appoggio		Da DN 15 a DN 100	16

Raccordi con anello di gomma

		D / dxd1	PN
■ Ti a 90°		Da 63 a 315	10 (16)
■ Ti a 90° con derivazione ridotta		Da 75x63 a 315x250	10 (16)
■ Ti a 90° con derivazione flangiata		Da 63x63 a 315x315	10 (16)
■ Ti a 90° con derivazione ridotta flangiata		Da 75x63 a 225x200	10 (16)
■ Curva a 11° 15' Anello di gomma/maschio		Da 63 a 450	10-12,5-16-20
■ Curva a 22°30' Anello di gomma/maschio		Da 63 a 450	10-12,5-16-20

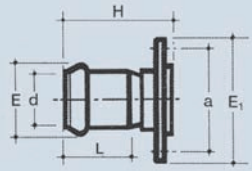
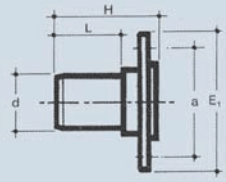
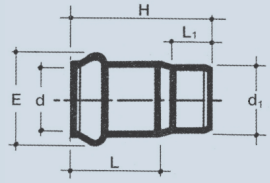
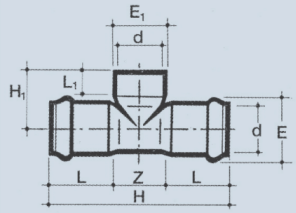
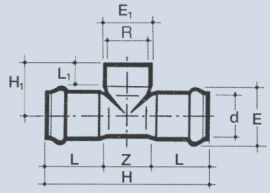
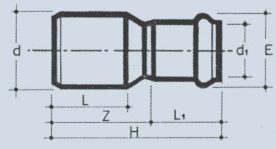
segue >>>

Raccordi con anello di gomma

		D / dxd1	PN
■ Curva a 30° o 45° Anello di gomma/maschio		Da 63 a 450	10-12,5-16-20
■ Curva a 90° Anello di gomma/maschio		Da 63 a 450	10-12,5-16-20
■ Manicotto scorrevole		Da 50 a 355	10-12,5-20
■ Manicotto con battuta		Da 50 a 315	10-16
■ Manicotto ridotto		Da 75x63 a 315x280	10-16
■ Monogiunto – anello di gomma		Da 63 a 315	10-16
■ Monogiunto flangiato		Da 63 a 315	10-16

segue >>>

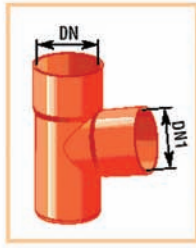
Raccordi con anello di gomma

		D / dxd1	*PN*
■ Monogiunto ridotto flangiato/anello di gomma/derivazione flangiata ridotta		Da 75x63 a 315x250	10-16
■ Punta flangiata		Da 63 a 315	10-16
■ Riduzione – Anello di gomma		Da 75x63 a 315x250	10-16
■ Ti a 90° derivazione femmina per incollaggio		Da 65 a 200	10-16
■ Ti a 90° derivazione femmina filettata		Da 90 x 1” 1/2 a 90x 3”	10-16
■ Riduzione maschio-Anello di gomma		Da 75x63 a 200x160	10-16

7.1.2 Edilizia

Derivazioni 45°

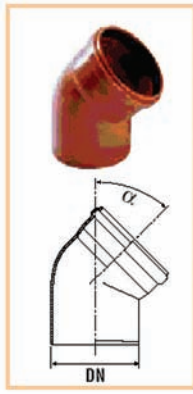
DN1 \ DN	32	40	50	63	75	80	82	100	125	140	160	200
32	✓	✓	✓									
40		✓	✓		✓			✓	✓			
50			✓	✓	✓	✓		✓	✓			
63				✓				✓				
75					✓				✓			
80						✓			✓			
82							✓	✓	✓			
100								✓	✓	✓	✓	
125									✓	✓	✓	✓
140									✓	✓	✓	✓
160										✓	✓	✓
200											✓	✓



Derivazioni 87°30'

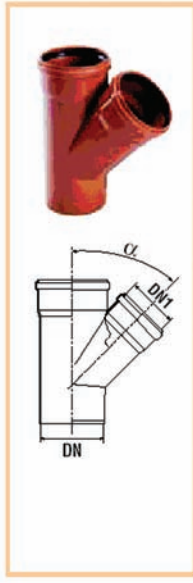
DN1 \ DN	32	40	50	63	75	80	82	100	125	140	160	200
32	✓	✓	✓									
40		✓	✓		✓			✓	✓			
50			✓		✓			✓	✓			
63				✓				✓				
75					✓				✓			
80						✓		✓				
82							✓					
100								✓				
125									✓		✓	
140										✓		
160											✓	✓
200												✓

7.1.3 Fognatura



Curva M/F

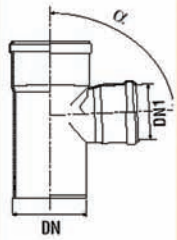
α \ DN	110	125	160	200	250	315	400	500	630
15°	●	●	●	●	●	●	●	●	●
30°	●	●	●	●	●	●	●	●	●
45°	●	●	●	●	●	●	●	●	●
67°30'	●	●	●	●					
87°30'	●	●	●	●	●	●	●	●	●



Derivazione 45° M/F

DN1 \ DN	110	125	160	200	250	315	400	500	630
110	●	●	●	●	●	●	●	●	
125		●	●	●	●	●	●	●	
160			●	●	●	●	●	●	
200				●	●	●	●	●	
250					●	●	●	●	
315						●	●	●	
400							●	●	
500								●	

Derivazione 87°30' M/F

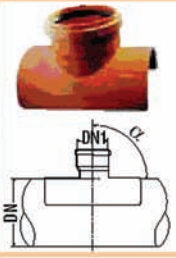


DN1 \ DN	110	125	160	200	250	315	400	500	630
110	●	●	●	●	●	●	●	●	
125		●	●	●	●	●	●	●	
160			●	●	●	●	●	●	
200				●	●	●	●	●	
250					●	●	●	●	
315						●	●	●	
400							●	●	
500								●	

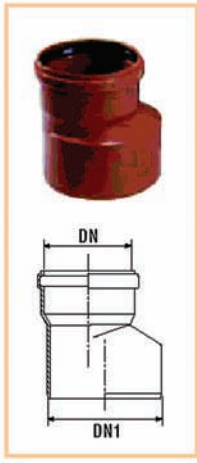
Derivazione a morsa 45°

DN1 \ DN	110	125	160	200	250	315	400	500	630
125			●	●	●	●	●	●	
160				●	●	●	●	●	
200						●			

Derivazione a morsa 90°



DN1 \ DN	110	125	160	200	250	315	400	500	630
125									
160				●	●	●			
200									



Aumento eccentrico

DN1 \ DN	110	125	160	200	250	315	400	500	630
125	●								
160	●	●							
200	●	●	●						
250	●	●	●	●					
315	●	●	●	●	●				
400	●	●	●	●	●	●			

DN	110	125	160	200	250	315	400	630
MANICOTTO	●	●	●	●	●	●	●	●
DERIVAZIONE CON TAPPO	●	●	●	●	●	●	●	
TAPPO DI CHIUSURA MASCHIO	●	●	●	●	●	●	●	●
TAPPO DI CHIUSURA FEMMINA	●	●	●	●	●	●	●	
DERIVAZIONE DOPPIA 45°	●	●	●					
DERIVAZIONE DOPPIA 87°30'	●							

7.2 Valvole

Lungo le tubazioni devono essere previste valvole che permettono sia l'interruzione completa del flusso che la regolazione della portata. Organi di intercettazione vanno previsti in corrispondenza di cabine di manovra, di diramazioni, di attraversamenti di corsi d'acqua, di strade, di ferrovie o di altri manufatti, di vasche di carico, di partitori,… in modo da poter effettuare operazioni di manutenzione, riparazione, smontaggio.

Gli elementi principali che caratterizzano il funzionamento di una valvola sono:

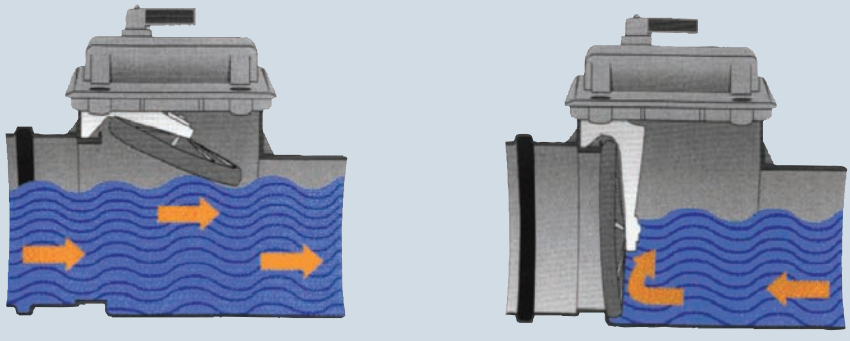
- la perdita di carico che si manifesta a valvola completamente aperta;
- la tenuta che si ha a valvola completamente chiusa;
- la regolarità del flusso a valle con un generico grado di apertura;
- lo sforzo di azionamento durante la manovra;
- la legge di variazione della portata al variare del grado di apertura (tale legge è tanto migliore quanto meno si discosta da quella lineare).

7.2.1 Valvole di ritenzione (antiriflusso)

Le valvole di ritegno sono apparecchi a funzionamento automatico che consentono soltanto un deflusso unidirezionale. Vengono spesso inserite a valle di pompe di sollevamento.

Le valvole antiriflusso sono meccanismi che vengono utilizzati per evitare che l'acqua refluisca nella rete. Queste valvole possono essere utilizzate per bloccare il ritorno accidentale di acque piovane attraverso la rete fognaria, in caso di precipitazioni abbondanti o straordinarie. Il corpo di tali valvole è ispezionabile e la presenza di una leva di blocco permette un blocco manuale di sicurezza e consente di verificare la funzionalità meccanica del dispositivo. Il piattello può essere realizzato in plastica oppure in acciaio inox contro i roditori. Per quanto riguarda la manutenzione, è opportuna la manutenzione ogni 6/12 mesi.

Figura 7.3



impiego normale

antiriflusso attivato

Figura 7.4 - *Valvola antiriflusso a due paratie.*

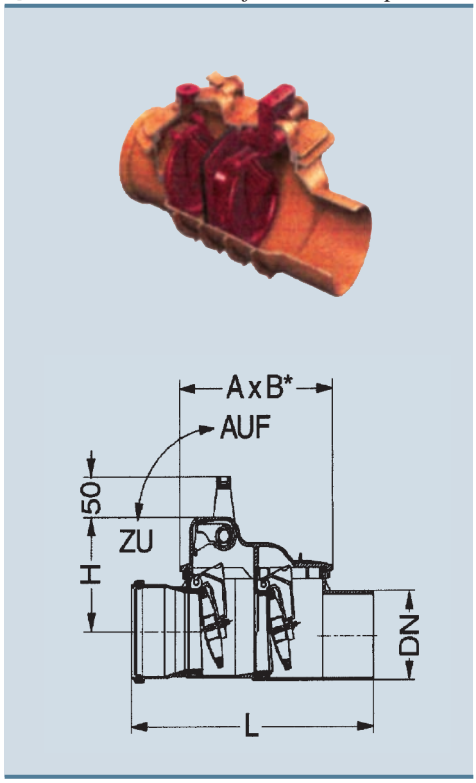
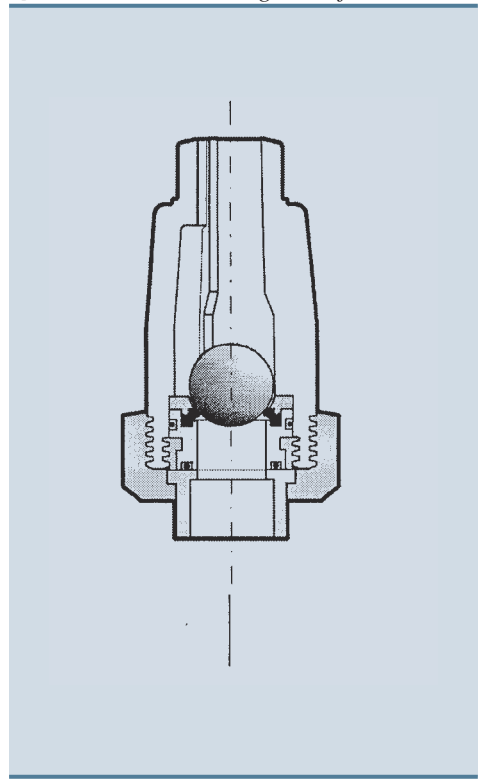
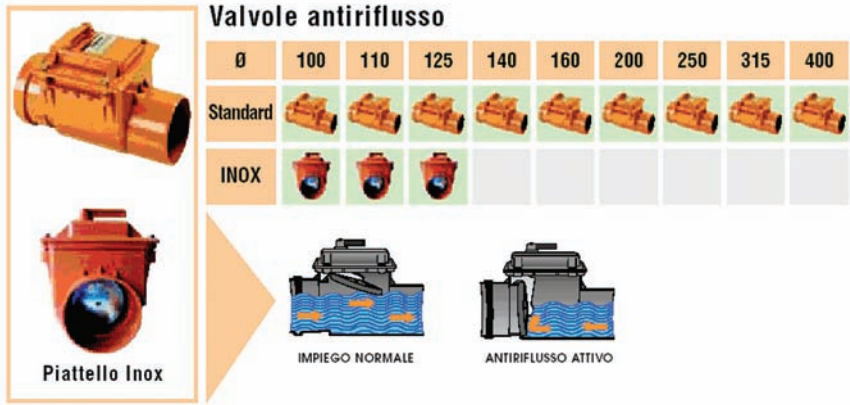


Figura 7.5 - *Valvola di ritegno a sfera.*



Le valvole di ritegno possono essere anche del tipo a sfera.



Tipo valvola	*Diametro (mm)*
■ Valvola antiriflusso o-ring	110-125-160-200
■ Valvola antiriflusso bicchiere ad incollaggio	100-110-125-140-160-200 -250 –315 -400
■ Valvola antiriflusso piattello inox (o-ring)	110-125
■ Valvola antiriflusso piattello inox (bicchiere ad incollaggio)	100-110-125
■ Valvola antiriflusso con leva e doppia paratia	50 – 100 – 110 – 125 – 160 -200

7.2.2 Valvole a sfera

Le valvole a sfera sono costituite da una sfera che spostandosi permette il passaggio dell'acqua.

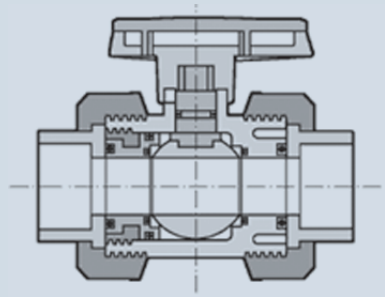
Tutte le valvole, in molte applicazioni, necessitano di essere supportate mediante staffe o supporti al fine di proteggere tratti di tubazione ad esse collegati dall'azione di carichi concentrati. Questi supporti devono essere in grado di sopportare sia il peso della valvola, sia alle sollecitazioni generate dalla valvola stessa durante le fasi di chiusura e apertura. Vincolando la valvola, essa viene ad agire come un punto fisso di ancoraggio, e per cui viene sottoposta ai carichi terminali delle tubazioni. Specialmente ove siano previsti ripetuti cicli termici, occorrerà prevedere di scaricare la dilatazione termica su altre parti dell'impianto in modo da evitare pericolosi sovraccarichi sulla valvola stessa.

Esistono valvole a sfera delle seguenti tipologie:

- a 2 vie;
- a 3vie;
- a sfera monoghiera.

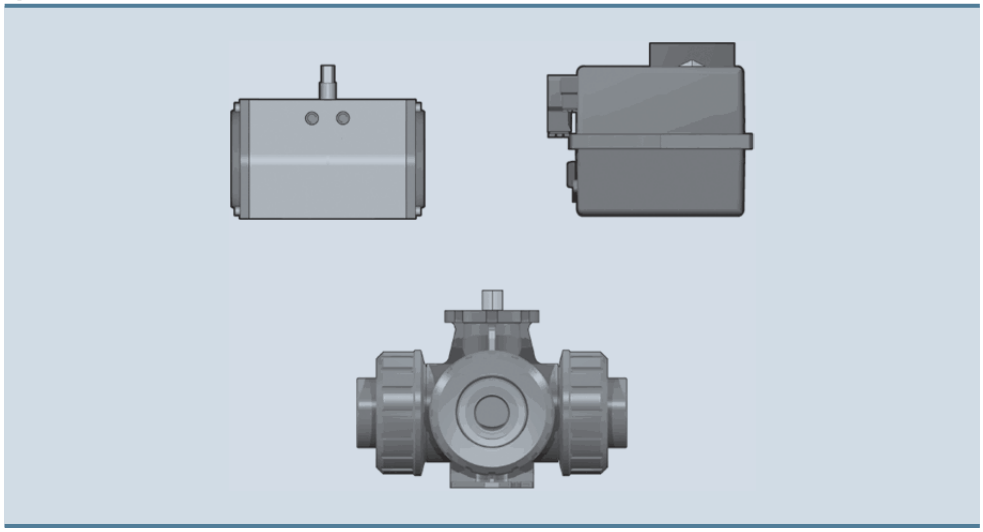
Si riportano ora gli schemi generali di tali valvole.

Figura 7.6 - *Valvola a sfera.*



Le valvole possono essere provvista di attuatori pneumatici oppure e /o elettrici standard.

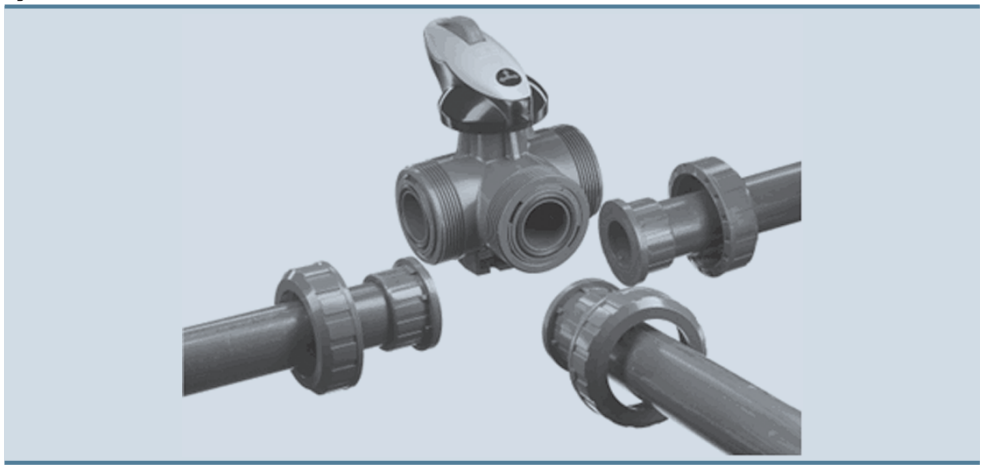
Figura 7.7



Per installare correttamente la valvola a tre vie si proceda in questo modo:

1. Svitare le ghiere ed inserirle sui tratti di tubo
2. Procedere all'incollaggio o avvitamento dei manicotti sui tratti di tubo.
3. Inserire il corpo valvola fra i manicotti. Se fosse necessario l'ancoraggio, si può procedere fissando la valvola tramite le asole intergrate nel basamento stesso
4. Serrare le ghiere
5. Per sbloccare la maniglia e portarla nelle varie posizioni di lavoro (ogni 90°) premere il pulsante verso il basso e ruotare la maniglia. Apponendo un lucchetto sul pulsante si ottiene un blocco antimanomissione di sicurezza che inibisce ogni rotazione.

Figura 7.8



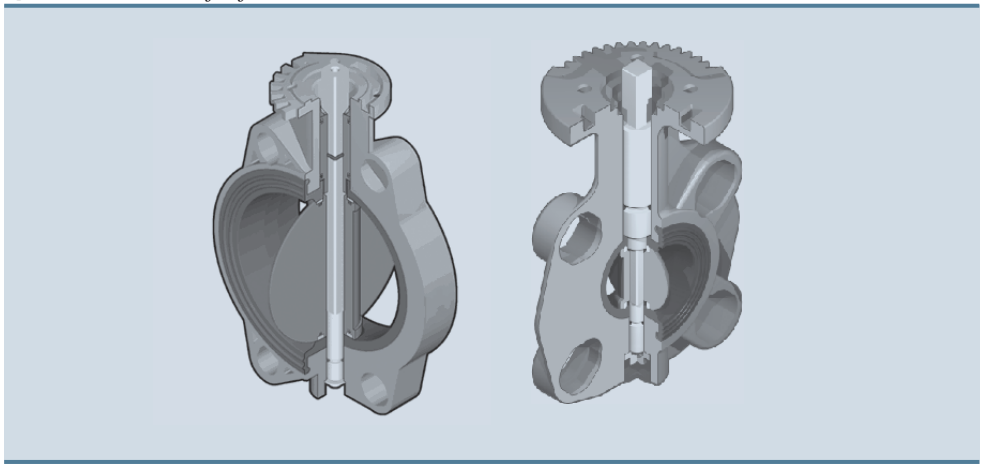
7.2.3 Valvole a farfalla

Le valvole a farfalla sono sostanzialmente costituite da un disco circolare di diametro uguale a quello della tubazione, che può ruotare intorno a un asse diametrale parzializzando la sezione trasversale.

All' origine queste valvole, per la loro non perfetta tenuta, erano nate come organi di regolazione, sebbene anch'esse dessero luogo ad un moto perturbato a valle. Tuttavia, presentano alcuni vantaggi rispetto alle saracinesche tra i quali di avere un ingombro minore, di essere più semplici, di richiedere manutenzione più facile, di essere manovrabili con sforzi minori in qualsiasi condizione di esercizio. Le valvole a farfalla sono anche state modificate in modo da assicurare migliore tenuta e per questo sono spesso preferite alle saracinesche, sebbene in posizione di totale apertura presentino maggiori perdite di carico.

Le valvole a farfalla possono essere del tipo standard o lente.

Figura 7.9 - *Valvola a farfalla.*



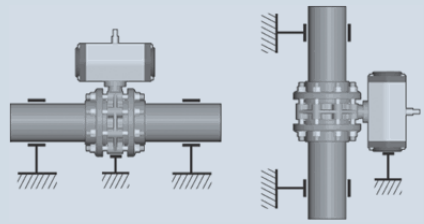
Per installare un impianto che prevede una valvola a farfalla:

1. Prima di procedere all'installazione dei raccordi flangiati di collegamento, verificare che la luce libera di passaggio dei raccordi stessi permetta la corretta apertura della lente della valvola. Controllare inoltre la quota massima di accoppiamento per la guarnizione.
2. Posizionare la valvola tra due collari con flange avendo cura di rispettare le quote di installazione

   Z. Si consiglia di installare sempre la valvola a lente parzialmente chiusa (non deve fuoriuscire dal corpo) e di evitare disassamenti delle flange, causa di possibili perdite verso l'esterno.
3. Prima di effettuare il serraggio dei tiranti, si consiglia di aprire la lente, per non danneggiare la guarnizione. Serrare in modo omogeneo i tiranti di collegamento, secondo la coppia nominale indicata in tabella. Non occorre forzare il serraggio dei tiranti per ottenere una perfetta tenuta idraulica. Un eccessivo serraggio pregiudicherebbe il contenimento delle coppie di manovra della valvola.

4. La valvola è bidirezionale e può essere installata in qualsiasi posizione.
   Può inoltre essere montata a fine linea o serbatoio.
5. Si consiglia di rispettare le seguenti precauzioni. Se si convogliano fluidi non puliti: posizionamento con lo stelo di manovra inclinato di un angolo di 45° rispetto al piano di appoggio della tubazione. Se invece, si convogliano fluidi con sedimenti: posizionare la valvola con lo stelo di manovra parallelo al piano di appoggio della tubazione. Se si convogliano fluidi puliti: posizionare la valvola con lo stelo di manovra perpendicolare la piano di appoggio della tubazione.

Figura 7.10

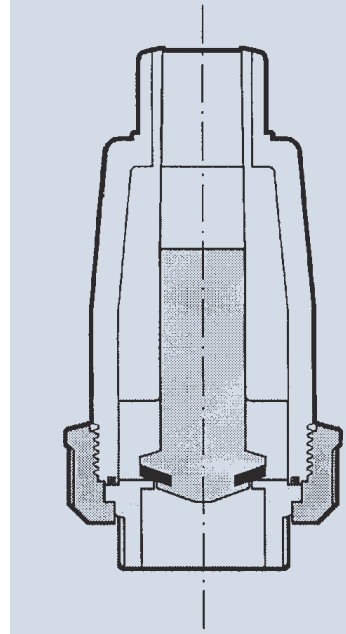


7.2.4 Valvole di fondo

Gli scarichi sono necessari per il vuotamento e la pulizia delle tubazione dell'acquedotto. Essi sono costituiti da una tubazione collegata alla condotta dell'acquedotto mediante una derivazione a T e munita di una saracinesca di intercettazione che resta normalmente chiusa e viene aperta solo quando è necessario procedere al vuotamento dei due tronchi contigui della condotta adduttrice con vertice inferiore nel punto di scarico. Gli scarichi sono collegati all'interno di appositi pozzetti.

Risulta sempre opportuno individuare i punti in cui è possibile versare i volumi d'acqua provenienti dal vuotamento dell'adduttrice, che spesso risultano molto grandi. Quando è possibile il versamento a gravità in un fosso vicino o in un altro recipiente, si prevede un piccolo cunicolo di raccolta nella parte inferiore del pozzetto, dal quale ha origine una tubazione di scarico di cemento o in materiale plastico che convoglia l'acqua nel ricettore finale. Quando lo scarico a gravità non è possibile a causa della profondità del pozzetto, occorre prevedere la possibilità di un rapido collegamento, all'interno del pozzetto, di una pompa con la tubazione di scarico.

Figura 7.11 - *Valvola di fondo.*



7.2.5 Valvole di sfiato

La presenza di aria nelle condotte che convogliano liquidi in pressione può dar luogo ad una serie di inconvenienti, che, in alcuni casi, possono ostacolare gravemente o addirittura interrompere il deflusso. Le bolle che si generano, infatti, determinano una riduzione della portata liquida per la riduzione della sezione trasversale del tubo. Le più comuni cause di ingresso di aria sono: l'insufficiente carico all'imbocco delle opere di presa e di tutte le vasche a pelo libero; imbocchi della tubazione non ben raccordati, mancanza di tenuta in tronchi funzionanti in depressione (tubi di aspirazione delle pompe), turbolenza che sorge durante il riempimento della tubazione, arrivo in serbatoi che generano agitazione e conseguente aerazione.

Anche riducendo o eliminando le suddette cause, le correnti idriche in pressione, essendo state in precedenza in contatto con l'atmosfera, contengono una certa quantità di aria disciolta, che inevitabilmente, secondo la legge di Henry, si libera dove si ha un aumento della temperatura oppure una diminuzione di pressione.

Affinché l'espulsione dell'aria avvenga rapidamente, è opportuno evitare tratti di tubazione orizzontali, perciò in terreni pianeggianti, si assegna al profilo un andamento a denti di sega. Nei punti di vertice si installa uno sfiato.

Gli sfiati, che hanno la funzione di evacuare l'aria che si libera dall'acqua e che tende ad accumularsi nei punti più alti del profilo delle tubazioni, sono di due tipi: liberi e in pressione. Gli sfiati liberi più semplici sono costituiti da un tubo verticale di piccolo diametro (piezometro), collegato alla condotta nell'estremo inferiore e con l'estremo superiore libero. Nel piezometro il livello dell'acqua sale fino a raggiungere la quota piezometrica in condotta. Per questo, tale tipo di sfiato si può utilizzare solo nel caso (abbastanza raro) che la linea piezometrica si elevi di pochi metri sopra il piano campagna.

Gli sfiati in pressione sono costituiti da uno o più galleggianti a forma sferica o cilindrica contenuti in una cassa metallica che, a seconda della posizione di equilibrio, apre o chiude una piccola luce di comunicazione con l'esterno. La cassa contenitrice è collegata mediante una saracinesca di intercettazione alla condotta in pressione per consentire lo smontaggio in caso di necessità.

Affinché lo sfiato abbia notevole sensibilità, la luce di scarico deve essere molto piccola, per cui deve essere molto piccolo anche il volume del galleggiante. Questo genera però inconvenienti nel caso di evacuazione di grandi quantità di aria durante la fase di rapido riempimento della tubazione o di entrata di volumi d'aria notevoli nella fase di vuotamento.

Sono stati ideati dal Conti apparecchi di sfiato che assolvono ad entrambe le funzioni; essi sono costituiti da uno sfiato con grande luce che permette l'ingresso e l'uscita di grandi masse d'aria, mentre la luce piccola, costituita da un capillare, viene regolata manualmente mediante un'opportuna spina. Apparecchi del genere possono essere costituiti da sfiati a doppio galleggiante, l'uno collegato ad una luce di grandi dimensioni e l'altro ad una di piccole dimensioni.

Gli sfiati per le tubazioni interrate sono installati in pozzetti in muratura, che sono in genere muniti di tubazione di scarico per l'allontanamento dell'acqua che fuoriesce assieme all'aria. Tali pozzetti sono muniti di chiusini, generalmente metallici, per l'accesso dall'esterno, che devono essere provvisti di adeguati sistemi di chiusura, per impedire l'accesso nel pozzetto a persone estranee al servizio. Le dimensione del pozzetto deve consentire di effettuare agevolmente tutte le manovre sugli apparecchi instal-

Figura 7.12 - *Valvola di sfiato.*

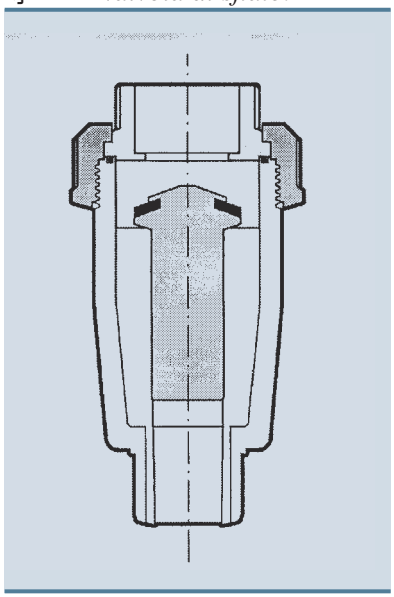
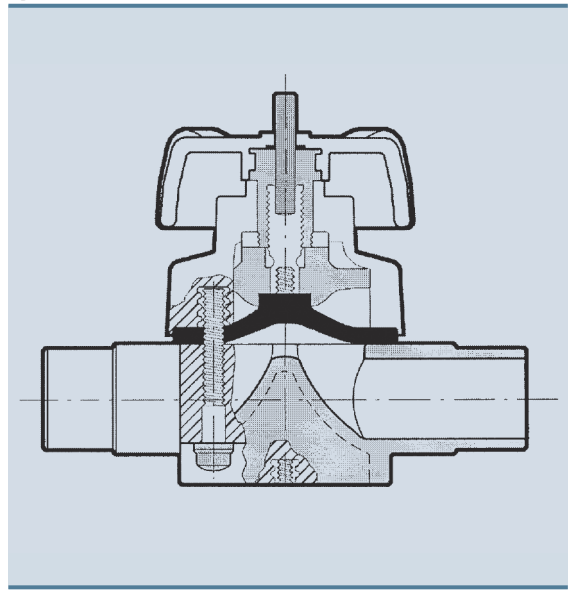


Figura 7.13 - *Valvola a membrana.*



lati e gli interventi di manutenzione, di riparazione, smontaggio e sostituzione delle apparecchiature stesse.

7.2.6 Valvole a membrana

Le valvole a membrana sono costituite all'interno, non a contatto con il fluido, da parti metalliche.

La valvola a membrana può essere utilizzata con fluidi liquidi o gassosi, ed è particolarmente adatta per fluidi abrasivi o contenenti impurità. Il comando a volantino e la tenuta a membrana consentono una efficace regolazione e riducono al minimo il rischio di colpi d'ariete.

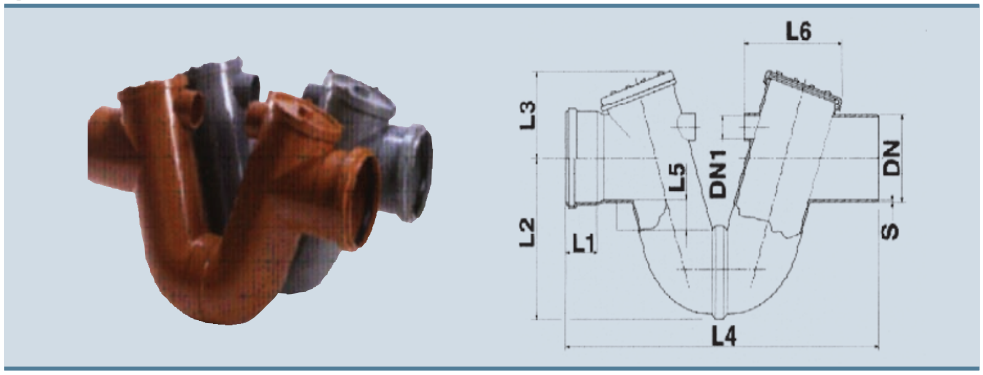
7.3 Sifoni

Il sifone consiste in un avvallamento della tubazione, costantemente pieno di acqua, in modo che sia sempre presente una chiusura idraulica agli odori. Lo scopo è quindi di impedire alle esalazione (e all'aria maleodorante che proviene dalla rete di scarico a sua volta collegata alla fognatura) di penetrare negli ambienti domestici. Ogni apparecchio sanitario deve essere provvisto del suo sifone, collocato immediatamente presso l'uscita dello scarico.

Quando dall'apparecchio sanitario al quale il sifone è collegato si scarica acqua, il peso di questa crea, sul lato di entrata, una pressione la quale spinge l'acqua stagnante verso la colonna di discesa, attraverso la diramazione di scarico; il flusso continua fino al ristabilirsi, dopo il completo svuotamento dell'apparecchio, delle condizioni di partenza con la formazione di un nuovo tappo di acqua stagnante.

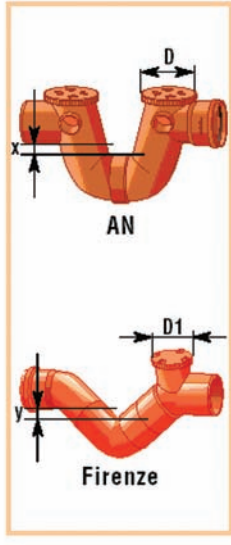
Il liquido che realizza la tenuta idraulica nel sifone è però soggetto a spostamen-

Figura 7.14



to fino alla perdita della tenuta soprattutto in conseguenza di improvvise variazioni di pressione. Il fenomeno viene chiamato *sifonaggio* e può avvenire per i seguenti motivi:

- Sifonaggio per aspirazione: lo scarico che scende nell'impianto, proveniente da un dato apparecchio sanitario, può essere così improvviso ed energico da creare un parziale vuoto nell'aria retrostante, sufficiente ad aspirare l'acqua di chiusura dei sifoni degli apparecchi sanitari dei piani sovrastanti. Un caso comune si verifica quando uno scarico proveniente da un piano è costituito da un tampone misto di aria ed acqua che scende per la colonna, raggiungendo successivamente gli sbocchi delle diramazioni a un piano inferiore e comportandosi come un pistone in un cilindro e quindi dando luogo a fenomeni di depressione.



Sifoni

Ø	100	110	125	140	160	200
AN						
X	29	35	38	40	50	50
D	100	110	125	140	160	200
FI						
Y	10	11	12	14	16	20
D1	80	80	82	100	125	125

- Sifonaggio per compressione: il flusso di acqua di scarico può inoltre causare nella colonna una compressione dell'aria a valle, sufficiente a premere sui sifoni adiacenti fino alla perdita della chiusura idraulica;
- Autosifonaggio: dato che di solito, nei sifoni degli apparecchi sanitari, il flusso di scarico ne occupa l'intera sezione, c'è il rischio che, alla fine dello scarico, la sua massa abbia una forza tale da trascinarsi dietro l'acqua di chiusura.

Per ovviare a questo inconveniente si ricorre alla soluzione impiantistica della rete di ventilazione che consente di eliminare le variazioni di pressione che eliminano la tenuta dei sifoni. Infatti, attraverso l'utilizzo di una serie di tubazioni sfocianti nella copertura dell'edificio si tende a ristabilire, sia monte che a valle delle diramazioni, la pressione atmosferica, annullando così gli effetti di qualsiasi depressione o sovrappressione.

7.4 Pozzetti

Le moderne reti per fognature, per soddisfare la necessità di evacuazione degli scarichi ed ottemperare alle disposizioni per la difesa dell'ambiente, devono essere stagne e permettere agevoli controlli, immissioni, deviazioni, salti e lavaggi.

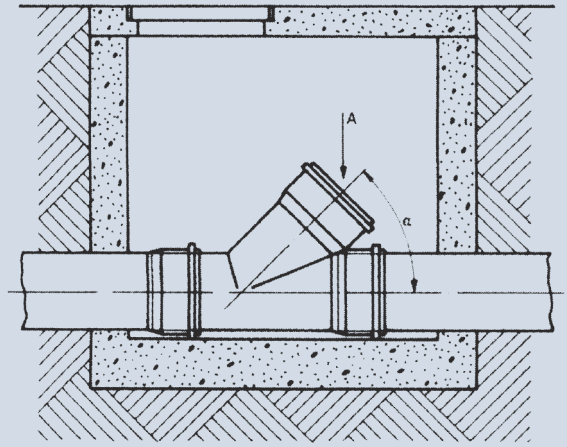
Tutto ciò si ottiene con i pozzetti che, dovendo essere contemporaneamente stagni, costituiscono un elemento indispensabile e molto importante nella costruzione della rete fognaria.

- Le principali caratteristiche dei pozzetti in PVC sono:
- L'autoportanza: il compattamento del terreno può avvenire senza strutture aggiuntive di rinforzo;
- Ottima tenuta idraulica, garantita dalle guarnizioni a labbro;
- Durabilità nel tempo: il materiale utilizzato è imputrescibile e resistente agli urti.
- Le installazioni più frequenti sono:
- Pozzetti di linea per ispezione e lavaggio;
- Pozzetti di linea con immissione di utenza, con p senza acqua di falda;
- Pozzetti di linea con immissione di utenza e cambio di diametro;
- Pozzetti di salto senza continuità di materiale;
- Pozzetti di salto con continuità di materiale;
- Pozzetti di linea di ispezione e di lavaggio totalmente realizzato in materiale plastico.

7.4.1 Pozzetto di linea per ispezione e lavaggio

L'angolo α può essere pari a 45° oppure 87°30'. L'entrata A deve essere chiusa con tappo a vite o con un normale tappo per tubi bloccato con una staffa.

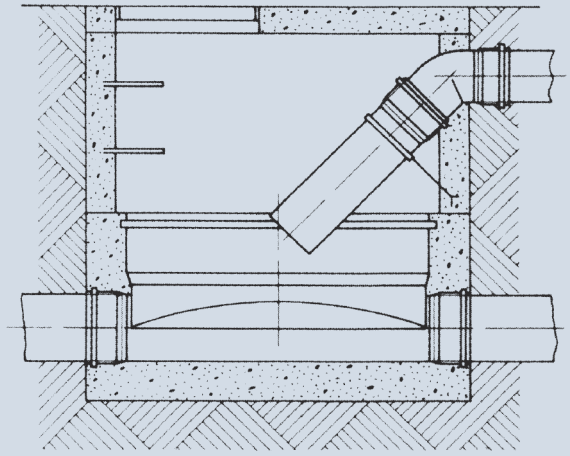
Figura 7.15



7.4.2 Pozzetto di linea con immissione di utenza, con o senza acqua di falda

Se l'acqua di falda ha un livello superiore, occorre inserire un elemento di tubo di lunghezza adeguata previo posizionamento di un anello elastomerico in modo da garantire la tenuta da e verso l'esterno.

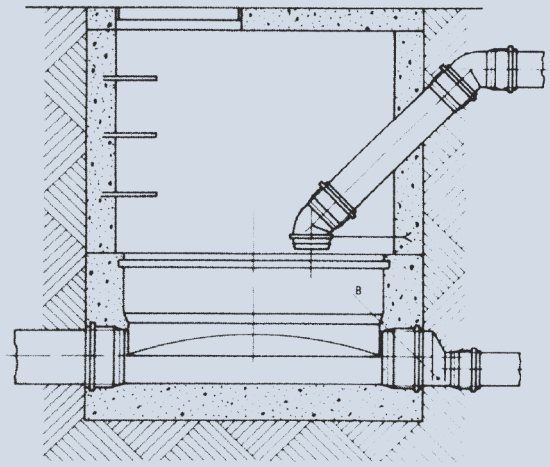
Figura 7.16



7.4.3 Pozzetto di linea con immissione di utenza e cambio di diametro

L'aumento di diametro può essere ruotato a 180° in modo da determinare un piccolo salto. In presenza di acqua di falda vale quanto si è già detto precedentemente.

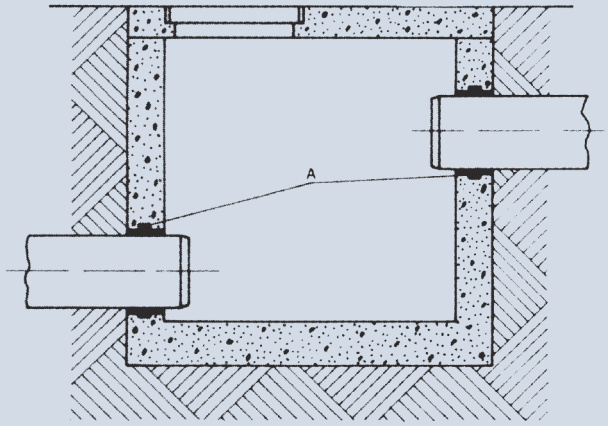
Figura 7.17



7.4.4 Pozzetto di salto senza continuità di materiale

Nelle posizioni A è prevista la presenza di materiali prefabbricati in grado di legare con il calcestruzzo (PVC con superficie trattata, PRFV, poliuretano, ecc.).

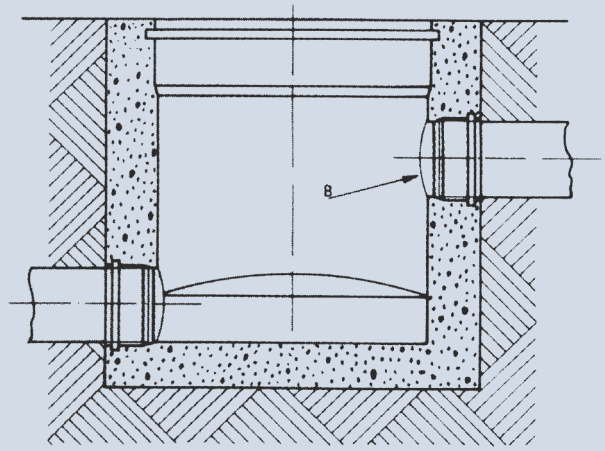
Figura 7.18



7.4.5 Pozzetto di salto con continuità di materiale

L'innesto B può essere eseguito anche tangenzialmente in modo da favorire il deflusso delle acque.

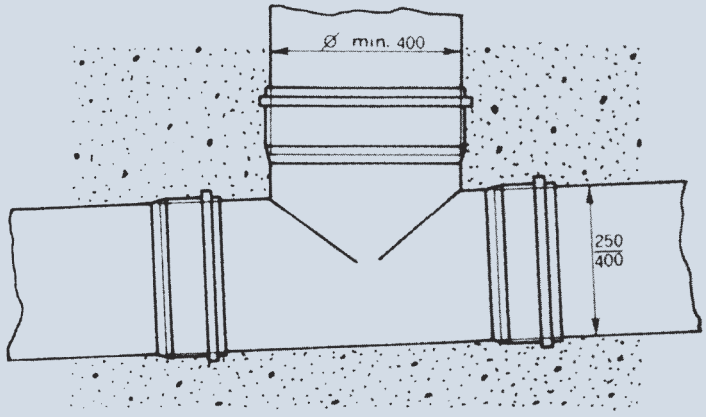
Figura 7.19



7.4.6 Pozzetto di linea di ispezione e di lavaggio totalmente realizzato in materiale plastico

Il diffondersi della pulizia idropneumatica con l'utilizzazione di tubi flessibili consente l'uso di pozzetti con diametro inferiore (400 mm circa) a quelli normalmente impiegati.

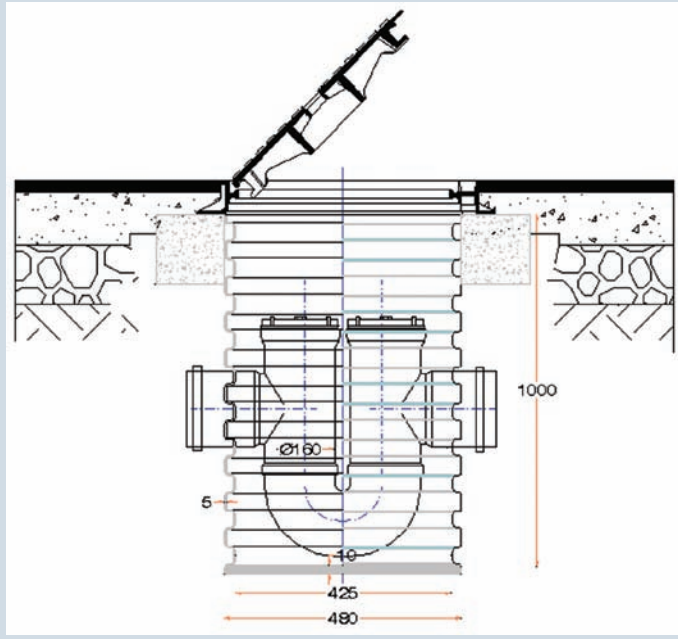
Figura 7.20



7.4.7 Pozzetto in PVC DN 425 per allacciamento con sifone tipo Firenze

La particolare forma della parete conferisce al pozzetto grande elasticità ed elevato potenziale di assorbimento dei carichi stradali, il sifone premontato a completa tenuta stagna consente una posa rapida e funzionale.

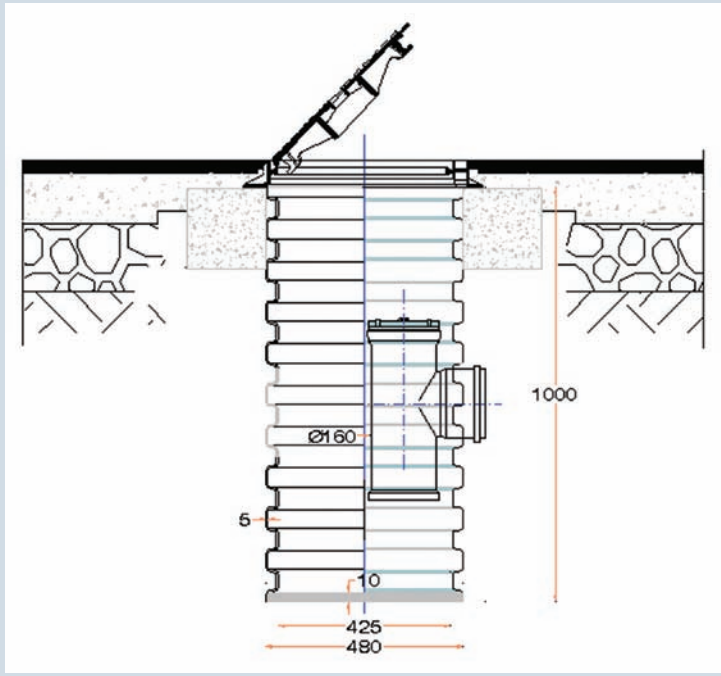
Figura 7.21



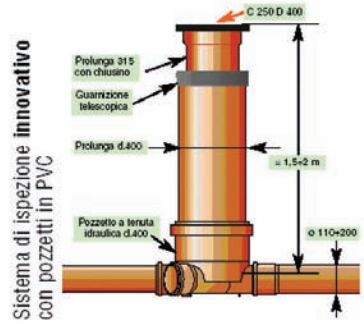
7.4.8 Caditoia sifonata in PVC DN 425 per acque piovane

La particolare forma della parete conferisce alla caditoia grande elasticità ed elevato potenziale di assorbimento dei carichi stradali, il sistema di sifone premontato crea il tappo idraulico contro il ritorno di odori ed elimina il rischio di scarico di corpi solidi. Rimuovendo il tappo a vite sarà semplice effettuare interventi di pulizia con canaljet. Disponibili anche in tubo strumentale strutturale espanso con diametri 315, 400 e 500mm.

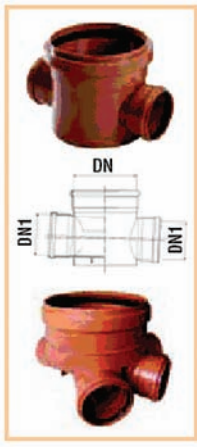
Figura 7.22



7.4.9 Pozzetto DN 400 per acque nere confronto pozzetto in cemento e in PVC



	Cemento	PVC
Personale necessario	2 persone	1 persone
Tempo necessario	da 2 a 3 ore	circa 1 ora
Macchine necessarie	sollevatore idraulico e martello pneumatico	nessuna
Peso complessivo escluso chiusino in ghisa	150÷200 Kg	40÷50 Kg
Inserimento dei tubi	necessario lo sfondamento meccanico dei lati	a innesto
Sigillatura	con cemento	con guarnizione premontata
Tenuta idraulica	degrada a breve	garantita nel tempo
Adattabilità alla quota del piano di campagna	Complicata a causa delle prolunghe con altezza fissa	Facile grazie alla prolunga telescopica regolabile



Pozzetti d'ispezione

DN / DN1	110	125	160	200	250	315	400	500	630
100					●	●			
125					●	●			
160						●	●		
200							●		

7.5 Pezzi speciali per attacchi con reti esistenti

7.5.1 Innesto di nuove reti

Qualora si renda necessario effettuare un innesto nella tubazione di PVC già posta in opera, si può procedere secondo uno dei metodi di seguito illustrati.

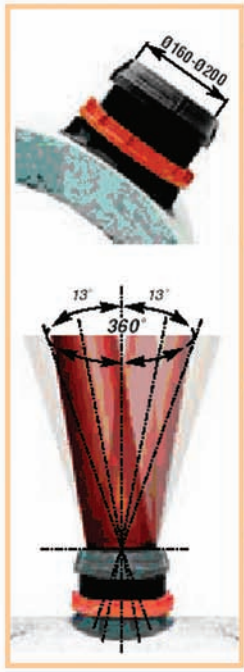
1. *Utilizzo di una derivazione e di due manicotti scorrevoli*

- Tagliare la tubazione esistente per un tratto sufficientemente lungo (L_{deriv}+2D);
- Inserire la derivazione in un troncone;
- Misurare la distanza fra estremità della derivazione e l'altro troncone;
- Tagliare un pezzo di tubo di uguale lunghezza;
- Inserire un manicotto sul troncone e un manicotto sul pezzo del tubo;
- Inserire il pezzo di tubo nella tubazione e far scorrere i due manicotti in modo da ottenere la tenuta.

2. *Utilizzo di una derivazione e di un manicotto scorrevole (caso in cui la tubazione si può leggermente sollevare)*

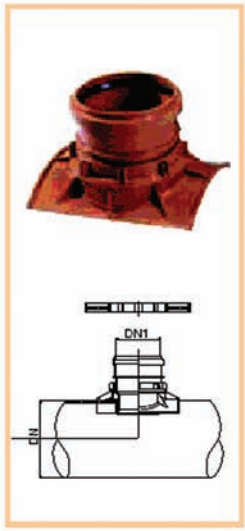
Figura 7.23

- Effettuare un montaggio in bianco con il tubo di derivazione e gli altri raccordi;
- Trovare la posizione della clip;
- Smontare il tubo di derivazione e la curva;
- Disegnare con matita grassa sul tubo il contorno interno da tagliare;
- Fare un foro, e partendo da questo, fare una apertura leggermente più grande del tracciato;
- Sbavare accuratamente i bordi con lima a denti fini;
- Pulire con solvente sgrassante;
- Sottolineare con la matita i due riferimenti segnati sul tubo;
- Incollare l'interno della clip e porre la clip seguendo i riferimenti (non oltre un minuto dopo l'incollaggio);
- Levare la colla eccedente;
- Montare la curva ed il tubo solo dopo 10 minuti;
- Per ottenere una eccellente tenuta chiudere e stringere forte con un legaccio subito dopo la posa della clip.



Clip meccanica UNIVERSALE

applicabile a tubi in:	Ø	Spessore
Cemento	*da Ø 300 a Ø 1000*	*fino a 100 mm.*
PVC	*da Ø 300 a Ø 1000*	*fino a 100 mm.*
PVC	*da Ø 300 a Ø 1000*	*fino a 100 mm.*
PE Strutturato	*da Ø 300 a Ø 1000*	*fino a 100 mm.*



Clip meccanica per tubi in PVC

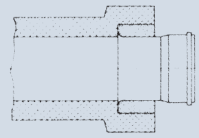
DN1 \ DN	250	315	400
160			

7.5.2 Collegamenti con altri materiali

Si possono verificare i seguenti casi:

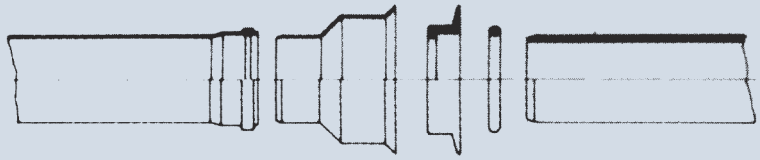
1. Collegamento con tubazione di ghisa. Se la tubazione di ghisa termina con un bicchiere, si usano opportune guarnizioni doppie (tipo Mengering).

Figura 7.24



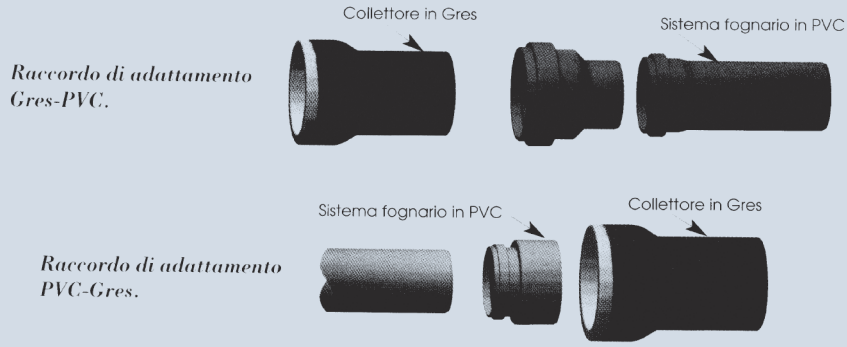
2. Se la tubazione in ghisa non termina con un bicchiere, si applica una guarnizione doppia tipo Mengering ed un raccordo di riduzione.

Figura 7.25



3. Collegamento con tubazioni di gres o di altro materiale. Si usa un raccordo speciale: lo spazio libero tra bicchiere e pezzo conico speciale viene riempito con mastice a base di resine poliestere o con altri materiali a freddo.

Figura 7.26



Passaggio PVC/Gres - Gres/PVC

Ø	100	110	125	140	160	200
Gres/PVC						
PVC/Gres						

8 Calcolo idraulico

8.1 Definizione di idraulica

L'idraulica è quella parte della meccanica dei mezzi continui che studia le leggi che regolano la statica o il moto dei fluidi. Generalmente si distingue in idrostatica e idrodinamica, per indicare le diverse condizioni in cui si studia il comportamento del fluido.

8.1.1 Idrostatica

In questa parte della meccanica dei fluidi si studia l'equilibrio e le pressioni che i fluidi in oggetto esercitano sulle pareti degli elementi che li contengono. Quando i liquidi si trovano a riposo, non esistono pressioni trasversali, ma solo quelle normali alla parete che li contiene. Inoltre i liquidi non sono dotanti di forma propria, ma assumono quella del corpo che li contiene senza opporre resistenza.

8.1.2 Idrodinamica

Questa è invece la parte della meccanica che studia il movimento dei fluidi, sia nella loro localizzazione naturale sia nelle installazioni che sono imposte dalle applicazioni pratiche. Si deve perciò considerare la presenza di attrito e la loro viscosità, elementi che permettono di stabilire se il fluido si trovi in condizioni di moto turbolento e laminare.

8.2 Proprietà dell'acqua

Si descriveranno qui di seguito le principali caratteristiche dell'acqua, essendo questo il fluido che generalmente è destinato ad essere trasportato dalla tubazioni in PVC rigido.

8.2.1 Densità

La densità (assoluta) è definita come la massa nell'unità di volume di un corpo e generalmente si esprime in grammi al centimetro cubo (g/cm^3).

La densità relativa invece è il rapporto tra la massa di un volume dato di materia ad una temperatura t e la massa di uno stesso volume di acqua a 4°C.

Per definizione la densità dell'acqua alla temperatura di 4°C si pone uguale a 1 g/cm^3.

8.2.2 Peso specifico

Il peso specifico assoluto si definisce in modo analogo alla densità, se invece delle masse si considera il peso nell'unità di volume di un corpo.

8.2.3 Coesione

La coesione è la forza che le molecole dei corpi solidi oppongono alla loro dispersione.

I liquidi non possiedono una forza di coesione e si adattano alla forma dei corpi che li contengono. L'acqua quindi non possiede coesione anche se è possibili cambiarne la viscosità variandone la temperatura.

8.2.4 Compressibilità

I liquidi sono praticamente incompressibili. L'acqua sottoposta ad una pressione di 6600 kg/cm^2, riduce il suo volume di solo $30 \cdot 10^{-6}$.

8.2.5 Fluidità

È la facilità con la quale un liquido può fluire. Il movimento irregolare delle molecole di un fluido permette il movimento. La fluidità è il contrario della viscosità.

8.2.6 Viscosità

Le forze di attrazione molecolare di un liquido originano una resistenza interna allo spostamento relativo di porzioni del medesimo, resistenza che è conosciuta con il nome di viscosità. Quando si vuole definire la viscosità, generalmente ci si riferisce all'esperienza di Newton. Il movimento di una lamina di fluido ad una determinata velocità sarà reso difficoltoso dalla presenza delle forze di coesione che esistono nel fluido. Si stabilirà quindi un gradiente di velocità di spostamento dei diversi filetti fluidi, il quale sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà la viscosità.

La forza tangenziale f necessaria per mantenere una differenza di velocità u tra due lamine parallele alla sezione A che si trovano alla distanza d, è data dall'espressione:

$$f = \eta \frac{u}{d} A$$

nella quale:
f viene espressa in grammi, u in cm/s, d in centimetri, A in cm^2, η è la viscosità a espressa in g · s/cm^2.

La viscosità cinematica è invece definita come:

$$v = \frac{\eta}{\rho}$$

in cui ρ è la densità del fluido.

La viscosità cinematica dipende strettamente della temperatura e nei liquidi diminuisce con l'aumentare della temperatura. Per l'acqua limpida a 12°C la viscosità cinematica è:

$$v = 1{,}24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Per le acque residenziali urbane, il valore medio di viscosità è di $1{,}31 \cdot 10^{-6}$ m^2/s.

8.2.7 Tensione superficiale

Una molecola che si trova all'interno di un liquido è circondata completamente dalle altre molecole, e per questo, è attratta in tutte le direzioni con la stessa intensi-

tà. Invece, una molecola che si trova sulla superficie libera, sarà sottoposta all'attrazione della altre molecole di fluido per cui la risultante delle forze avrà una direzione verso il basso. Come conseguenza, si avrà che il liquido tende ad ridurre al minimo la sua superficie che si comporta come una membrana elastica L'aumento della superficie di un liquido richiede un lavoro per unità di superficie che viene chiamata tensione superficiale.

8.2.8 Celerità di propagazione delle perturbazioni

Quando in una tubazione si stabilisce un regime variabile, dato ad esempio da una variazione di pressione, questa perturbazione si propagherà in tutto il liquido con un movimento ondulatorio.

La velocità di propagazione dell'onda viene chiamata celerità e per la valutazione della sua entità ci si riferisce alla formula di Allievi:

$$a = \sqrt{\frac{g}{\left[\frac{1}{E_1} + \frac{D_e}{E_t e}\right]\gamma}}$$

in cui a è la velocità in m/s, g è l'accelerazione di gravità in m^2/s, E_1 è il modulo elastico del liquido (per l'acqua $E_1=2{,}1 \cdot 10^8$ kg/m^2), D_e è il diametro esterno del tubo in mm, E_t è il modulo elastico della tubazione (per il PVC $E_t=3 \cdot 10^8$ kg/m^2), γ è il peso specifico dell'acqua (1000 kg/m^3).

Nel caso particolare di acqua in una tubazione di PVC rigido, la celerità si può calcolare con la formula semplificata:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{\frac{6666}{p_n} + 15}}$$

in cui p_n è la pressione nominale della tubazione.

8.2.9 Coefficiente di attrito

L'attrito dell'acqua con le pareti interne delle tubazioni origina una perdita di carico o di pressione. Il fattore che condiziona per la maggior parte tali perdite di carico è la rugosità interna della tubazioni. La perdita di carico influisce sulla portata che può convogliare una tubazione. Quando un liquido si muove con una determinata portata, si avranno variazioni di pressione dovute alle variazioni di velocità causate dalla trasformazioni di energia potenziale in cinetica e alla differenza di quota tra i diversi punti, agli attriti dell'acqua con le pareti e agli attriti addizionali, provocati da cause puntuali accessorie.

La perdita di carico totale all'interno della tubazione si potrà quindi esprimere come la somma di due termini:

$$J = J_t + J_a$$

essendo:

J_t le perdite di carico per attrito proprie della tubazione, e J_a le perdite di cariche per la cause addizionali.

L'attrito interno viene definito dal coefficiente λ, dipendente dalla rugosità della tubazione.

Generalmente ci si riferisce alla rugosità relativa, cioè al rapporto tra la rugosità assoluta e il diametro della tubazione.

Per le tubazioni in PVC per il trasporto di fluidi a pelo libero e in pressione, esistono abachi o tabelle che permettono di valutare le perdite di carico con una determinata portata per un particolare diametro di tubazione.

8.3 Idrostatica e idrodinamica

8.3.1 Principi dell'idrostatica

1. PRINCIPIO DI PASCAL: la pressione esercitata in un punto di un liquido si trasmette con lo stesso valore in tutte le direzioni.
2. La pressione che viene esercitata da un particella fluida su di una parete è sempre perpendicolare al quest'ultima.
3. La pressione esercitata sulle pareti aumenta progressivamente con la distanza dalla superficie liquida.
4. La pressione che si esercita in qualsiasi direzione su di una superficie curva è pari a quella esercitata sulla superficie piana che è la proiezione della curva su di un piano normale alla direzione adottata.
5. A parità di profondità, le pressioni sono proporzionali alla densità del fluido.

8.3.2 Regime di funzionamento

Se si considera il moto dell'acqua in una tubazione si possono distinguere due tipi di moto:

- Il moto laminare;
- Il moto in regime turbolento.

Entrambi i regimi sono possibili, a seconda delle condizioni in cui avviene il moto, cioè dal diametro del tubo, dalla velocità del fluido, dalla rugosità delle pareti interne delle tubazioni, dalla viscosità cinematica del fluido alla temperatura di esercizio.

Il numero di Reynolds (adimensionale) mette in relazione il coefficiente di attrito, la velocità e la viscosità cinematica in questo modo:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

in cui V è la velocità in m/s, D è il diametro interno del tubo in metri e ν è la viscosità cinematica in m^2/s. Si può stabilire il tipo di moto in una tubazione in base al valore assunto dal numero di Reynolds:

- Re<2000: il moto è laminare. In questo regime non sono influenti gli sforzi che corrispondono alla viscosità.
- Re>40.000: il moto avviene in regime turbolento. È importante la scabrezza delle pareti, a cui ci riferisce calcolando il valore del coefficiente λ.

8.3.3 Definizione dei parametri

- Pressione idraulica: è la forza che si esplica su di una superficie piana ed è la stessa di quella che sarebbe applicata al centro di gravità supponendo concentrata in questo punto la pressione che agisce su tutta la superficie. Questa forza, applicata al centro di gravità, è:

$$F = D \cdot h \cdot \gamma$$

in cui F è la forza in kg, S la superficie piana considerata in m^2, h la distanza dalla superficie del centro di gravità, in metri, γ è il peso specifico dell'acqua.

- Pressione idrostatica: la pressione in punto qualunque dipende soltanto dalla profondità dello stesso dalla superficie:

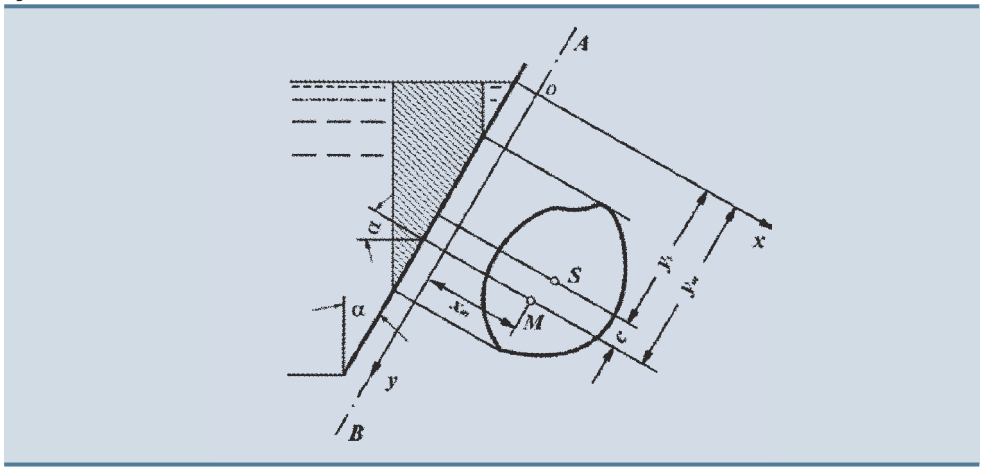
$$p = \gamma \cdot h$$

- Centro di applicazione delle pressioni: la risultante delle pressioni che agiscono su una superficie inclinata di un angolo generico rispetto alla verticale, passa per il centro delle pressioni M e si possono determinare le sue coordinate con le formule:

$$x_m = \frac{J_{xy}}{F \cdot y_s}$$

$$x_m = \frac{J_{xy}}{F \cdot y_s}$$

Figura 8.1



in cui F è la superficie, J_x è il momento d'inerzia rispetto all'asse che passa per il centro di gravità, J_{xy} è il momento centrifugo di F riferito all'origine delle coordinate, y_s è la distanza dalla superficie del centro di gravità.

Nel caso di parete verticale, le pressioni aumentano progressivamente verso il fondo e la risultante delle pressioni passerà per il centro di gravita ad una distanza Z dalla superficie pari a:

$$Z = \frac{2}{3} h$$

- Pressione sulle pareti: è pari al peso della colonna di liquido la cui altezza è data dalla distanza del centro di gravità della superficie considerata fino alla superficie liquida. Conseguentemente la pressione sulle pareti aumenta all'aumentare della distanza dal pelo libero.
- Carico statico: è l'altezza *h* tra un punto dato e la superficie del liquido. La relazione tra i carichi e la pressione è:

$$h = \frac{p}{\gamma}$$

- Energia potenziale: è l'energia che è in grado di sollevare un'unità di liquido, da un piano di riferimento alla superficie del medesimo. Se quest'ultima distanza è pari a *Z*, si può dire che l'energia potenziale è pari a *Z*.
- Energia cinetica: un'unità di liquido dotata di velocità *V*, avrà energia cinetica, espressa in metri, pari a:

$$\frac{V^2}{2 \cdot g}$$

- Unità di pressione: è una atmosfera pari a 1.033 kg/cm^2, o ad una colonna d'acqua di 10,33 m di altezza. Il suo equivalente in mercurio è una colonna di altezza 760mm a 0°C.

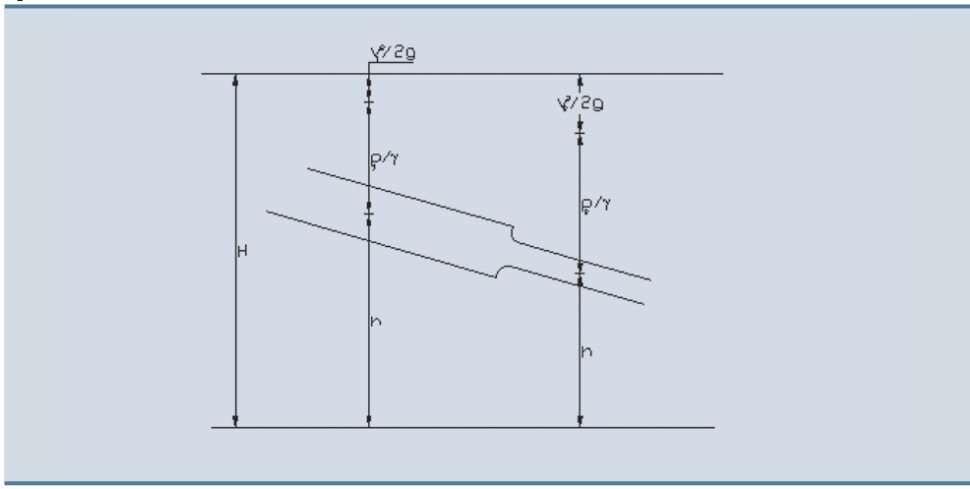
8.3.4 Il teorema di Bernoulli

Il teorema di Bernoulli è applicabile a tutti i liquidi in movimento senza attrito e indica che l'energia totale in ogni punto è costante. Si può esprimere matematicamente come:

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^{\,2}}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^{\,2}}{2 \cdot g} = H = costante$$

in cui: *h* è la posizione del punto rispetto al piano di riferimento, p/γ è il carico statico, $v^2/2 \cdot g$ è l'energia cinetica.

Figura 8.2



A questa formulazione si giunge a partire dal principio di conservazione dell'energia applicato ad una linea di corrente e considerando che non si abbiano perdite di carico. Infatti, gli elementi che costituiscono l'energia di un liquido in movimento sono: la sua posizione (h), la sua velocità ($v^2/2 \cdot g$) e la pressione (p/γ).

Il teorema di Bernoulli è valido se sono soddisfatte le seguenti ipotesi:

1. che non ci siano perdite di carico nel sistema, né a causa della viscosità, né per qualsiasi altra causa;
2. che in un punto assegnato la velocità sia costante e uniforme in tutta la sezione;
3. che il moto del fluido all'interno della condotta sia parallelo all'asse della medesima.

Queste tre condizioni, nei casi reali sono difficili da essere soddisfatte, e il teorema viene applicato con opportune correzioni.

8.4 Tipi di moto

Il moto in una tubazione può avvenire secondo due modalità:

1. moto a pelo libero;
2. moto in pressione.

8.4.1 Moto a pelo libero

Alcuni casi pratici in cui si può verificare questo moto sono i seguenti:

- Canalette di trasporto di acqua pluviale;
- Collettori all'interno degli edifici;
- Collettori fognari;
- Drenaggi agricoli;
- Drenaggi per opere civili;
- Drenaggi in impianti sportivi;
- Drenaggi nei muri di sostegno.

In tutti questi casi il moto avviene per gravità, sia perché la loro disposizione è verticale come nel caso delle canalette, sia perché esiste una pendenza che permette il convogliamento dell'acqua fino ad un ricettore finale che può essere un canale o un depuratore.

8.4.2 Moto in pressione

Questo è invece il caso di:

- Tubazioni per il trasporto di acqua potabile;
- Tubazioni di approvvigionamento idrico;
- Tubazioni sanitarie in bassa pressione.

Le tubazioni possono trovarsi in pressione:

- per gravità: esiste in questo caso un dislivello geometrico che permette il trasporto del fluido;
- perché l'energia necessaria al moto viene fornita attraverso una pompa;
- per applicazione congiunta delle precedenti due possibilità.

9 Calcolo delle perdite di carico

9.1 Canali

Il seguente paragrafo sarà dedicato alla descrizione delle perdite di carico nei canali anche se tutto il manuale è dedicato alle tubazioni per il trasporto di liquidi. Sembra comunque doveroso accennare anche ai canali in questo contesto.

I canali vengono di solito utilizzati per trasportare l'acqua derivata da fiumi e torrenti e possono essere industriali, di approvvigionamento, di scarico…

Se la pendenza e la sezione sono costanti si potrà considerare il moto come uniforme.

9.1.1 Calcolo idraulico

Il calcolo idraulico deve sempre considerare la validità dell'equazione di continuità che stabilisce che il rapporto tra velocità e sezione deve mantenersi costante lungo la tubazione, se non si sono variazioni di portata:

$$Q = S \cdot V = S' \cdot V' = S'' \cdot V'' = costante$$

9.1.2 Dati necessari al calcolo del canale

I parametri che vengono utilizzati nel dimensionamento dei canali sono:

- La portata in metri cubi al secondo: Q;
- La sezione del canale perpendicolare al senso del moto in metri quadrati: S;
- La velocità media dell'acqua del canale in metri al secondo: V;
- Il perimetro bagnato in metri: P;
- Il raggio idraulico, dato dal rapporto tra la sezione e il perimetro, espresso in metri:

$$R = \frac{S}{P}$$

Per i canali rettangolari, il raggio idraulico è pari all'altezza d'acqua media, mentre per la sezione circolare è pari ad un quarto del diametro della tubazione.

- La pendenza del canale: J

Esistono varie formulazioni per esprimere la velocità in un canale. Ora verranno elencate le più comuni:

1. FORMULA DI CHEZY: $V = \gamma \sqrt{R \cdot J}$ in cui γ è un coefficiente di rugosità della parete del canale.
2. FORMULA DI BAZIN:

$$V = \frac{87\sqrt{R}}{\sqrt{R} + \gamma} \sqrt{R \cdot J} = C \sqrt{R \cdot J}$$

in cui γ è un coefficiente di rugosità che dipende dalla tipologia delle pareti e i cui valori sono riportati nella tabella 9.1.

Tabella 9.1

	γ
Pareti molto lisce	0,06
Pareti lisce	0,16
Pareti naturali (terra con sezione regolare o pietra)	0,85
Canali in terra in condizioni normali di manutenzione	1,30
Canali in terra che offrono grande resistenza al passaggio dell'acqua	1,75

3. FORMULA DI KUTTER:

$$V = \gamma \sqrt{R \cdot J}$$

$$\lambda = \frac{23 + 0{,}00155 / J + 1 / n}{1 + (23 + 0{,}00155 / J) \cdot n / \sqrt{R}}$$

Il valore di n varia tra 0,008 per il PVC e 0,04 per tubazioni con pareti molto irregolari.

Una volta che siano noti i valori di λ, R e J facilmente si può calcolare il valore della portata che tale tubazione può convogliare.

9.2 Tubazioni in pressione per dislivello topografico

Queste sono le tubazioni che trasportano acqua secondo il loro dislivello e si trovano sottoposte ad un determinato valore di pressione piezometrica determinato dalla configurazione planimetrica della rete.

Le applicazioni principali sono le tubazioni di adduzione, le reti di distribuzione, le irrigazioni …

9.2.1 Calcolo idraulico

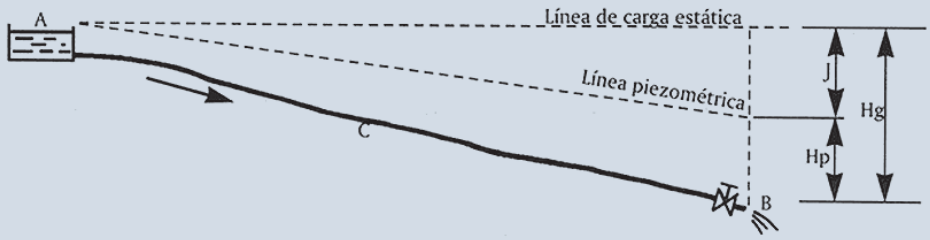
Per effettuare il calcolo idraulico in questi casi si devono trattare alcuni concetti fondamentali:

- La pressione statica piezometrica;
- Le pressioni nella tubazioni;
- Le perdite di carico nelle tubazioni e le formule necessarie al loro calcolo.

9.2.1.1 La pressione statica e piezometrica

Si consideri una tubazione per l'adduzione di acqua in pressione. Quando non c'è moto tale tubazione sarà sottoposta alla pressione statica o totale, invece, nel momento in cui inizia il moto, la pressione sarà quella piezometrica. Se il moto avviene per gravità allora la pressione piezometrica sarà inferiore a quella statica, se invece il moto è forzato si realizza la condizione contraria.

Figura 9.1



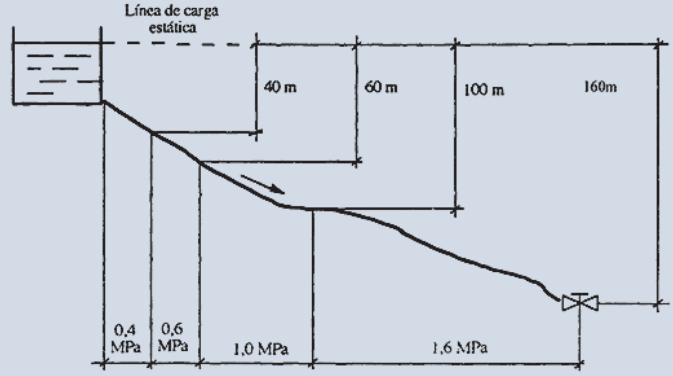
A = serbatoio; B = valvola di regolazione; C = tubazione; HG = altezza geometrica;
J = perdite di carico che si manifestano quando si innesca il moto; HP = altezza piezometrica.

9.2.1.2 Le pressioni nelle tubazioni

Il dimensionamento delle tubazioni in pressione avviene considerando la portata che deve essere trasportata e la pressione a cui è sottoposta la tubazione.

Se si trovano le distanze della tubazioni dalla linea dei carichi statici o totali, questa è pari alla pressione massima che dovrà sopportare e quindi per la quale dovrà essere dimensionata. Il calcolo della pressione massima che la tubazione dovrà sopportare deve considerare anche la presenza del carico veicolare e della particolari condizioni di installazione.

Figura 9.2 - *Tubazione a gravità con valvola di chiusura all'estremità.*



9.2.1.3 Perdite di carico

Si considerano le seguenti ipotesi:

1. i valori dell'attrito dell'acqua con le pareti si devono considerare indipendenti dal valore di pressione;
2. se il diametro della tubazione è costante, per una stessa portata, corrisponde uno stesso valore di velocità;
3. a parità di diametro, le perdite di carico sono influenzate dalla velocità di circolazione dell'acqua e dal valore di rugosità delle pareti interne.

Per una tubazione con apertura totale al termine come in figura, vale la seguente relazione:

$$\frac{H_g}{L} = J$$

in cui H_g è l'altezza geometrica, L la lunghezza della condotta e J la pendenza.

Per le condotte in pressione le perdite di carico si possono calcolare con la formula di Darcy-Weisbach:

$$J = \lambda \frac{V^2}{2gD}$$

In cui λ è il coefficiente adimensionale d'attrito, V è la velocità media e D è il diametro della tubazione.

Le perdite di carico hanno valori diversi a seconda del regime che si instaura nella tubazione (laminare o turbolento).

In *regime laminare* i filetti fluidi rimangono sempre paralleli fra di loro e il numero di Re<2000.

Poiseuille stabilì la seguente relazione:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

E sostituendo nella formula di Darcy-Weisbach e quindi della definizione di numero di Reynolds, si ottiene:

$$J = \frac{32V^2}{gD\,\mathrm{Re}} = \frac{32Vv}{gD^2}$$

Se invece il *regime è turbolento* il movimento dei filetti non si mantiene sempre parallelo alla direzione della tubazione. Questo è il regime più comune e, per effettuare il calcolo delle perdite di carico, si deve stimare un valore di λ.

In alcune formule si trova il coefficiente di attrito:

$$b = \frac{\lambda}{8g}$$

Le perdite di carico si possono esprimere come:

$$j = b \frac{V^2}{R}$$

in cui V è la velocità media e R il raggio idraulico.

Esistono un gran numero di formule per calcolare il coefficiente di attrito e qui di seguito si riportano le principali:

- FORMULA DI BLASIUS

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{Re^{0{,}25}}$$

È applicabile a tutti i tubi lisci e per numeri di Reynolds inferiori a 10^5 (regime di corrente turbolenta e di transizione).

- FORMULA DI DARCY

Le perdite di carico j sono fornite dalla seguente formula:

$$j = \frac{4}{D}\left(\alpha + \frac{\beta}{D}\right) V^2$$

in cui α e β sono costanti che assumono valori differenti a seconda se le tubazioni sono nuove oppure usate.

Tabella 9.2

	Tubazioni nuove	*Tubazioni usate*
■ α	$2{,}535 \cdot 10^{-4}$	$5{,}07 \cdot 10^{-4}$
■ β	$6{,}47 \cdot 10^{-6}$	$1{,}294 \cdot 10^{-5}$

- FORMULA DI KUTTER

Il coefficiente di attrito è pari a:

$$b = \frac{\left[\alpha + \sqrt{\frac{D}{4}}\right]^2}{2500D}$$

in cui $\alpha = 0{,}25$ per le tubazioni nuove, mentre $\alpha = 0{,}35$ per quelle usate.

- FORMULA DI BAZIN

Il coefficiente di attrito è:

$$b = \left[\frac{1 + \frac{2\alpha}{\sqrt{D}}}{87}\right]^2$$

in cui $\alpha = 0{,}16$ per le tubazioni usate di diametro inferiore a 0,70m, mentre $\alpha = 0{,}31$ per quelle di diametro superiore.

- FORMULA DI HAZEN-WILLIAMS

$$J = \left[\frac{V}{0{,}355\alpha D^{0{,}66}}\right]^{0{,}54}$$

Per il PVC il valore di cui $\alpha = 150$.

- FORMULA DI MANNING-STRICKLER

La velocità nella tubazione è pari a:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} j^{1/2}$$

I valori del coefficiente n sono riportati nella tabella 9.3.

Tabella 9.3

Materiale	*n*
PVC, PE	0,006 ÷ 0,008
Calcestruzzo liscio	0,011 ÷ 0,013
Calcestruzzo grezzo	0,013 ÷ 0,017
Acciaio	0,014 ÷ 0,019
Terra	0,020 ÷ 0,030

- FORMULA DI COLEBROOK

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2log\left[\frac{K}{3{,}71D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}}\right]$$

Questa formula è stata ricavata empiricamente è si può ritenere valida per le tubazioni lisce e rugose con Re>2000.

- FORMULA DI VON KARAMAN

Partendo dalla precedente formula, per i tubi idraulicamente lisci, in cui il valore di K tende a zero, il primo termine scompare e si ottiene:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2log\left[\frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}}\right]$$

- FORMULA DI NIKURADSE

Per le tubazioni idraulicamente rugose, dalla formula di Colebrook si può trascurare il secondo termine quando il numero di Re è molto elevato, ottenendo:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2log\left[\frac{K}{3{,}71D}\right]$$

- FORMULA DI PRANDTL-COLEBROOK

Unendo le formule di Colebrook e Darcy, si ottiene la formula di Prandtl-Colebrook:

$$V = -2\sqrt{2gI\,log}\left(\frac{K_a}{3{,}7iD} + \frac{2{,}51v}{D\sqrt{2gD_i}}\right)$$

in cui i è la perdita di carico, k_a è la rugosità uniforme equivalente in metri, v è la viscosità cinematica.

9.2.2 Dati utili per il dimensionamento della condotta

Per il calcolo dimensionale, cioè per la valutazione del diametro e dello spessore della condotta, si devono conoscere le seguenti quantità:

1. lunghezza totale: si deve conoscere l'intero tracciato della condotta a partire dalla captazione iniziale all'utilizzatore finale;
2. dislivello: la differenza di quota tra il punto iniziale e finale della tubazione;
3. pressione desiderata all'estremo finale: viene stabilita in base alle condizioni di servizio, a seconda dei fini perseguiti;
4. portata circolante: sarà funzione del consumo stimato, tenendo in conto anche la possibilità di funzionamento simultaneo delle utilizzazioni;
5. materiale della tubazione: è necessario conoscerlo per stabilire il valore della tensione circonferenziale di lavoro (σ) a cui è in grado di essere sottoposto. Sarà quindi utilizzato per stabilire lo spessore della condotta, che è in relazione con la pressione nominale PN;
6. caratteristiche topografiche del terreno: si deve conoscere la disposizione in pianta delle tubazioni.

9.2.3 Esempio

Si consideri una tubazione di PVC 160/10 in cui passa una portata di 1,5 l/s.
Il suo diametro interno sarà quindi d_i=160-2*6,2=147,6 mm=0,1476 m.
La velocità media all'interno della sezione si può calcolare come:

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0{,}015}{0{,}0171} = 0{,}877 \text{ m/s}$$

dato che la sezione interna è:

$$S = \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} = 0{,}0171 \text{ m}^2$$

Le perdite di carico si possono stimare con la formula di Manning con n = 0,008:

$$j^{1/2} = \frac{Vn}{R^{2/3}}$$

Il raggio idraulico R è:

$$R = \frac{d_i}{4} = 36{,}9 \text{ mm}$$

Da cui la perdita di carico:

$$j = \left(\frac{0{,}877 \cdot 0{,}008}{0{,}0369^{\,2/3}} \right)^2 = 0{,}0043$$

9.3 Moto in pressione per la presenza di una pompa idraulica

Quando è necessario sollevare l'acqua ad una quota superiore a quella di prelievo, si deve utilizzare una pompa, che fornisce una determinata pressione al fluido. Generalmente, per la progettazione si deve conoscere la portata che deve circolare in

modo da stabilire la soluzione economicamente migliore per la sua installazione. Si devono inoltre calcolare il diametro della condotta, la velocità dell'acqua, le perdite di carico, le pressione desiderata nel punto di utilizzazione, la potenza del motore della pompa.

Se si sceglie per la condotta di adduzione un diametro troppo piccolo, che avrà un basso costo, si presenteranno elevate perdite di carico e quindi sarà necessario aumentare la potenza della pompa per fare in modo che la pressione all'utilizzatore sia costante. Viceversa, con una tubazione di maggior diametro si utilizzerà una pompa che consumerà minore energia, ma si avranno costi più elevati per la tubazione. Si tratta quindi di risolvere un problema di minimizzazione dei costi totali, dati dalla somma del costo dell'energia e del costo della tubazione.

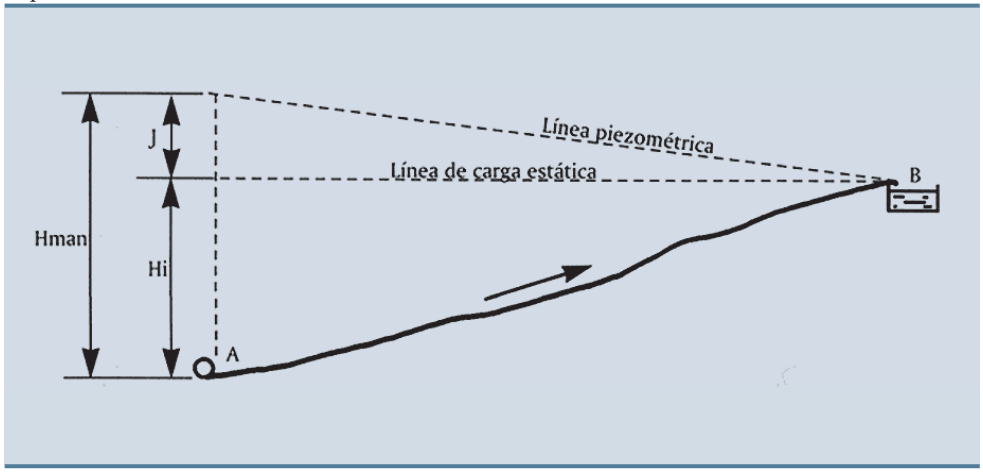
9.3.1 Calcolo idraulico

Nel paragrafo 9.2.1 sono già stati presentati i concetti fondamentali per effettuare il calcolo idraulico. Ora verranno applicati a questa condizione di moto.

9.3.1.1 Pressione statica e piezometrica

La pressione piezometrica sarà superiore alla statica quando il moto avviene sotto l'impulso di una pompa.

Figura 9.3 - *H_{man} è la prevalenza della pompa; H_i è il carico in condizioni statiche; J sono le perdite di carico.*



9.3.1.2 Le pressioni nelle tubazioni

Le tubazioni saranno dimensionate in base alla pressione e alla portata circolante.

Per determinare le diverse pressioni delle tubazioni, si tracciano le parallele alla linea piezometrica corrispondenti a livelli di pressione di lavoro. Si possono così trovare le diverse parti in cui suddividere la condotta.

9.3.1.3 Perdite di carico

Le formule di calcolo delle perdite di carico sono le stesse presentate nel paragrafo 9.2.1.3 in quanto il moto avviene anche in questo caso in pressione.

9.3.2 Dati utili per il dimensionamento della condotta

Si deve conoscere la portata da sollevare in base al consumo previsto, l'altezza di aspirazione relativamente alla minima altezza d'acqua da prelevare, la massima altezza a cui la pompa deve poter fornire acqua, la pressione desiderata al punto di utilizzo, la lunghezza totale della condotta, sia in aspirazione che in pressione, il numero di valvole di ritenzione e di tutti gli elementi che possono causare perdite di carico sulla rete, le caratteristiche topografiche del terreno di posa della condotta.

Per determinare le caratteristiche della pompa, dati:

- Q = portata da sollevare;
- H_p = profondità del pozzo o altezza di aspirazione;
- H_g = quota geometrica di bocca pozzo;
- V = velocità media dell'acqua;
- J_p = perdite di carico nella tubazione verticale del pozzo;
- J = perdite di carico nella condotta di adduzione;
- J_a = perdite di carico addizionali;
- γ = densità dell'acqua;
- η_p = rendimento della pompa (circa 60%);
- η_m = rendimento del motore della pompa (circa il 90%);

L'altezza totale di sollevamento della pompa sarà quindi determinabile come:

$$H = H_p + H_g + \frac{V^2}{2g} + J_p + J + J_a$$

E la potenza assorbita dalla pompa sarà:

$$P = \frac{\gamma Q H}{75\eta_p} \text{ in CV}$$

La potenza del motore si ottiene considerando anche il suo rendimento:

$$P_m = \frac{P}{\eta_m} \text{ in CV}$$

Per ottenere i kW si deve moltiplicare il risultato per 0,736.

Ad esempio, si consideri di voler sollevare acqua da un pozzo a 50 m di profondità per riempire un serbatoio di 1500m^3, situato all'altezza di 80 m. La pompa lavora per 16 ore al giorno e la lunghezza della tubazione di adduzione è di 200m.

La portata da sollevare sarà:

$$Q = \frac{1500 \cdot 1000}{16 \cdot 3600} = 26{,}04 \text{ l/s}$$

Se si desidera avere una velocità di 1,3 m/s, con una tubazione di 160 mm, le perdite di carico si possono stimare in 0,80 m/100m. Le perdite di carico accidentali lungo la condotta sono considerate equivalenti a 10 m di tubazione rettilinea di diametro 160mm. Da cui si ottiene:

$$J = \frac{0{,}80(200 + 10)}{100} = 1{,}68 \text{ m}$$

Se si desidera avere una velocità di 1,3 m/s, con una tubazione di 160 mm, le perdite l'altezza totale H:

$$H = 50 + 80 + \frac{1{,}3^2}{2 \cdot 9{,}81} + 0{,}75 + 1{,}68 + 10 = 142{,}6 \text{ m}$$

Mentre le potenze assorbite:

$$P = \frac{1 \cdot 26{,}04 \cdot 142{,}61}{75 \cdot 0{,}6} = 82{,}5 \text{ CV}$$

$$P_m = \frac{82{,}52 \cdot 100}{90} = 91{,}7 \text{ CV} = 67{,}5 \text{ kW}$$

La scelta del motore della pompa si fa considerando il 20% di potenza in più per i possibili sovraccarichi. In questo caso si potrebbe scegliere un motore da 80 kW.

Tubazione di aspirazione

L'aspirazione teorica massima di una pompa è di 10,33 metri di colonna d'acqua equivalente alla pressione atmosferica. Questo è però un valore teorico in quanto si devono considerare anche le perdite di carico nella tubazione di aspirazione e nella valvola di fondo. Come valore cautelativo si può considerare 6,5 metri. Altre cause che possono influire sull'altezza di aspirazione sono l'altezza sul livello del mare dell'aspirazione e la temperatura dell'acqua.

10 Pressioni nelle condotte

10.1 Sovrappressioni accidentali

Le sovrappressioni accidentali si possono verificare a causa delle variazioni del moto dell'acqua nella tubazione. In questo caso si dirà che il moto non avviene più in regime permanente, ma che il moto è vario.

Il moto è permanente se ogni punto della condotta è caratterizzato dalle caratteristiche idrauliche, stabilite in base alla portata e alla sezione, che si mantengono costanti nel tempo. Se invece il moto è vario la velocità in ogni punto non soddisfa più la condizione di costanza nel tempo.

10.1.1 Pressioni variabili e velocità dell'onda d'urto

La situazione di moto permanente si verifica nella condotta solo dopo un certo tempo da quando si pone in servizio la rete cioè quando si stabilisce la velocità di regime. Questa velocità è correlata direttamente con la curva caratteristica della tubazione che mette in relazione la portata con il carico a cui è sottoposta. Il punto di intersezione della curva caratteristica della tubazione e quella dello strumento che fa avvenire il moto (pompa o valvola) permette di individuare il punto di funzionamento.

Se si considera la condizione in cui si ha la circolazione di una data portata e in un dato momento si verifica la variazione di qualche elemento nella rete, allora si avrà anche una modifica della sua curva caratteristica, variando anche il punto di intersezione con la curva caratteristica della condotta. Quando l'onda di pressione, che si genera nella rete affinché si verifichi l'adeguamento, incontra delle condizioni che sono incompatibili con quelle che si dovrebbero stabilire, allora si genera una nuova onda di pressione in senso contrario. Questa è la condizione che si verifica, ad esempio, nel momento in cui si chiude una valvola a valle di una condotta funzionante a gravità. L'onda di pressione che si genera si propaga fino al serbatoio dove la condizione di pressione è incompatibile con le condizioni fisiche di pelo libero. Da ciò si propaga un'altra perturbazione che a sua volta raggiungerà la valvola e troverà condizioni incompatibili, da cui una nuova perturbazione avrà origine e così via in successione.

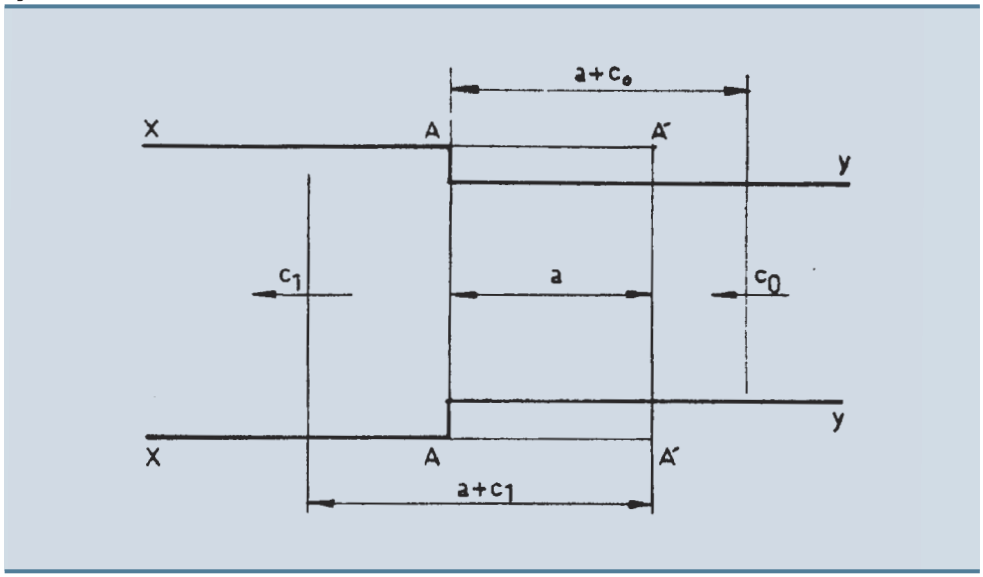
La soluzione di questo problema deve in realtà tenere in conto la dinamica dei mezzi elastici.

In regime variabile, nel caso in cui l'onda di pressione si propaga nel verso contrario alla portata. Se si ha una variazione di velocità da c_0 a c_1, allora si verificherà anche una variazione di pressione che passerà da h_0 a $h_0 + F$ che provocherà la dilatazione del

tubo che si sposta con la celerità dell'onda *a*. Si può ricavare matematicamente che la sovappressione F è pari a:

$$F = \frac{a}{g}(c_0 - c_1)$$

Figura 10.1



Nel caso in cui l'onda di pressione si sposta nel verso della portata.

In questo caso la sovrappressione sarà:

$$F = \frac{a}{g}(c_1 - c_0)$$

Queste formulazioni possono essere considerate valide nel caso di chiusura istantanea di una valvola a valle di una condotta a gravità.

10.1.2 Calcolo della celerità della perturbazione

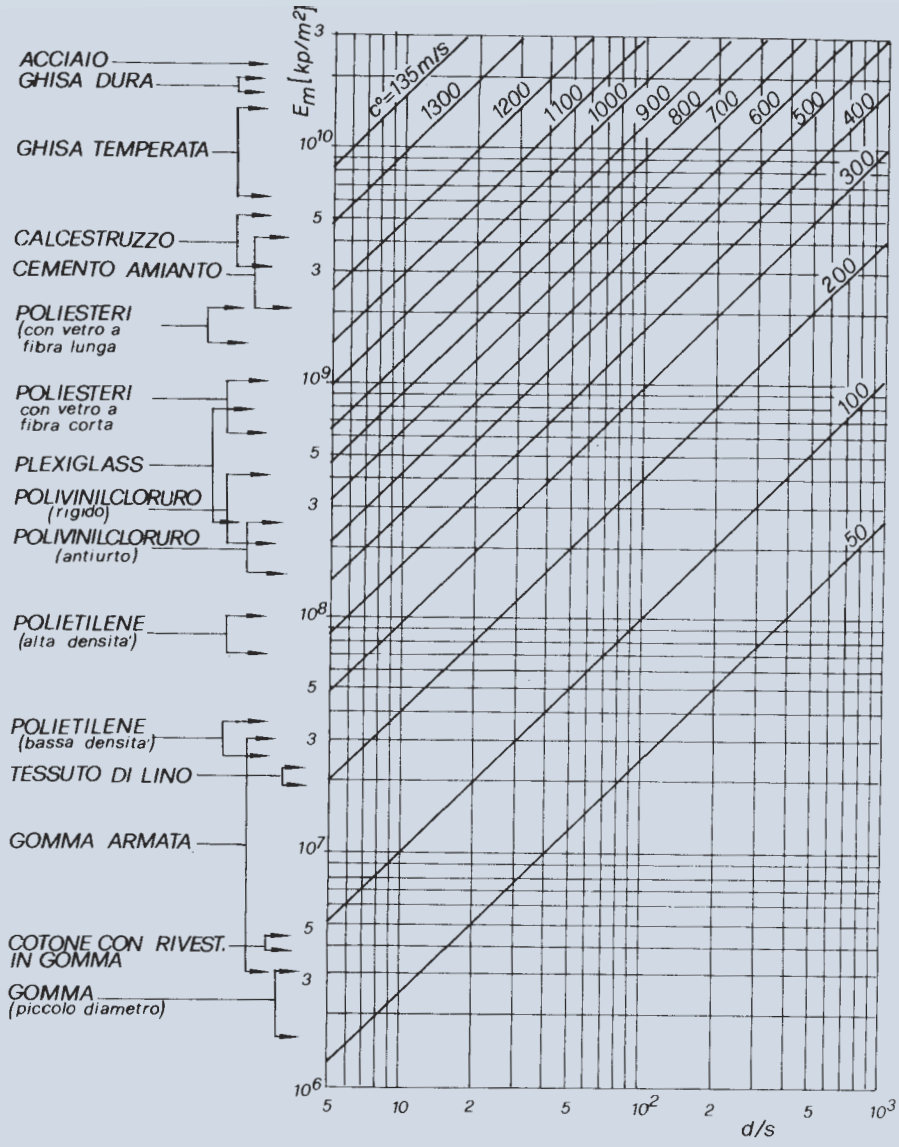
Si supponga che un liquido circoli con una velocità c_0 in regime permanente e che in un momento stabilito si produca una perturbazione che faccia variare la velocità in c_1. Se $c_1 < c_0$ allora aumenterà la pressione e pertanto si avrà una dilatazione del raggio del tubo.

Questa variazione si trasmetterà con una velocità *a*. Quest'ultima si può ricavare in seguito a considerazioni analitiche, ottenendo:

$$a = \sqrt{\frac{g}{\gamma} \frac{1}{\left(\frac{D}{E_m \cdot e} + \frac{1}{E_a}\right)}}$$

in cui E_m è il modulo elastico del materiale, E_a è quello dell'acqua ($2{,}1\ 10^8$ kg/m^2) e γ è il peso specifico dell'acqua.

Figura 10.2



$$c^o = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{E}{E_m}\frac{d}{s}}}$$

E_m = modulo di elasticità della parete (kp/m²)

c^o = velocità di propagazione nell'acqua (m/s)

c = velocità di propagazione entro il tubo (m/s)

E = modulo di comprimibilità dell'acqua (kp/m²)

10.1.3 Colpo d'ariete

Questo fenomeno è stato molto studiato perché è presente in tutte le condotte in pressione in cui il regime non sia costante nel tempo. È il nome attribuito ad un fenomeno secondo il quale le variazioni di funzionamento di un apparecchio nella rete, producono variazioni di portata e pressione che si propagano all'interno della condotta con una velocità che dipendono soltanto dalla compressibilità del liquido e dalla rigidezza della tubazione.

La prima soluzione analitica del problema è quella di Michaud del 1878 che intuì il suo carattere oscillatorio. Lo studio avviene nel caso particolare di condotta a gravità in cui si trova una valvola. Il valore della sovrappressione, nel caso che la chiusura della valvola avvenga in tempi maggiori al tempo di fase (tempo in cui la perturbazione raggiunge il serbatoio e ritorna alla valvola), è:

$$\Delta H = \frac{2Lv}{gT}$$

in cui L la lunghezza della condotta, T è il tempo di chiusura della valvola in secondi e v è la velocità iniziale dell'acqua.

Nel 1890 Joukowski completò il lavoro di Michaud, arrivando all'espressione:

$$\Delta H = \frac{av}{g}$$

La formula sopra scritta si riferisce ad una chiusura istantanea della valvola ed è valida per un tempo di chiusura $T < 2L/a$ che è il tempo che impiega un'onda per percorrere in andata e ritorno la tubazione. Per $T = 2L/a$ la formula di Michaud coincide con quella di Joukowski. La prima rimane valida per tempi di chiusura $T > 2L/a$.

Nelle tubazioni in PVC i rapporto D/e è costante, perciò il valore di celerità è costante per una certo valore di pressione.

Tabella 10.1

Pressione nominale	*Celerità a per tubazioni in PVC*
4 atm	240 m/s
6 atm	295 m/s
10 atm	380 m/s
16 atm	475 m/s
20 atm	530 m/s
25 atm	595 m/s

Nel 1903 l'ingegner Allievi studiò il fenomeno del colpo d'ariete considerando l'ipotesi reale di chiusura lineare della valvola, cioè considerando che la chiusura della valvola varia linearmente la sezione di passaggio.

La velocità di propagazione della perturbazione, secondo Allevi, è ricavabile dalla formula:

$$\frac{1}{a^2} = \frac{w}{g}\left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{E}\,\frac{D}{e}\right)$$

in cui: w è il peso specifico del liquido in kg/m^3, è il modulo di elasticità dell'acqua, E è il modulo di elasticità del materiale (per il PVC a 20°C E=3 · 10^8 kg/m^2), D è il diametro del tubo in mm, e è lo spessore del tubo. Sostituendo all'interno della sopra citata formula i valori relativi all'acqua si ottiene:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48{,}3 + k\,\frac{D}{e}}}$$

Il valore di k dipende dal modulo di elasticità del tubo e per il PVC rigido è pari a 33,33.

Allievi dimostra che il fenomeno del colpo d'ariete si può studiare una volta conosciuti due parametri che rappresentano le caratteristiche della tubazione e quelle della valvola.

Per una manovra lenta cioè per T > 2L/a si ritiene valida la formula di Michaud:

$$\Delta H = \pm\frac{2Lv}{gT}$$

mentre per T < 2L/a, allora vale la formula di Allievi:

$$\Delta H = \pm\frac{av}{g}$$

10.1.3.1 Formula di Mendiluce

Nelle condotte in cui è presente una pompa, esiste una formula per calcolare il tempo T intercorrente tra l'interruzione di funzionamento della pompa e l'annulamento della velocità di circolazione dell'acqua:

$$T = C + \frac{MLv}{gH_p}$$

in cui C è un coefficiente funzione della relazione tra prevalenza della pompa e lunghezza L della condotta, M è un coefficiente funzione di L, v è la velocità dell'acqua, H_p è la prevalenza.

Tabella 10.2

H_p/L %	10	20	25	30	35	40
C	1	1	0,8	0,5	0,4	0

L	250	500	1000	1500	2000
M	2	1,75	1,5	1,25	1,15

Per $L < aT/2$, sarà valida la formula di Michaud:

$$\Delta H = \pm \frac{2Lv}{gT}$$

mentre per $L > aT/2$, vale la formula di Allievi:

$$\Delta H = \pm \frac{av}{g}$$

Quando si verifica quest'ultima condizione, in realtà si devono utilizzare tutte e due le formule perché esiterà un punto per cui è soddisfatta l'uguaglianza $L = aT/2$ e da quel punto in poi sarà valida l'equazione di Michaud.

10.1.4 Introduzione al metodo di Bergeron

Questo è un metodo grafico che permette di risolvere anche i problemi più complessi di colpo d'ariete. Si possono calcolare in tutti i punti della tubazione la portate e le pressioni in ogni istante. Bergeron ha dimostrato la relazione tra portate e pressioni:

$$\Delta H = \pm \frac{a}{gS} \Delta Q$$

in cui S è la sezione utile della condotta.

Il metodo di Bergeron, che ora non verrà approfondito, si applica ipotizzando la presenza di un osservatore interno alla condotta che si muove con la velocità della celerità della perturbazione.

Alcune considerazioni importanti si possono fare per quanto riguarda la cavitazione, essendo questa una condizione che non si vuole si realizzi nella condotta.

Se ci si trova nel caso in cui:

$$\frac{av}{g} < H_g + J + P_a$$

Dove H_g è la pressione statica o la quota statica, J è la perdita di carico totale, P_a è la pressione atmosferica.

In questo caso non si verifica la cavitazione e la sovrapressione massima è quella calcolabile con la formula di Allievi.

Se invece:

$$\frac{av}{g} > H_g + J + P_a$$

In questo caso si verifica la cavitazione e la sovrapressione è:

$$\Delta H_{max} = Y \frac{av}{g}$$

Y è un fattore compreso tra 1 e 3 e dipende dalla sua relazione con un altro parametro X. Si considerano valide le seguenti relazioni:

$$Y = \frac{X + 2}{X}$$

$$X = \frac{\frac{av}{g}}{H_g + J + P_a}$$

10.1.5 Altri metodi di calcolo

Oltre ai metodi di calcolo precedentemente citati, ne esistono degli altri più complessi matematicamente come il metodo delle caratteristiche e degli elementi finiti. Esistono programmi commerciali che permettono di eseguire le verifiche per mezzo di questi metodi.

10.2 L'aria nelle tubazioni

Una valutazione importante che deve essere fatta nel dimensionamento delle tubazioni è il calcolo dell'aria che queste ultime possono contenere. L'aria può essere introdotta quando si riempie la tubazione, quando si avvia una pompa oppure quando si vuota la tubazione.

L'aria, essendo un elemento di basso peso molecolare, si posiziona sempre nelle parti alte delle condotte. Qui si può accumulare e far diminuire considerevolmente la sezione di passaggio dell'acqua e quindi la portata.

Inoltre quest'aria può raggiungere anche pressioni elevate e portare alla rottura del tubo. La pressione finale raggiunta dall'aria dipende dal diametro del tubo, dalla velocità di circolazione dell'acqua, dal volume di aria accumulato e dalla situazione della massa d'aria.

Per valutare l'entità di tale sovrappressione, si utilizza la formula di Boyle Mariotte.

Si consideri un volume di 100 litri, in una tubazione di 250mm di diametro e a 1000 m di lunghezza, supponendo che la pressione ad un estremo della condotta sia di 2 atm. Si ipotizzi inoltre che la velocità dell'acqua sia di 1,5 m/s.

La massa d'acqua sarà:

$$\frac{P}{g} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} L\gamma}{g} = 5001 \text{ kg}$$

E quindi l'energia cinetica associata:

$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 = 5626 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Questa energia cinetica si trasforma in lavoro di compressione dell'aria che si trova nella tubazione secondo la legge di Boyle Maiotte:

$$PV = P'V'$$

Si possono quindi uguagliare le espressioni del lavoro fornito e assorbito:

$$\frac{1}{2} mv^2 = PV\text{Ln}\frac{P'}{P}$$

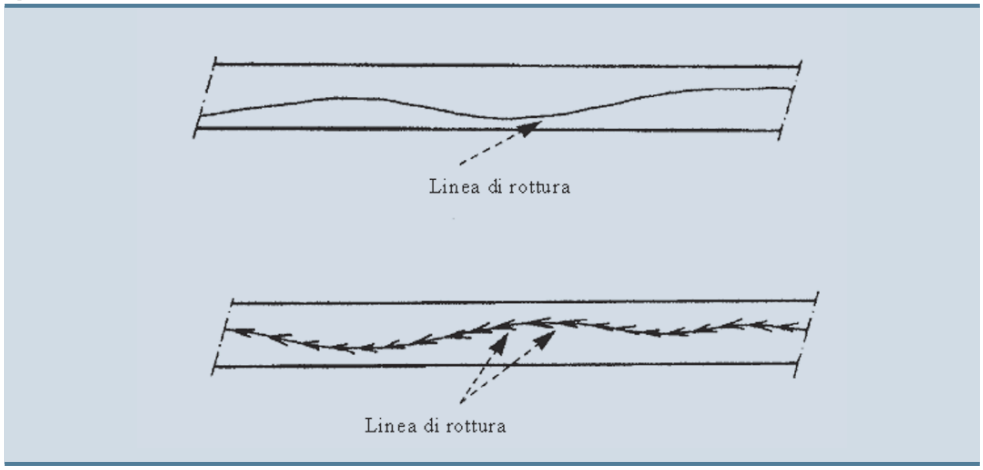
Da cui si ottiene:

$$P'=33{,}3 \text{ atm}$$

Questa pressione facilmente produrrà la rottura della tubazione.

Se la tubazione non è interrata essa esploderà, altrimenti si verificherà una rottura del tipo rappresentato in figura.

Figura 10.3



Per evitare tali inconvenienti, si dovrà cercare di eliminare la totalità dell'aria al suo interno e utilizzare i mezzi necessari affinché, una volta eliminata l'aria, questa non possa penetrare nuovamente. Si dovranno quindi collocare delle valvole di sfiato nelle parti alte delle condotte in modo da evitare la presenza di aria.

11 Posa in opera

11.1 Posa in opera delle tubazioni

In generale, il grande vantaggio offerto dai tubi in materiale plastico è di essere particolarmente leggeri anche in presenza di grandi diametri. Tuttavia, alcune volte, un manufatto che si presenta estremamente leggero rischia di essere movimentato in modo superficiale e scorretto al punto tale che la sua integrità rischia di essere compromessa definitivamente. Questo rischio è spesso generato da una scarsa informazione di coloro che materialmente eseguono in cantiere tutte le fasi di scarico, movimentazione e posa in opera.

11.2 Raccomandazioni

11.2.1 Trasporto e accatastamento

I tubi in PVC rigido possono essere spediti e consegnati in imballi contenitivi in legno. A partire dal diametro 630 mm compreso, i tubi non sono imballati.

Nel trasporto, bisogna supportare i tubi per tutta la loro lunghezza onde evitare di danneggiarne le estremità a causa delle vibrazioni.

Si devono evitare urti, inflessioni e sporgenze eccessive, contatti con corpi taglienti ed acuminati. Le imbracature per il fissaggio del carico possono essere realizzate con funi o bande di canapa, di nylon o similari; se si usano cavi d'acciaio, i tubi devono essere protetti nella zone di contatto. Si deve fare attenzione affinché i tubi, generalmente provvisti di giunto ad una delle estremità, siano adagiati in modo che il giunto non provochi una loro inflessione. Se necessario si può intervenire con adatti distanziatori tre tubo e tubo.

È buona norma, nel caricare i mezzi di trasporto, procedere ad adagiare prima i tubi più pesanti, onde evitare la deformazione di quelli più leggeri.

Qualora il trasporto venga effettuato su autocarri, è buona norma che i tubi non sporgano più di un metro dal piano del carico. Per lo scarico dai mezzi d trasporto, i tubi devono essere sollevati nella zona centrale con un bilancino di ampiezza adeguata.

Durante la movimentazione in cantiere e soprattutto durante il posizionamento lungo gli scavi, si deve evitare il trascinamento dei tubi sul terreno. Ciò potrebbe infatti provocare danni irreparabili dovuti a rigature profonde prodotte da sassi o da altri oggetti acuminati.

I tubi lisci devono essere immagazzinati su superfici piane prive di parti taglienti e di sostanze che potrebbero intaccare i tubi.

I tubi bicchierati, oltre alle avvertenze di cui sopra, devono essere accatastati su traversine in legno, in modo che i bicchieri della fila non subiscano deformazioni; inoltre i bicchieri stessi devono essere sistemati alternativamente dall'una e dall'altra parte della catasta in modo da essere sporgenti. In questo modo i bicchieri non subiscono sollecitazioni ed i tubi si presentano appoggiati lungo un'intera generatrice. I tubi non devono essere accatastati ad una altezza superiore ad 1,50 m (qualunque sia il loro diametro), per evitare possibili deformazioni nel tempo.

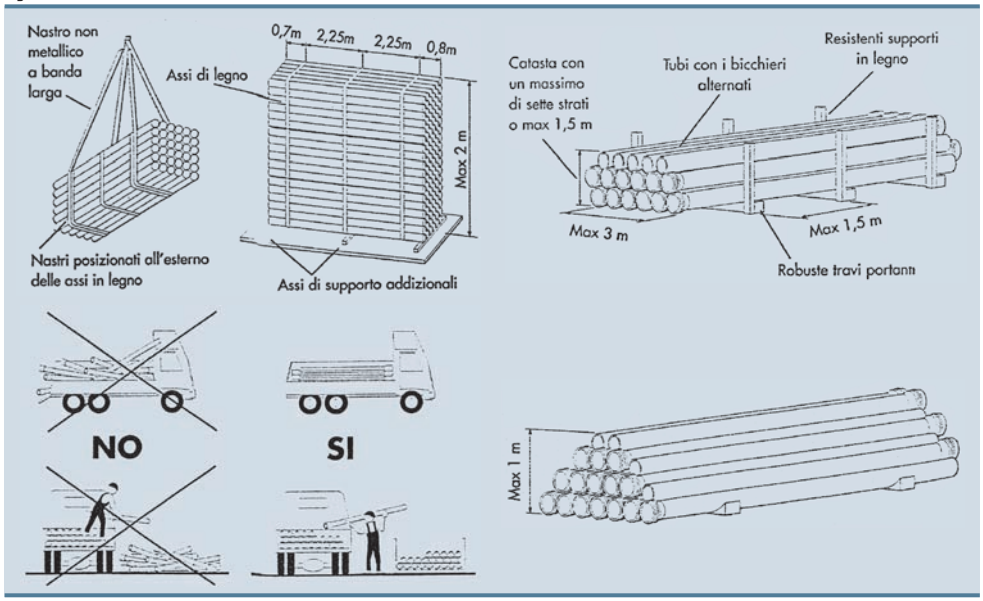
Se i tubi non vengono adoperati per un lungo periodo, devono essere protetti dai raggi solari diretti con schermi opachi che però non impediscano una regolare aerazione.

Qualora i tubi venissero spediti in fasci legati con gabbie, le traversine devono passare una sull' altra e non sui tubi ed inoltre è opportuno seguire per il loro accatastamento, le istruzioni del produttore. Nei cantieri dove la temperatura ambientale può superare agevolmente e per lunghi periodi la temperatura di 25°C, è da evitare l'accatastamento di tubi infilati l'uno nell'altro. Ciò provocherebbe certamente l'ovalizzazione, per eccessivo peso, dei tubi sistemati negli strati inferiori.

Infine è da tenere presente che alle basse temperature aumentano le possibilità di rottura per i tubi di PVC. In queste condizioni climatiche le operazioni di movimentazione (trasporto, accatastamento, posa in opera, ecc.) devono essere effettuate con maggior cautela.

I raccordi e gli accessori vengono generalmente forniti in appositi imballaggi. Se invece sono sfusi, si dovrà evitare, in fase di immagazzinamento e di trasporto, di ammucchiarli disordinatamente così come si dovrà evitare che possano deformarsi o danneggiarsi per urti tra loro o con altri materiali pesanti.

Figura 11.1



11.3 Installazione interrata

11.3.1 Classifica degli scavi

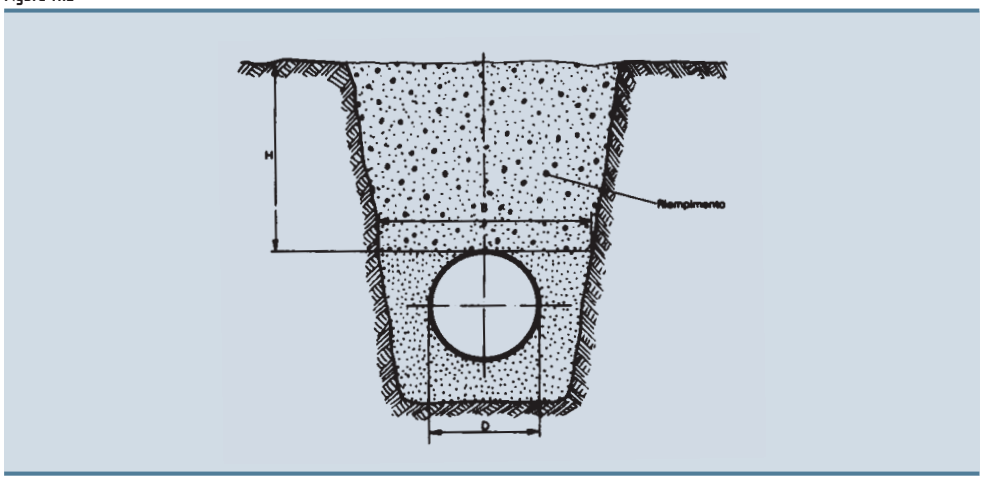
In sede di progetto, il tipo di scavo da realizzare è strettamente connesso alla valutazione del carico, al tipo di terreno, alla squadra di operai che si intende utilizzare. In sede esecutiva, quindi, è necessario la corrispondenza scrupolosa tra disegno ed effettiva realizzazione.

Si riporta di seguito una classificazione in base agli elementi geometrici degli scavi normalmente utilizzati, evidenziandone le caratteristiche applicative.

Trincea stretta

Questa è la migliore sistemazione nella quale collocare un tubo di PVC, in quanto viene alleggerito dal carico sovrastante, riuscendo a trasmetter parte di esso al terreno circostante in funzione della deformazione per schiacciamento alla quale il manufatto è sottoposto.

Figura 11.2



Trincea larga

Il carico sul tubo è sempre maggiore di quello relativo alla sistemazione in trincea stretta. Per questo motivo, in fase di progettazione, si consiglia di partire da questa ipotesi.

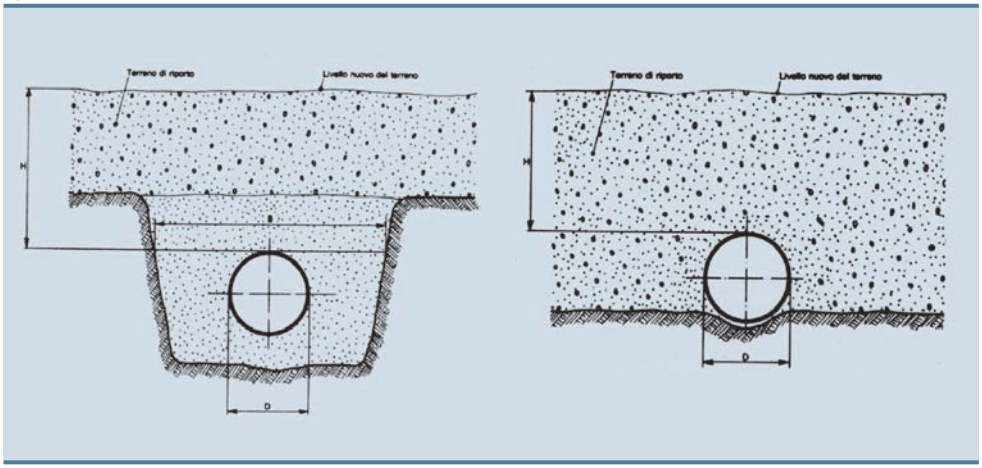
Terrapieno (posizione positiva)

La posizione del tubo sporge sul livello naturale del terreno. L'assenza di fianchi, anche naturali, nello scavo ed il relativo cedimento del terreno, impediscono normalmente la possibilità di impiegare questo metodo nel carico di mezzi pesanti.

Terrapieno (posizione negativa)

La tubazione è posizionata ad un livello inferiore di quello naturale del terreno. A motivo di una frizione piuttosto modesta in atto tra il materiale di riempimento sistemato a terrapieno ed i fianchi naturali

Figura 11.3



dello scavo. Il tubo può sopportare carichi leggermente superiori a quelli della posizione positiva, ma in ogni caso inferiori a quello sopportabili nella trincea stretta ed a trincea larga.

Nella seguente tabella si sintetizza la suddivisione appena descritta:

Tabella 11.1

	Tipo di trincea	*B*
Trincea stretta	≤3D	<H/2
Trincea larga	>3D; <10D	<H/2
Trincea infinita	≥10D	≥H/2

in cui *D* è il diametro esterno della tubazione, *B* la larghezza della trincea a livello della generatrice superiore del tubo e *H* è l'altezza del riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo.

11.3.2 Profondità della trincea

La profondità della trincea è determinata dalla pendenza da imporre alla tubazione e/o alla protezione che si intende fornire alla medesima. La profondità, in generale, deve essere maggiore di entrambi i seguenti valori:

$$H \geq 1{,}0\text{m e} \geq 1{,}5D$$

Per tubi sotto franco stradale o sotto terrapieno.

Negli altri casi sarà:

$$H \geq 0{,}5\text{m e} \geq 1{,}5D$$

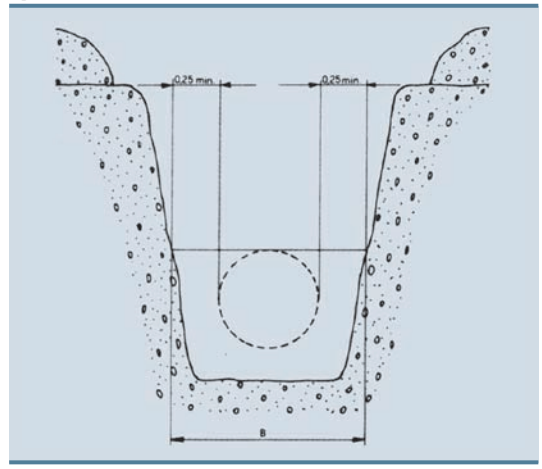
Non possono essere comunque utilizzati tubi per $H \leq 0{,}8$ m.

La larghezza minima del fondo è di norma:

$$B = D+0{,}5 \text{ m (per } D \leq 400 \text{ mm)} \quad \text{e}$$
$$B=2\,D \text{ (per } D \geq 500 \text{ mm)}$$

11.3.3 Larghezza della trincea

Figura 11.4



Viene determinata dalla profondità di posa e dal diametro della tubazione, dovendo essere tale da consentire la sistemazione del fondo, la congiunzione dei tubi e naturalmente l'agibilità del personale. In ogni caso la trincea è tanto più efficiente quanto minore è la sua larghezza

11.3.4 Fondo della trincea

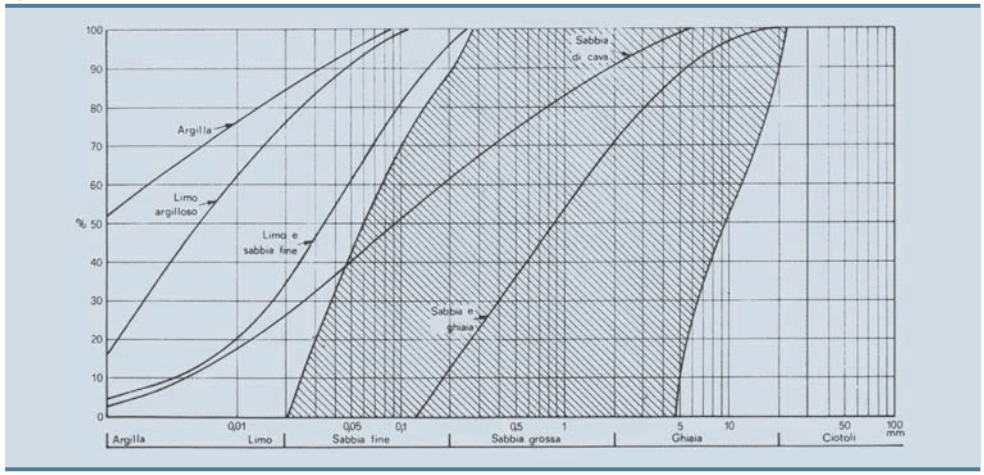
È costituito da materiale riportato (normalmente sabbia), in modo da costituire un supporto continuo alla tubazione. Si sconsigliano, in quanto possibile, fondi costituiti da gettate di cemento o simili. Predisporre, alle prevedibili distanze, opportune nicchie per l'alloggiamento dei giunti, in modo che anche questi siano opportunamente supportati. In questa operazione si deve controllare la pendenza della tubazione.

11.3.5 Letto di posa

Il letto di posa non deve essere costituito prima della completa stabilizzazione del fondo della trincea. Il materiale adatto per il letto di posa e successivamente per il rinfianco quello indicato dal diagramma seguente e delimitato dall'area tratteggiata.

In pratica il materiale più adatto è costituito da ghiaia o da pietrisco con diametro 10-15 mm oppure da sabbia mista a ghiaia con diametro massimo di 20 mm. Il materiale impiegato deve essere accuratamente compattato in modo da ottenere l'indice Proctor prescritto. L'altezza minima del letto di posa è 0,10 m oppure D/10 dove D è il diametro nominale del tubo.

Figura 11.5



11.3.6 Posa del tubo

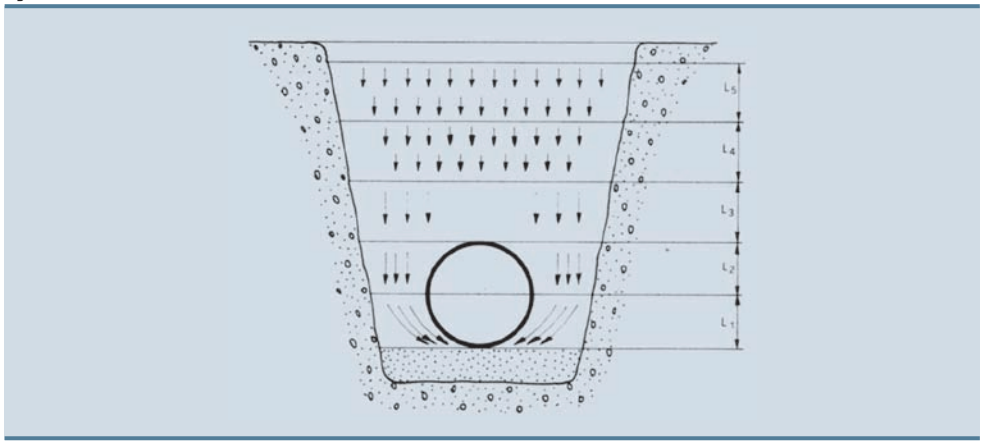
Prima di procedere alla posa in opera, i tubi devono essere controllati uno ad uno per scoprire eventuali difetti. Le code, i bicchieri, le guarnizioni devono essere integre.

I tubi e i raccordi devono essere sistemati sul letto di posa in modo da avere un contatto continuo con il letto stesso. Le nicchie precedentemente scavate per l'alloggio devono, se necessario, essere accuratamente riempite, in modo da eliminare eventualmente spazi vuoti sotto i bicchieri stessi.

11.3.7 Riempimento

Il riempimento della trincea ed in generale dello scavo è l'operazione fondamentale della posa in opera. Infatti, trattandosi di tubazioni in PVC e quindi flessibili, l'uniformità del terreno circostante è fondamentale per la corretta realizzazione di una struttura portante, in quanto il terreno, deformato dalla tubazione, reagisce in modo da contribuire a sopportare il carico imposto.

Figura 11.6



Il materiale già usato per la costituzione del letto verrà sistemato attorno al tubo e compattato a mano per formare strati successivi di 20-30 cm fino alla mezzeria del tubo, avendo la massima cura nel verificare che non rimangano zone vuote sotto al tubo e che anche il rinfianco tra tubo e parete dello scavo sia continuo e compatto (strato L_1). Durante tale operazione verranno recuperate le eventuali impalcature posate per il contenimento delle pareti di scavo.

Il secondo strato di rinfianco L_2 giungerà fino alla generatrice superiore del tubo. La sua compattazione dovrà essere eseguita sempre con la massima attenzione. Il terzo strato L_3 giungerà da una quota superiore per 15 cm a quella della generatrice più alta del tubo. La compattazione avverrà solo lateralmente al tubo, mai sulla verticale. L'ulteriore riempimento (strati L_4 e L_5) sarà effettuato con il materiale proveniente dallo scavo, depurato dagli elementi di diametro superiore a 10 cm e dai frammenti vegetali e animali. Gli elementi con diametro superiore a 2 cm, presenti in quantità superiore al 30% devono essere eliminati, almeno per l'aliquota eccedente tale limite. Le terre difficilmente comprimibili (morbose, argillose, ghiacciate) sono da scartare (vedi diagramma precedente).

Il riempimento deve essere eseguito per strati successivi di spessore pari a 30 cm che devono essere compattati ed eventualmente bagnati per lo spessore di 1 m (misurato dalla generatrice superiore del tubo). L'indice Proctor risultante deve essere superiore a quello previsto dal progettista.

Infine, va lasciato uno spazio libero per l'ultimo strato di terreno vegetale.

Figura 11.1 - *Questo diagramma è riferito ad un materiale arido, non plastico a spigoli vivi e granulometricamente assortito.*

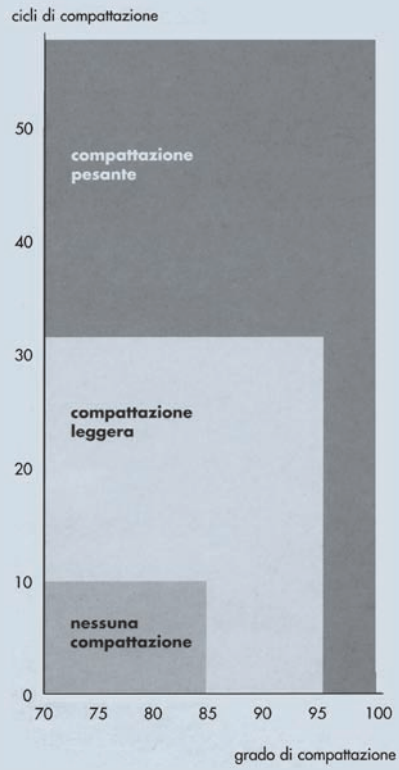


Tabella 11.2

Descrizione	Grado di consolidamento/compattazione			
Proctor standard [1]	≤ 80	da 81 a 90	da 91 a 94	da 95 a 100
Conto dei colpi	da 0 a 10	da 11 a 30	da 31 a 50	> 50
Valore atteso del grado di consolidamento raggiunto dalla classe di compattazione	NO (N)			
		MODERATO (M)		
			BUONO (W)	
Terreno granulare	sciolto	mediamente denso	denso	molo denso
Terreno coesivo e organico	morbido	fermo	rigido	duro

[1] Determinato secondo la DIN 18127.

11.4 Installazione aerea

L'installazione aerea delle tubazioni è molto comune negli impianti industriali, perché permette una migliore accessibilità e una dislocazione più razionale delle apparecchiature.

È molto importante proteggere la tubazione dalle radiazioni solari che potrebbero incidere direttamente sulla tubazione e che potrebbero modificare il suo comportamento. Il sostegno deve essere realizzato mediante sostegni in materiale adeguato e si dovrà evitare di stringere gli anelli di sostegno in modo eccessivo per evitare deformazioni che potrebbero essere dannose. Si osserva inoltre che le tubazioni in PVC rigido potrebbero rompersi se il liquido interno gela, per cui si dovranno installare valvole di evacuazione del liquido nelle zone soggette a gelate.

11.4.1 Distanza tra i supporti

Per fare in modo che l'appoggio sia il più uniforme possibile, si consiglia di posizionare i supporti secondo le distanze riportate nella tabella seguente. La tabella tiene conto anche dell'influenza della temperatura sulla distanza tra i centri dei supporti.

Tabella 11.3 - *Distanze tra i supporti in millimetri.*

Diametro esterno del tubo	Distanza supporti per acqua a temperature differenti						
	Tubi orizzontali						Tubi verticali
d_e	20 °C	25 °C	30 °C	35 °C	40 °C	45 °C	20 °C to 45 °C
16	750	670	600	500	400	–	800
20	850	770	700	600	500	–	900
25	900	820	750	650	550	500	1000
32	1000	920	850	750	650	570	1200
40	1100	1050	1000	900	800	700	1400
50	1250	1200	1150	1050	950	820	1600
63	1400	1350	1300	1200	1100	970	1800
75	1500	1450	1400	1300	1200	1070	2000
90	1650	1600	1550	1450	1350	1200	2200
110	1850	1800	1750	1650	1550	1370	2400
140	2150	2100	2050	1950	1850	1720	2500
160	2250	2200	2150	2070	2000	1850	2500
225	2500	2450	2400	2320	2250	2120	2500

Un altro fattore di cui si deve tenere conto è l'espansione o la contrazione delle tubazioni in PVC rigido, il cui coefficiente di dilatazione termica lineare si considera pari a 0,08 mm per metro di lunghezza per grado centigrado di variazione di temperatura. Nel grafico seguente si possono trovare le variazioni di lunghezza della tubazione.

Inoltre si deve tenere conto di questa variazione di lunghezza, prevedendo una opportuna distanza flessibile *a* che deve essere in grado di assorbire tale variazione. Il grafico seguente permette tale dimensionamento.

Si riportano ora di seguito alcune prescrizioni per quanto riguarda il corretto posizionamento dei supporti per le tubazioni aeree, secondo la norma EN 1452-6.

Figura 11.8

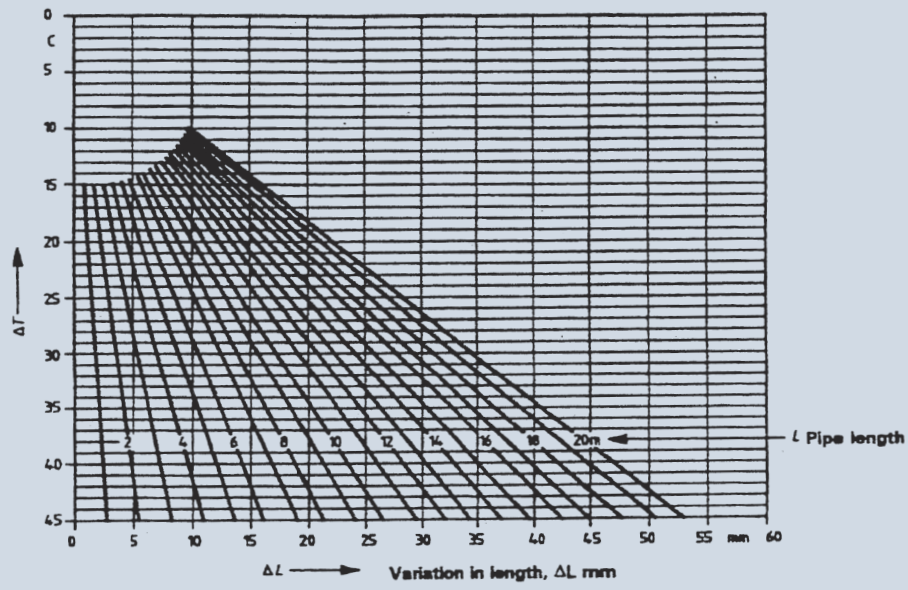


Figura 11.9

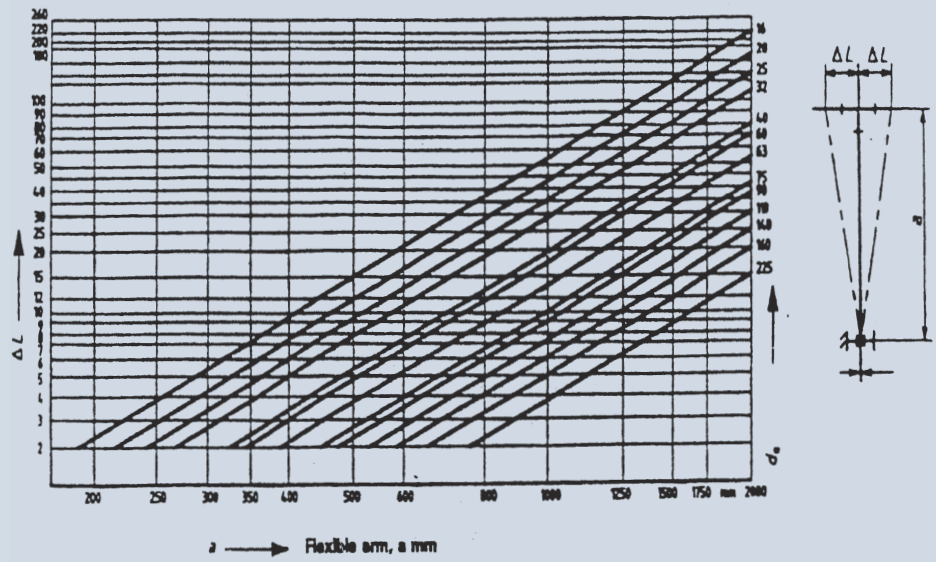


Figura 11.10

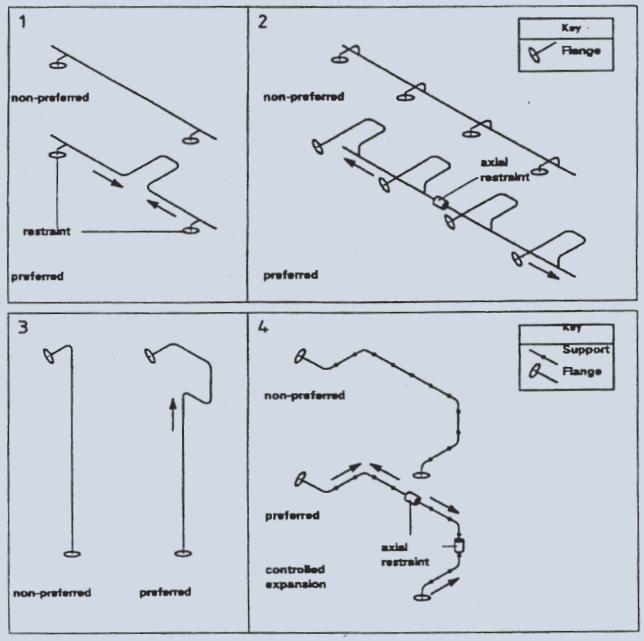
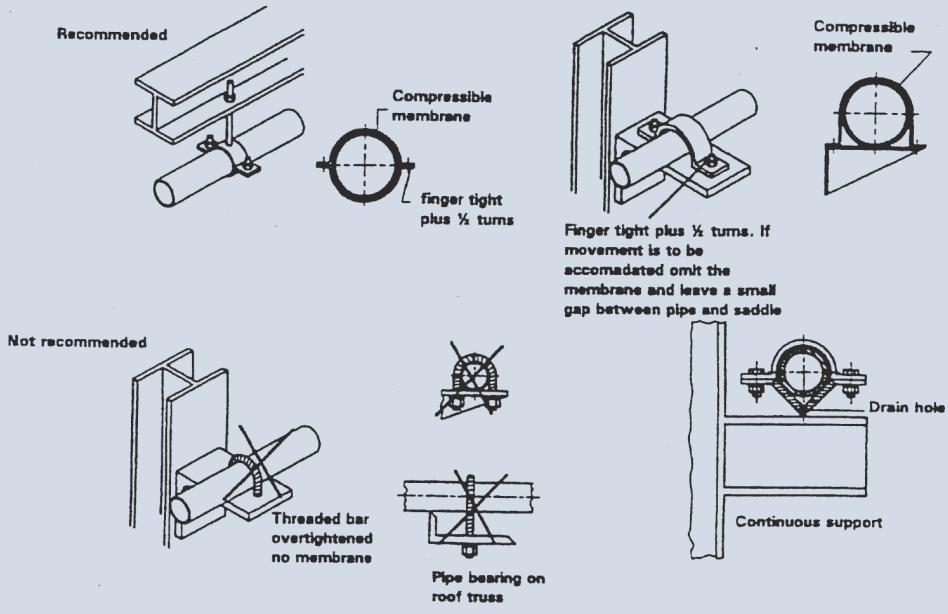


Figura 11.11



11.4.2 Installazione aerea di tubazioni di evacuazione acque nere domestiche

Le tubazioni di PVC sono molto utilizzate per l'evacuazione delle acque nere domestiche. In alcune installazioni, queste tubazioni si possono anche trovare posizionate sulle pareti verticali. In questi casi, si dovranno tenere presente le seguenti precauzioni:

1. Utilizzare una serie di tubazioni adatta al campo di applicazione secondo la norma UNI EN 1329 per l'utilizzo all'interno degli edifici;
2. la temperatura massima che circola nelle tubazioni in regime permanente deve essere di 45°C. Le tubazioni in PVC possono tollerare anche gli scarichi di elettrodomestici fino a 90°C senza deteriorarsi né subire perdita di qualità.
3. Le curve, i cambi di direzione, gli innesti di altre tubazioni devono essere eseguiti mediante accessori appositi.
4. L'unione delle tubazioni con gli apparecchi idraulici dovrà essere realizzata mediante accoppiamento elastico.
5. Il passaggio della tubazione di PVC attraverso i muri può essere realizzato mediante 'passa muri' che si possono effettuare con tubazioni in PVC con diametro interno superiore di quello della tubazione da proteggere.

Il fissaggio dei tubi alle pareti devono essere effettuati mediante sostegni o anelli che possano permettere la dilatazione. Si riportano le distanze consigliate nella tabella 11.3.

Tabella 11.4

Diametro tubazione	*Installazione verticale (m)*	*Installazione orizzontale (m)*
■ 32	1,2	0,32
■ 40	1,2	0,40
■ 50	1,5	0,50
■ 75	2,0	0,75
■ 90	2,0	0,90
■ 110	2,0	1,10
■ 125	2,0	1,25
■ 160	2,0	1,60

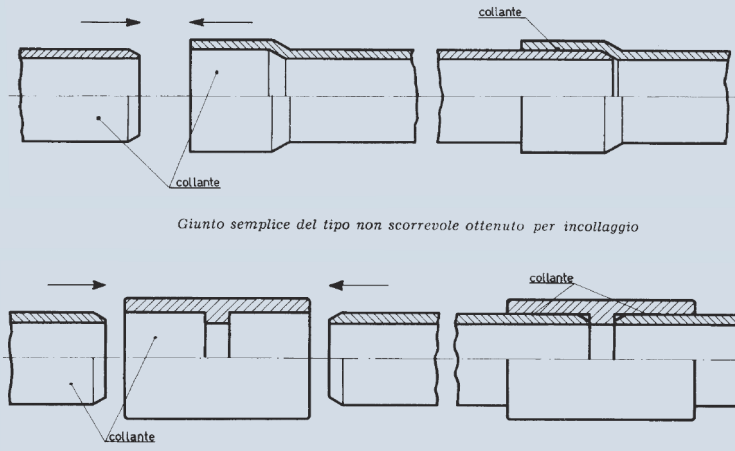
Per permettere la dilatazione dei tubi si devono posizionare giunti di dilatazione ogni tre piani o quando le condizioni di progetto lo prevedano.

11.5 Giunzione delle tubazioni

I tubi e i raccordi in PVC possono essere uniti tra loro mediante sistemi di diverso tipo, tanto che ogni azienda sviluppa propri giunti per assicurare una maggiore tenuta e facilità di installazione. Si riassumono di seguito le principali tipologie di giunto, che possono essere:

1. di tipo rigido:
   - con giunti a bicchiere ricavati sul tubo stesso da incollare;
   - con manicotti a doppio bicchiere da incollare;

Figura 11.12



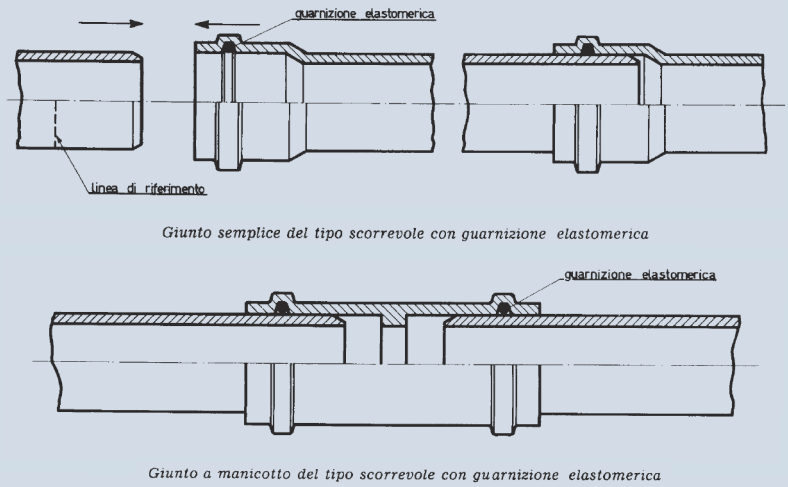
Giunto semplice del tipo non scorrevole ottenuto per incollaggio

Giunto a manicotto del tipo non scorrevole ottenuto per incollaggio

2. di tipo elastico;
   - con manicotto a doppio bicchiere a tenuta mediante giunzione elastomerica;
   - con giunti a bicchiere ricavati sul tubo stesso a tenuta mediante guarnizione elastomerica.

   La guarnizione deve essere conforme alla norma UNI EN 681.

Figura 11.13



Giunto semplice del tipo scorrevole con guarnizione elastomerica

Giunto a manicotto del tipo scorrevole con guarnizione elastomerica

3. giunzioni con manicotto a vite;
4. giunzioni rapide con bigiunto e guarnizioni elastomeriche;
5. giunti a serraggio meccanico con tenuta mediante guarnizioni elastomeriche:

- giunti di tipo 'Gibault';
- giunti con ancoraggio mediante anelli o ghiere di graffaggio.

6. giunti a flangia libera con collare di appoggio o fissa.
7. giunzione mediante guarnizioni elastomeriche integrate nella tubazione di PVC.

I giunti di tipo rigido verranno impiegati soltanto quando il progettista lo riterrà opportuno. In questi casi si avrà cura di valutare le eventuali dilatazioni termiche lineari i cui effetti possono essere assorbiti interponendo appositi giunti di dilatazione a intervalli regolari in relazione alle effettive condizioni di esercizio.

I manicotti saranno preferibilmente di PVC rigido. Essi possono avere, o non, un arresto anulare interno nella parte centrale. L'assenza di tale dispositivo consente l'inserimento nella canalizzazione di nuove derivazioni e l'esecuzione di eventuali riparazioni.

11.5.1 Giunzioni di tipo rigido

Si dovranno osservare le seguenti prescrizioni:

- eliminare le bave nella zona di giunzione;
- eliminare ogni impurità dalle zone di giunzione;
- rendere uniformemente scabre le zone di giunzione, trattandole con carta o tela smerigliate di grana media;
- completare la preparazione delle zone da incollare sgrassandole con solventi adatti;
- mescolare accuratamente il collante nel suo recipiente prima di usarlo;
- applicare il collante nelle zone approntate, ad avvenuto essiccamento del solvente, stendendolo longitudinalmente, senza eccedere, per evitare indebolimenti della giunzione stessa;
- spingere immediatamente il tubo, senza ruotarlo nell'interno del bicchiere e mantenerlo in tale posizione per 10 secondi;
- asportare l'eccesso di collante dall'orlo del bicchiere;
- attendere almeno un'ora prima di maneggiare i tubi giuntati;
- effettuare le prove di collaudo solo quando siano trascorse almeno 24 ore.

11.5.2 Giunzioni di tipo elastico

Si dovranno osservare le seguenti indicazioni:

- provvedere ad una accurata pulizia delle parti da congiungere, assicurandosi che siano integre;
- togliere provvisoriamente la guarnizione elastomerica qualora fosse presente nella sua sede;
- segnare sulla parte maschio del tubo (punta), una linea di riferimento. A tale scopo si introduce la punta nel bicchiere fino a rifiuto, segnando la posizione raggiunta. Si ritira il tubo di 3 mm per ogni metro di interasse. Tra due giunzioni (in ogni caso tale

ritiro non deve essere inferiore a 10 mm), si segna sul tubo la nuova posizione che costituisce la linea di riferimento prima accennata;

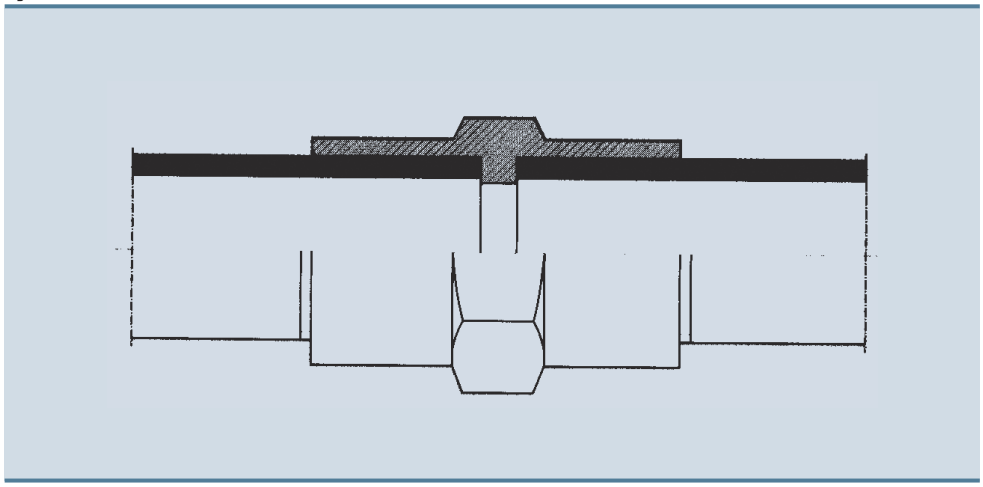
- inserire in modo corretto la guarnizione elastomerica di tenuta nella sua sede nel bicchiere;
- lubrificare la superficie interna della guarnizione e la superficie esterna della punta con apposito lubrificante (grasso od olio siliconato, vaselina, acqua saponosa, ecc.);
- infilare la punta nel bicchiere fino alla linea di riferimento, facendo attenzione che la guarnizione non esca dalla sua sede. La perfetta riuscita di questa operazione dipende esclusivamente dal preciso allineamento dei tubi e dall'accurata lubrificazione;
- le prove di collaudo possono essere effettuate non appena eseguita la giunzione

11.5.3 Giunzione con manicotto a vite

Questo tipo di giunzione si applica sui tubi con estremità filettata (filettatura tipo 'serie gas') o liscia filettabile. Possono anche essere uniti tubi di PVC rigido con tubi e pezzi speciali di materiali metallici con filettatura serie gas e tubi di PVC rigido con tubi e pezzi speciali sempre in PVC rigido.

La tenuta stagna si ottiene avvolgendo del nastro di Politetrafluoroetilene (teflon) sulla estremità maschio; il nastro deve essere disposto a spirale nel senso dell'avvitatura e tenuto ben teso anche durante l'avvolgimento. È assolutamente da evitare l'uso di canapa, stoppa, filaci e vernici, in quanto la compressione forzata di tali materiali può provocare la rottura di uno degli elementi sia in fase di montaggio, sia successivamente durante l'esercizio.

Figura 11.14

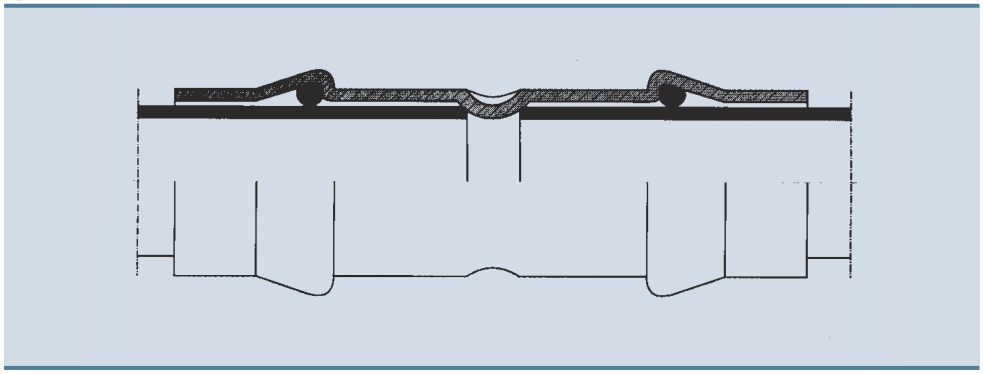


11.5.4 Giunzione rapida con bigiunto e guarnizioni elastomeriche

Questo tipo di giunzione viene utilizzata spesso nella riparazione delle condotte.

È disponibile per i diametri da 63 a 315 mm per una pressione di esercizio massima di 16 bar. Il bigiunto è un pezzo stampato, calibrato in modo che gli spessori siano in ogni sezione idonei a sopportare la pressione di esercizio per la quale il giunto è fabbricato. Le proscrizioni da seguire per l'installazione sono le stesse dei giunti di tipo elastico.

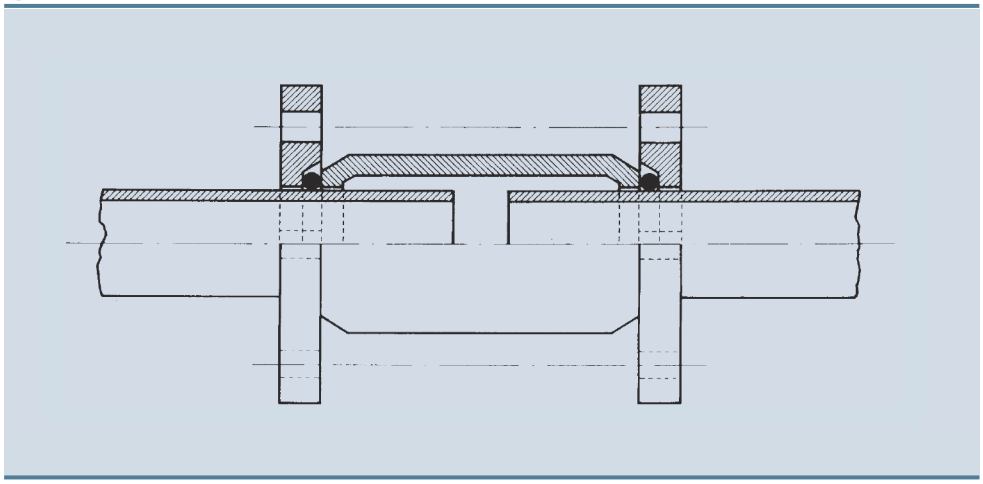
Figura 11.15



11.5.5 Giunti a serraggio meccanico

Giunto tipo 'Gibault'

Figura 11.16

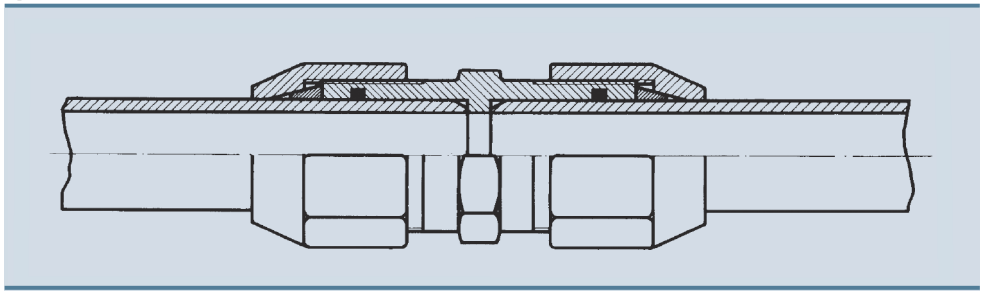


Qualunque sia la forma esterna ed il tipo di serraggio con cui questo giunto è realizzato è necessario che la sua lunghezza utile, ossia la distanza assiale fra le due guarnizioni, sia non inferiore alla somma delle massime possibili variazioni lineari dei due tronche da congiungere più una quantità variabile dai 30 ai 100 mm in relazione al diametro dei tronchi stessi. Le precauzioni da seguire per l'installazione sono le seguenti:

- provvedere ad una accurata pulizia delle parti da congiungere;
- assicurarsi che esse siano integre;
- infilare le due estremità nel giunto metallico assicurandosi che ciascuna di esse sia introdotta per una lunghezza corrispondente ad almeno 1/3 della lunghezza del manicotto senza però che vengano a contatto fra di loro;
- infilare i bulloni, le rondelle ed i dadi attuandone il serraggio a croce.

Giunto con ancoraggio mediante anello o ghiera di graffaggio

Figura 11.17



Si dovranno osservare le seguenti indicazioni:

- tagliare il tubo della lunghezza richiesta. Per il montaggio dei raccordi di misure medie e grandi, la parte terminale del tubo dovrà essere smussata accuratamente;
- 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;
- infilare il tubo nel corpo del raccordo fino a che non oltrepassi la guarnizione tiroidale 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 toriodale elastomerica;
- accostare l'anello di serraggio conico al corpo del raccordo, Per far scivolare meglio l'anello di serraggio, dilatarlo con un cacciavite;
- avvitare strettamente la ghiera al corpo del raccordo. Per il serraggio finale, per le misure medie e grandi, dovrà essere usata una chiave a nastro.

11.5.6 Giunto a flangia libera con collare di appoggio o fissa

Anche per questo tipo di giunto si deve tenere in conto quanto affermato per quanto riguarda il giunto di tipo 'Gibault'.

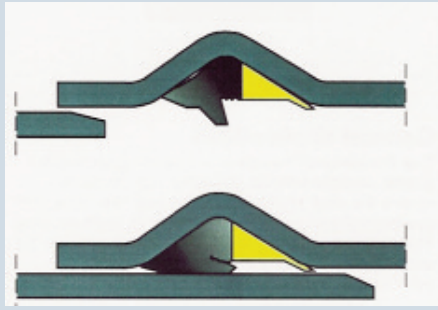
Si osservino le seguenti indicazioni:

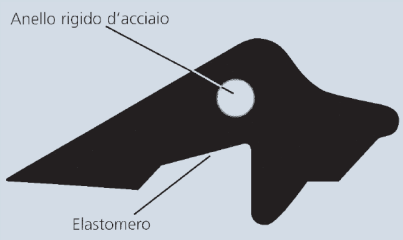
- infilare la flangia libera nell'estremità del tubo;
- unire il collare d'appoggio al tubo procedendo come descritto per il giunto rigido a incollaggio;
- disporre la guarnizione elastomerica nell'apposita scanalatura del collare;
- bullonare effettuando il serraggio a croce.

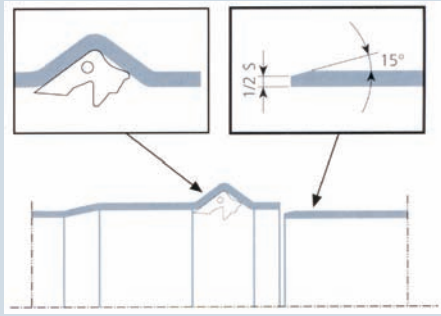
11.5.7 Giunzione mediante guarnizioni elastomeriche integrate nella tubazione di PVC

Le giunzioni mediante guarnizioni elastomeriche integrate nelle tubazioni in PVC sono un nuovo metodo di collegamento che offre molti benefici sia in produzione che in installazione aiutando a prevenire le perdite di acqua. In queste tubazioni la guarnizione è integrata all'interno del bicchiere già durante la produzione e non dovrà più essere tolta in fase di montaggio. Questo sistema facilita molto la fase di installazione, riducendo il rischio dello spostamento accidentale della guarnizione o di contamina-

zione. Inoltre, anche i grandi diametri possono essere giuntati senza dover disporre di particolari attrezzature.







La giunzione è costituita da due parti, una in EDPM e una in polipropilene o acciaio. La prima è la guarnizione flessibile vera e propria, la seconda invece è un rinforzo e tiene la guarnizione fissa al suo posto. Le guarnizioni rispondono alla Norma EN 681.

Cicli di pressione positiva e negativa possono aumentare il rischio di perdite e per mettere l'ingresso di sabbia o di sporcizia. Queste nuove giunzioni sono molto efficaci sia sottoposta a pressione negativa che positiva.

Quando è sottoposta a pressione positiva la sezione di gomma è compressa verso l'esterno della tubazione, fornendo così una sigillatura ancora migliore.

Sotto pressione negativa, la sezione in gomma è spinta verso l'interno. Si espande radicalmente serrando efficacemente la giunzione.

L'azione del bordo frontale in gomma evita che la sabbia possa entrare all'interno della tubazione.

Quando la tubazione è sottoposta sia a pressione positiva che negativa il rinforzo pre posizionato durante le operazioni di formatura del bicchiere, mantiene la guarnizione nella sua posizione corretta.

I due elastomeri utilizzati per realizzare la guarnizione sono stati scelti appositamente per applicazione in tubi che trasportano acqua potabile. Non subiscono corrosione e sono resistenti in suoli aggressivi.

Le tubazioni dotate di questi sistemi di giunzione sono disponibili con diametri da 63 a 400 mm e sono testate a 40 bar.

Esistono tubazioni con analogo sistema di giunzione anche per tubazioni non in pressione.

11.5.8 Esecuzione delle giunzioni

Il tubo alla sua estremità liscia deve essere tagliato normalmente al suo asse con una sega a denti fini oppure con una fresa. L'estremità così ricavata, per essere introdotta nel rispettivo bicchiere (per effettuare sia una giunzione rigida sia una giunzione elastica), deve essere smussata secondo un'angolazione precisata dal produttore (normalmente 15°), mantenendo all'orlo uno spessore (crescente col diametro), anch'esso indicato dal produttore.

11.6 Riparazione delle tubazioni in PVC

Per riparare una tubazione difettosa, si utilizzano due manicotti scorrevoli seguendo lo schema di seguito indicato:

- identificare tutta la zona di tubo difettosa e la si asporta;
- tagliare di netto e smussare le estremità dei due tubi che restano in opera;
- introdurre nelle due estremità i manicotti scorrevoli di riparazione;
- interporre, su un letto di posa correttamente preparato, uno spezzone di tubo, di lunghezza appropriata;
- far scorrere i manicotti nella loro posizione finale;
- reinterrare con cura in modo da avere gli stessi valori dell'indice Proctor della vecchia tubazione.

12 Prove di collaudo

Scopo del collaudo è quello di verificare l'efficienza e la funzionalità idraulica di un collettore posato in opera. In particolare si dovrà verificare:

- la deformazione diametrale;
- la perfetta tenuta idraulica della tubazione in accordo con quanto previsto dalla legge Merli n.319 del 10/05/76 (supplemento G.U. n. 48 del 21/2/77 punto 1) e dal D.M. 12.12.85.

Le prove suddette devono essere opportunamente programmate ed effettuate con il progredire dei lavori di posa della canalizzazione, a discrezione della direzione dei lavori.

Per quanto riguarda la costruzione e il collaudo delle condotte in PVC si ricordano le norme:

- UNI EN 805 del giugno 2002: 'Approvvigionamento di Acqua - Requisiti per sistemi e componenti all'esterno di edifici' che indica le linee guida per la progettazione delle reti idriche;
- UNI EN 1610: 'Costruzione e collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura' che definisce i criteri di costruzione e collaudo delle connessioni di scarico e dei collettori di fognatura interrati ed operanti a gravità.

12.1 Deformazione diametrale

La deformazione diametrale deve essere inferiore ai valori, consigliati dalla raccomandazione ISO/TR 7073, riportati in tabella 12.1:

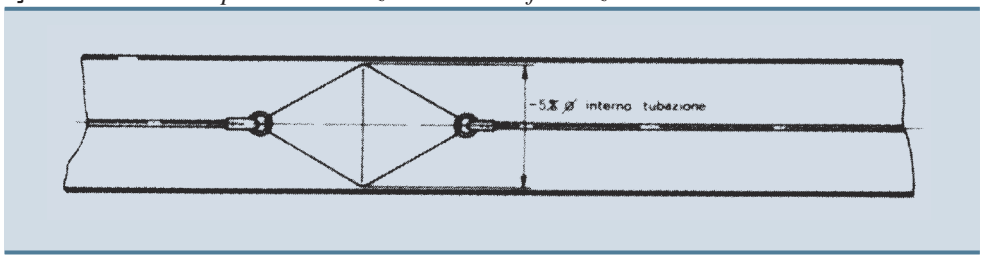
Tabella 12.1

Serie	*Deformazione iniziale*	*Deformazione a lungo termine*
■ SN 2-SDR 51	0,05DN	0,08DN
■ SN 4-SDR 41 ■ SN 8-SDR 34	0,08 DN	0,10 DN

Si osserva che deformazioni superiori a 0,15 DN causate da assestamenti o assestamenti del terreno non hanno nessun effetto sulle proprietà dei tubi e non alterano il funzionamento.

La verifica delle deformazioni può essere effettuata mediante strumenti meccanici (sfera o doppio cono) o mediante strumenti ottici (telecamere). Da questo collaudo sono escluse generalmente, per difficoltà di esecuzione, le tratte che comprendano pezzi speciali.

Figura 12.1 - *Strumento per la misurazione delle deformazioni diametrali.*



Nei casi in cui si presentano dei valori di deformazione superiori a quanto sopra stabilito, si raccomanda di ricercare l'eventuale causa. Essa potrebbe essere dovuta ad un sovraccarico locale o ad un assestamento diseguale determinato dalla diversa resistenza dei letti di posa (con una conseguente flessione longitudinale). Nei suddetti casi, in cui si può dimostrare che la durata dell'installazione non è intaccata, tale deformazione, misurata due anni dopo l'installazione, non deve superare 1,25 volte le deformazioni massime precedentemente indicate.

12.2 Tenuta idraulica: collaudi in opera

12.2.1 Acquedotti e impianti in pressione

Il collaudo idraulico deve essere eseguito sulle condotte posate per verificare l'integrità e la funzionalità dei tubi, dei giunti, dei raccordi e degli altri componenti la condotta, deve inoltre essere eseguito a scavo aperto per consentire l'ispezione visiva del tratto sottoposto a collaudo. Le metodologie previste per la verifica per la verifica di tenuta idraulica in opera possono essere diverse, nel caso di condotte di PVC-U esse devono tener conto dei comportamento visco-elastico del materiale (PVC-U).

Un procedimento particolare è descritto nella UNI EN 805.

Questo procedimento comprende le fasi:

1. Preliminare;
2. Prova di perdita di carico integrata;
3. Prova principale.

1. Durante la fase preliminare vengono create le condizioni per una esecuzione appropriata alla prova principale e una conseguente corretta lettura dei dati ottenuti:

- la tubazione è sciacquata, è sfilata (la presenza di aria deve essere evitata) e riempita di acqua a pressione atmosferica. Segue un periodo di riposo di almeno 60 minuti;

- aumentare la pressione rapidamente (meno di 10 minuti) fino alla pressione di prova e mantenerla per 30 minuti mediante pompaggio continuo, in questo periodo deve essere ispezionato il tratto di condotta interessato al collaudo per l'eventuale individuazione di perdite evidenti;
- interrompere il pompaggio per 1 ora (durante questo periodo si verifica una perdita di pressione per effetto della deformazione plastica);
- misurare la pressione residua al termine di questo periodo.

L'esito della fase preliminare è considerato positivo se la perdita di pressione misurata è inferiore o uguale al 30% della pressione di prova.

2. Prova di perdita di carico integrata:

- diminuire rapidamente la pressione rimasta al termine della fase preliminare di un ulteriore 10%-15% della pressione di prova iniziale, mediante scarico dell'acqua;
- misurare il volume d'acqua rimosso ΔV con la massima precisione possibile;
- calcolare la perdita d'acqua ammissibile ΔV_{max} con la seguente formula:

$$\Delta V_{max} = 1{,}2 \cdot V \cdot \Delta P \left(\frac{1}{E_w} + \frac{D}{e \cdot E_r} \right)$$

dove: ΔV_{max} è la perdita d'acqua ammissibile in litri, V è il volume in litri della sezione del tratto di tubazione sottoposto a prova, ΔP è la perdita di pressione misurata in kPa, D è il diametro interno dei tubi in metri, E_w è il modulo elastico dell'acqua pari a 2.000.000 kPa, e è lo spessore del tubo, E_r è il modulo elastico della parete del tubo in direzione circonferenziale in Kpa.

Controllare che $\Delta V \leq \Delta V_{max}$.

Se $\Delta V > \Delta V_{max}$ la condotta deve essere ispezionata e la prova ripetuta.

3. Prova principale:

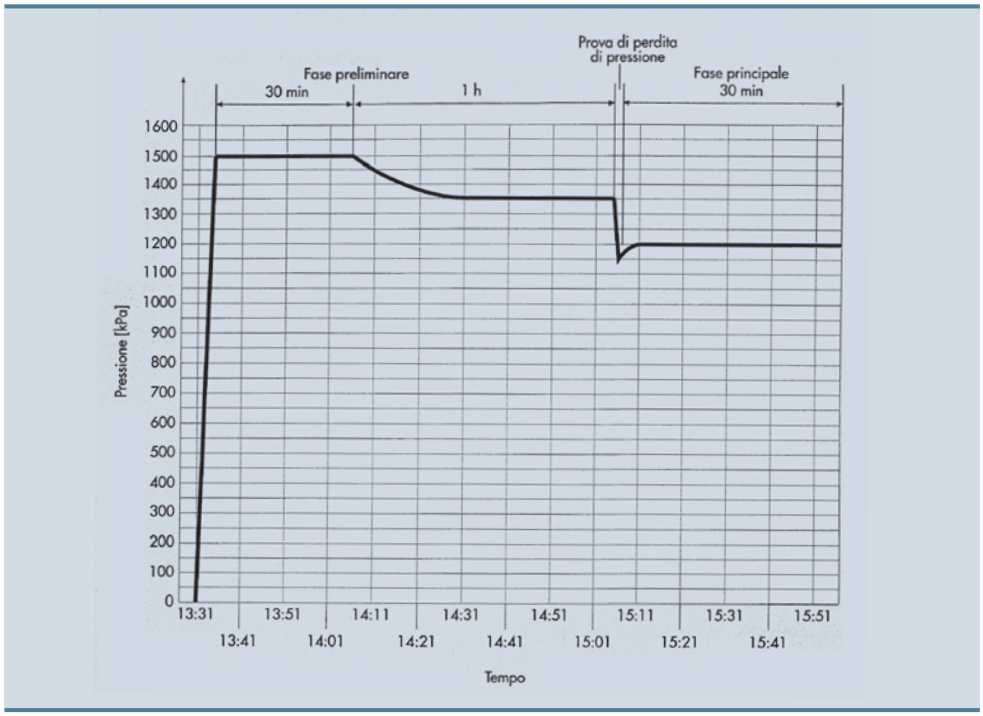
La rapida perdita di pressione provocata nella prova di perdita di carico produce una contrazione nella tubazione. Interrotto lo scarico dell'acqua, attraverso la chiusura delle valvole, la contrazione deve indurre un aumento della pressione che viene evidenziato ogni 30 minuti con la registrazione dei valori di pressione (vedi grafico seguente).

L'esito del collaudo è considerato positivo quando la curva della pressione relativa alla prova principale mostra una tendenza all'aumento, in caso contrario esiste una perdita all'interno del sistema che deve essere cercata e riparata prima che il collaudo stesso sia ripetuto.

È importante che la prova sia eseguita, quanto possibile, in condizioni di temperatura controllata (normalmente tra i 12-15 °C) poiché la temperatura influenza considerevolmente i parametri coinvolti in questo collaudo.

12.2.2 Fognature non in pressione

La garanzia di tenuta idraulica di una condotta in tutte le sue parti (tubi, giunti, collegamenti con le camerette) è un importante fattore di sicurezza, in quanto, eventuali infiltrazioni di acqua possono determinare l'alterazione del regime idraulico del collettore, mentre fuoriuscite di liquame costituiscono un deleterio pericolo inquinante per l'ambiente.



È diritto/dovere del committente esigere di tutti gli elementi l'adeguatezza e la conformità affinché l'opera sia idonea agli usi per i quali è stata progettata e realizzata e sia un bene duraturo per la comunità interessata. Il Direttore Lavori ha la responsabilità di verificare che tutti gli elementi sopra indicati siano conformi al progetto approvato con la facoltà (dovere) di rifiutare i prodotti (tubi, raccordi, …) e i servizi (scavo, reinterro, ecc.) non conformi alle norme e/o al capitolato. L'ordinamento in materia è contenuto nel Decreto del Ministro del LL.PP. 12/12/85, che elenca, tra l'altro, le responsabilità del Direttore dei Lavori e dettaglia i collaudi che egli deve effettuare in cantiere sugli elementi della condotta posata (compresi valvole e raccordi), prima della messa in esercizio dell'opera.

Il decreto indica di eseguire preferibilmente, quando le condizioni di scavo lo consentono, il collaudo idraulico a giunti scoperti in modo che essi possano essere ispezionati visivamente durante il collaudo. Inoltre esso deve essere condotto su tratti con una pendenza che non ecceda 0,5 metri circa.

Nel novembre 1999 è stata pubblicata dall'UNI la norma tecnica UNI EN 1610 che indica i requisiti per la costruzione ed il collaudo di connessioni di scarico e collettori di fognatura.

La tubazione alle due estremità verrà chiusa con tappi a espansione o cuscinetti di tenuta e da una colonna piezometrica che consente di verificare il grado di riempimento e la pressione idraulica.

Ad esempio, nella tabella 12.2 sono riportati, per ogni diametro, il contenuto di acqua espresso in (l/m) e la spinta idraulica agente sui cuscinetti di tenuta. Nella tabella 12.3 sono riportati i valori relativi a tubi a parete alveolare.

Tabella 12.2 - *Volume d'acqua e spinta idraulica per collettori fognari.*

Diametro esterno (mm)	*Contenuto d'acqua (l/m)*			*Spinta idraulica (kg)*		
	SN2	*SN4*	*SN8*	*SN2*	*SN4*	*SN8*
110		8.4	8.4		42.1	42.1
125		11.0	10.9		55.2	54.3
160	18.5	18.1	17.8	92.6	90.7	89.1
200	29.0	28.4	27.8	145.1	142.1	139.1
250	45.3	44.3	43.5	226.6	221.7	217.6
315	71.9	70.5	69.1	359.6	352.5	345.5
355	91.3	89.5	87.7	456.6	447.6	438.6
400	115.9	113.7	114.4	579.7	568.3	557
450	146.8	143.9	140.9	734.2	719.4	704.6
500	181.3	177.5	174.1	906.3	887.5	870.4
630	287.9	282.0	276.4	1439.3	1409.9	1381.9
710	365.5	358.1		1827.6	1790.3	
800	464	454.6		2319.9	2273.0	
900	587.4	575.5		2936.9	2877.4	
1000	725.0	710.3		3625.1	3551.6	

Tabella 12.3 - *Volume d'acqua e spinta idraulica per tubazioni a parete strutturata.*

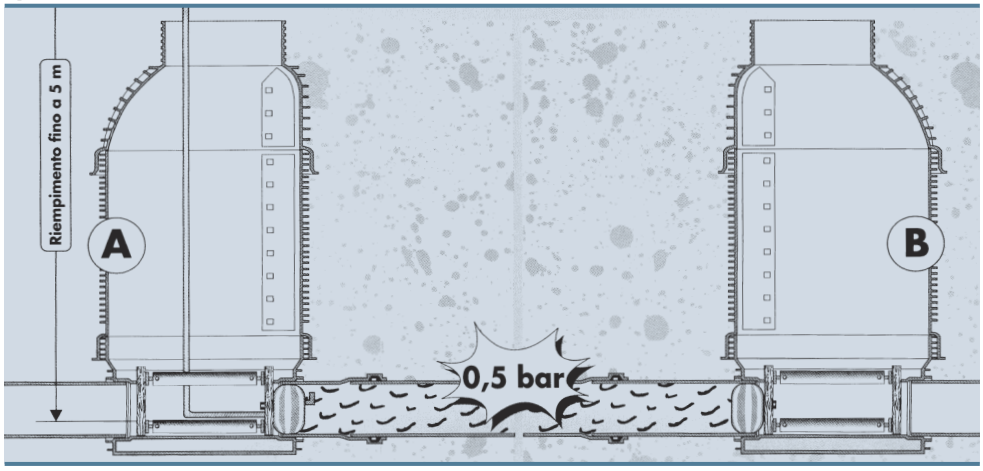
Diametro esterno (mm)	*Contenuto (l/m)*			*Spinta idraulica (kg)*		
	SN2	*SN4*	*SN8*	*SN2*	*SN4*	*SN8*
160		17,9	17,7		89,3	88,4
200		28,1	27,6		140,3	138,2
250		44,0	43,2		219,8	215,8
315		69,8	68,5		349,0	342,7
400		112,4	110,4		562,0	552,2
500	177,3	176,3	172,8	886,4	881,6	863,8
630	279,2	277,8	274,5	1395,9	1388,9	1372,6
710	356,8	350,5	342,1	1783,9	1752,3	1710,6
800	451,3	447,7	443,1	2256,3	2238,5	2215,4
900	578,2	570,1	559,5	2890,9	2850,6	2797,3
1000	705,8	701,4	699,9	3529,2	3506,9	3499,5
2000	1026,1	1018,9	1011,8	5130,4	5094,6	5058,8

La tubazione dovrà essere accuratamente ancorata per evitare qualsiasi movimento provocato dalla pressione idrostatica. La prova deve essere eseguita secondo quanto descritto al punti 13 della norma UNI-EN 1610 e può essere effettuata sia con acqua che con aria.

I passi da effettuare per condurre la prova sono i seguenti:

1. pulire l'imbocco del tubo a valle, quindi inserire la testata di prova gonfiandola fino alla pressione di 1,5 bar;
2. pulire l'imbocco del tubo a monte quindi inserire la testata cieca gonfiandola sino alla pressione di 1,5 bar;
3. predisporre, sui due cuscinetti, l'opportuno sistema di contrasto della spinta idraulica e collegare il tubo piezometrico alla testata di prova;
4. procedere al riempimento della tratta dal basso sino a superare di qualche centimetro il colmo della condotta per evitare la presenza di bolle d'aria nella condotta;
5. riempire la colonna piezometrica fino ad una altezza di 5 m (0,5 bar). L'altezza di riempimento da raggiungere nella colonna piezometrica deve tenere conto la lunghezza e la pendenza del tratto in esame.

Figura 12.2



I consumi di acqua e di aria sono stabiliti dalla Norma ENI-ENV 1401-3 descritta precedentemente. La pressione deve essere mantenuta rabboccando con acqua per 306 1 min, entro una variazione massima rispetto alla pressione di prova di 1 kPa pari a 0,01 bar. La quantità di acqua (V) utilizzata per il rabbocco deve essere misurata e soddisfare:

- $V \leq 0{,}15$ l/m^2 per le tubazioni in 30 minuti;
- $V \leq 0{,}20$ l/m^2 per tubazioni + pozzetti in 30 minuti;
- $V \leq 0{,}40$ l/m^2 per i pozzetti e le camere di ispezione in 30 minuti.

dove i m^2 si riferiscono alla superficie interna bagnata.

Nel caso si utilizzi aria:

- la caduta di pressione ammessa è di 5 mbar (0,5 kPa) con una pressione di prova di 100 mbar.

La durata della prova con aria sarà:

- 3 minuti per tubi con *DN* ≤ 400mm;
- 0,01 minuti per tubi con DN ≥ 400mm.

La verifica dell'esito del collaudo può essere effettuata per confronto tra i volumi di acqua di rabbocco misurata e i valori unitari (riferiti ad 1 metro di condotta collaudata) massimi ammissibili calcolati e riportati nella tabella 12.4. Nel calcolo è stata trascurata, perché non significativa nei tratti lunghi, la superficie bagnata alle estremità.

Tabella 12.4 - *Volumi di rabbocco massimi ammissibili per metro di condotta PVC-U UNI EN 1401 e di tubazione alveolare sottoposto a collaudo.*

de (mm)	*Tubazioni PVC-U UNI EN 1401*			*Tubazione alveolare*		
	SN2	*SN4*	*SN8*	*SN2*	*SN4*	*SN8*
110		0.049	0.049			
125		0.056	0.055			
160	0.072	0.072	0.071	0.071	0.071	0.071
200	0.091	0.090	0.089	0.089	0.089	0.088
250	0.113	0.112	0.111	0.112	0.111	0.110
315	0.143	0.141	0.140	0.141	0.140	0.139
355	0.161	0.159	0.157			
400	0.181	0.179	0.177	0.179	0.178	0.177
450	0.204	0.202	0.200			
500	0.226	0.224	0.222	0.224	0.223	0.221
630	0.285	0.282	0.280	0.281	0.280	0.279
710	0.321	0.318				
800	0.362	0.359		0.357	0.356	0.354
900	0.408	0.403				
1000	0.453	0.448		0.447	0.445	0.445
1200				0.539	0.537	0.535

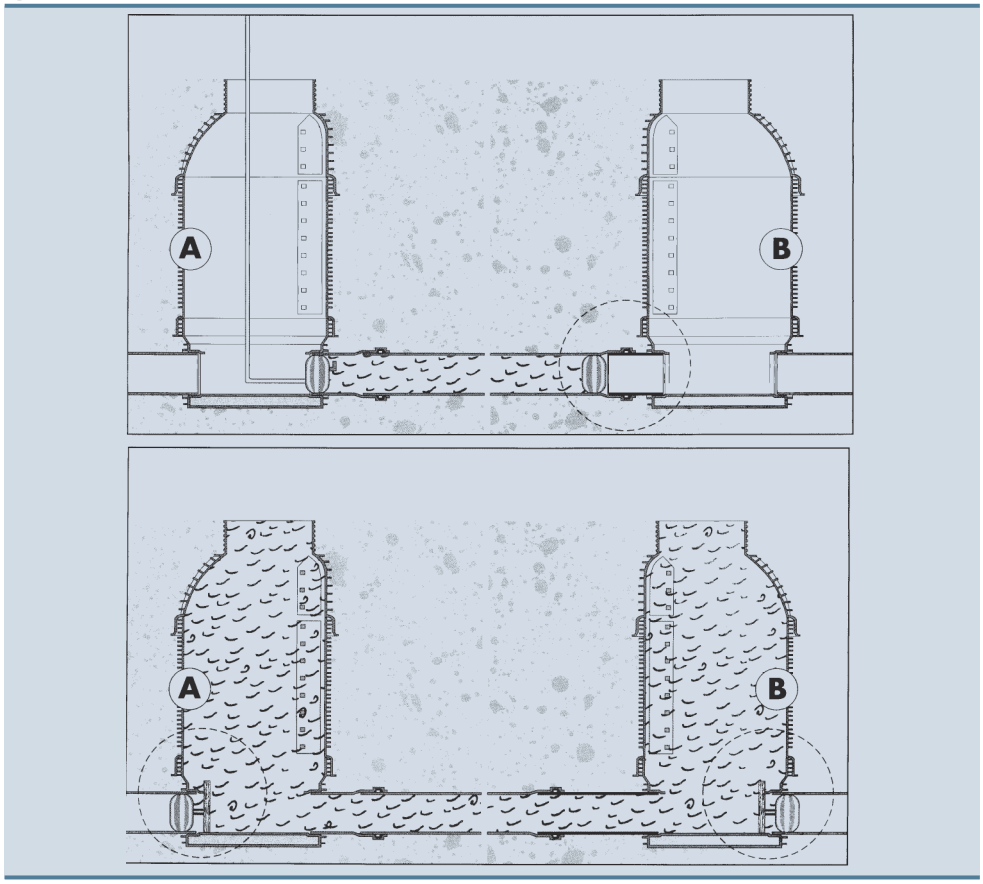
12.2.2.1 Prove di tenuta per le tubazioni alveolari: il fenomeno del by-pass

Le tubazioni alveolari sono prodotte in fabbrica con cavità longitudinali (alveoli) nella parete il cui disegno e tipo conferisce la rigidità richiesta.

Gli alveoli sono chiusi all'estremità della barra con opportuno procedimento a caldo di chiusura ermetica, eseguito in fabbrica.

La tubazione presenta così perfetta tenuta idraulica e il PVC costituisce una barrie-

Figura 12.3



ra impermeabile alle infiltrazioni dall'esterno e alle fuoriuscite del liquido dall'interno.

In cantiere può verificarsi la necessità di una taglio doppio della barra con conseguirete produzione di un tronco con alveoli aperti ad entrambe le estremità. Il tronco così ottenuto, se utilizzato come elemento di raccordo di un pozzetto dove viene posto l'otturatore per l'effettuazione di prove di collaudo in opera, genera al momento della messa in pressione del tratto di condotta un fenomeno denominato by-pass.

In modo facile e veloce si può evitare che il fenomeno del by-pass influenzi i risultati del collaudo in opera posizionando il cuscinetto di tenuta più all'interno del collettore così come mostrato nella figura , o posizionando il cuscinetto di tenuta completamente a destra o a sinistra del tronco di tubo con fenomeno by-pass collaudando insieme ai tubi le camere di ispezione o il pozzetto come schematicamente mostrato in figura.

12.2.2.2 Prove di tenuta per pozzetti

In questo caso la prova di tenuta si limita al riempimento del pozzetto con acqua ed alla verifica della stazionarietà del livello per un tempo non inferiore a 45 minuti. La variazione di livello non deve essere superiore al 5%.

13 Qualità e certificazioni

13.1 La certificazione di qualità

La qualità è intesa come l'insieme delle caratteristiche di un'entità materiale (prodotto) o immateriale (servizio) che le conferiscono la capacità di soddisfare le esigenze espresse o implicite.

Essa deve essere assicurata all'utilizzatore mediante la dimostrazione della conformità ai requisiti applicabili.

Le esigenze di qualità possono essere:

- Primarie: cioè connesse con la salute e la sicurezza delle persone;
- Accessorie: cioè tengono in conto la competitività delle imprese, le prestazioni, l'affidabilità e la durata dei prodotti, ecc.

I bisogni primari sono tutelati dalla legislazione mediante **regole tecniche** di tipo obbligatorio. Le esigenze accessorie sono coperte dalle **norme tecniche** di tipo volontario.

Si possono distinguere, di conseguenza, due tipi di certificazioni:

1. la certificazione cogente (obbligatorio) assicura la conformità alle regole tecniche e garantisce solo il rispetto dei requisiti essenziali e rappresenta il livello minimo di base della qualità;
2. la certificazione volontaria assicura la conformità alle norme tecniche che stabiliscono i requisiti costruttivi, prestazionali e funzionali dei prodotti/servizi in relazione alle più avanzate conoscenze disponibili (stato dell'arte).

Le norme (regole tecniche obbligatorie o norme tecniche volontarie) sono il principale riferimento per la fabbricazione e l'assicurazione della qualità. La conformità a tali norme costituisce assicurazione della qualità.

Le principali forme di assicurazione della qualità sono:

1. la certificazione di prodotto /servizio;
2. la certificazione di sistema di qualità (aziendale, ambientale, sicurezza, responsabilità sociale, ecc.)

Tali forme di assicurazione qualità non sono alternative ma complementari e sono destinate ad evolversi verso l'integrazione "certificazione prodotto – sistema".

La certificazione di prodotto è costruita da garanzie di carattere tecnico per i requi-

siti essenziali (certificazione di prodotto cogente) e/o per i requisiti accessori (certificazione di prodotto volontaria).

La certificazione di qualità aziendale offre garanzie per il cliente/utente relativamente alle capacità operative del produttore/fornitore.

La certificazione di qualità ambientale, a differenza, offre garanzie per il rispetto dell'ambiente.

13.2 La certificazione di prodotto

La certificazione di prodotto è l'operazione intesa ad assicurare la conformità dei prodotti ai requisiti stabiliti dal regole tecniche (certificazione cogente) e/o da norme tecniche (certificazione volontaria) tramite procedimenti tecnici costituiti dalla combinazione di operazioni elementari (moduli) selezionate in funzione delle caratteristiche del prodotto da certificare in modo da fornire un adeguato livello di confidenza. Tale certificazione consente agli utenti del prodotto di effettuare una scelta obiettiva nell'ambito di un mercato con parametri di riferimento.

Una certificazione di prodotto efficace deve ricercare un equilibrio costi-benefici tra:

- massima fiducia nel valore della certificazione;
- contenimento dei costi per il sistema socio-economico.

La certificazione di prodotto è affidata a operatori specializzati di parte terza detti 'Organismi di certificazione di prodotto'. È un'operazione tecnica che richiede sia personale specializzato, in quanto è necessaria la conoscenza tecnologica dei prodotti da certificare, dei relativi processi di fabbricazione e delle problematiche connesse con la loro messa in opera ed utilizzazione, sia di dotazioni strumentali per eseguire le verifiche sperimentali (analisi, misurazioni e prove di laboratorio) che costituiscono una componente essenziale della certificazione di prodotto.

Per la certificazione cogente (ad es. la marcatura CE) gli organismi di certificazione d prodotto operano sulla base di una abilitazione formale da parte delle autorità competenti mentre per la certificazione volontaria sulla base di un riconoscimento del mercato.

13.2.1 La certificazione obbligatoria: la marcatura CE

La marcatura CE indica la conformità del prodotto ai requisiti comunitari applicabili imposti dal fabbricante. È un dichiarazione della persona responsabile che il prodotto è conforme a tutte le disposizioni comunitarie applicabili ed è stato sottoposto alle procedure di valutazione della conformità previste dalle direttive applicabili.

La marcatura CE è obbligatoria e deve essere apposta prima che i prodotti ad essa soggetti siano commercializzati e messi in servizio, salvo il caso in cui le direttive specifiche dispongano altrimenti. Sarà obbligatoria dall'entrata in vigore della norma armonizzata di prodotto.

Essa deve essere apposta dal fabbricante o dal suo rappresentante autorizzato stabilito all'interno della comunità. La marcatura CE, nella forma indicata dalle direttive, deve essere apposta in maniera visibile, leggibile e indelebile sul prodotto o su relativa targhetta; se questo non è possibile deve essere apposta sull'eventuale imballaggio e sulla eventuale documentazione di accompagnamento.

Scopo delle direttive europee che prevedono la marcatura CE è la libera circolazione dei beni in Europa mediante la definizione di alcuni "requisiti essenziali" che deve possedere il prodotto in oggetto per la sicurezza e l'interesse pubblico. Solo i prodotti che rispettano i requisiti essenziali possono essere immessi nel mercato e messi in servizio.

Per alcuni prodotti la marcatura CE si limita ad una semplice dichiarazione di conformità effettuata dal produttore senza neanche l'intervento di una parte terza di controllo. Quindi la marcatura CE non è un marchio di qualità.

Il fabbricante o il suo rappresentante autorizzato stabilito nella comunità europea deve predisporre una 'Dichiarazione CE di conformità nell'ambito della procedura di valutazione della conformità prevista dalle direttive. Questa dichiarazione deve contenere:

- tutte le informazioni necessarie a identificare le direttive in base alle quali viene rilasciata;
- il fabbricante;
- il rappresentante autorizzato;
- l'eventuale organismo notificato;
- il prodotto;
- il riferimento alle norme europee armonizzate o ad altri documenti normativi.

Marchi di conformità

Alcuni sistemi di certificazione di prodotto prevedono un marchio di conformità. Quest'ultimo attesta al mercato che:

- il prodotto soddisfa tutti i requisiti applicabili coperti dal marchio stesso;
- l'organismo di certificazione che ha dato la licenza d'uso del marchio è competente e qualificato.

Per il valore dei marchi di conformità è importante che:

- tutte le parti interessate siano rappresentate e coinvolte nel processo certificativi;
- i riferimenti normativi utilizzati siano scelti adeguatamente;
- i procedimenti seguiti per la concessione del marchio siano ben conosciuti dal mercato: deve essere chiaro il sistema di certificazione adottato, in particolare se prevede o meno la sorveglianza continua del processo di produzione e se prevede la sorveglianza sul mercato.

La costanza della qualità di un prodotto può essere garantita mediante:

- controlli sulle materie prime;
- controlli sul processo di produzione;
- controlli sul prodotto finito.

La conformità ad una norma nazionale che traspone una norma europea armonizzata di cui sono stati pubblicati i riferimenti, conferisce presunzione di conformità ai requisiti essenziali delle direttive applicabili disciplinati da tale norma.

L'applicazione delle norme europee armonizzate, che conferisce presunzione di conformità, rimane volontaria nell'ambito delle direttive di nuovo approccio: un prodotto può pertanto essere fabbricato direttamente sulla base dei requisiti essenziali. La commissione europea ritira la presunzione di conformità quando accerta che una norma europea armonizzata non risponde interamente ai requisiti essenziali.

La valutazione della conformità si articola in moduli, comprendenti un numero limitato di procedure diverse applicabili e riguardanti la fase di progettazione e/o la fase di fabbricazione.

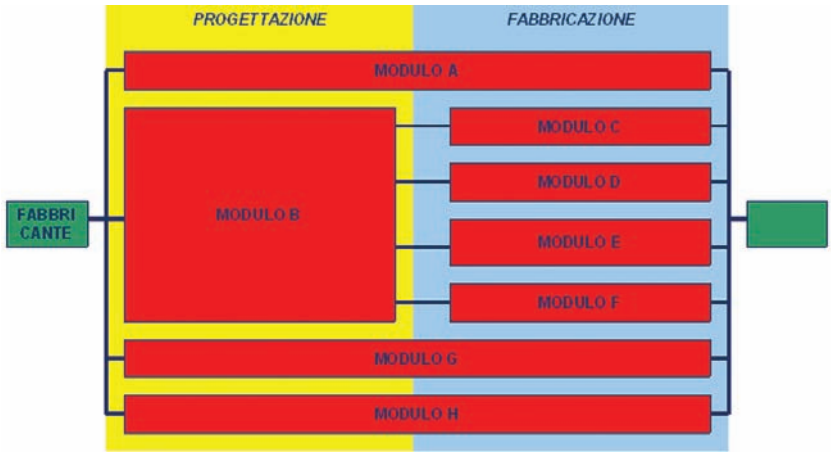
Gli otto moduli di base e le loro otto possibili varianti possono essere combinati tra loro in vari modi per definire le procedure complete di valutazione della conformità. Ogni direttiva descrive la serie ed il contenuto delle possibili procedure complete di valutazione della conformità.

In tabella 13.1 si riportano i moduli base.

Tabella 13.1 - *Moduli di base.*

A	CONTROLLO DI FABBRICAZIONE INTERNO	Modulo relativo alla progettazione e controllo di fabbricazione interni. Non è richiesto l'intervento di una parte terza
B	ESAME CE DEL TIPO	Modulo relativo alla progettazione che deve essere seguito da un modulo di valutazione della progettazione. L'attestato CE di esame del tipo viene rilasciato da un organismo notificato
C	CONFORMITA' AL TIPO	Modulo relativo alla fase di fabbricazione che segue il modulo B. Non è richiesto l'intervento di una parte terza
D	GARANZIA DELLA QUALITA' DELLA PRODUZIONE	Modulo relativo alla fase di fabbricazione che segue il modulo B. L'organismo notificato approva e controlla il sistema qualità del fabbricante per la fabbricazione, l'ispezione del prodotto finale e le prove
E	GARANZIA DELLA QUALITA' DEI PRODOTTI	Modulo relativo alla fase di fabbricazione che segue il modulo B. L'organismo notificato approva e controlla il sistema qualità del fabbricante per l'ispezione del prodotto finale e le prove
F	VERIFICA SUL PRODOTTO	Modulo relativo alla fase di fabbricazione che segue il modulo B. L'organismo notificato controlla la conformità al tipo e rilascia un attestato di conformità
G	VERIFICA SUL PRODOTTO UNICO	Modulo relativo alle fasi di progettazione e fabbricazione. Ogni singolo prodotto viene esaminato dall'organismo notificato che rilascia un attestato di conformità
H	GARANZIA DELLA QUALITA' TOTALE	Modulo relativo alle fasi di progettazione e fabbricazione. L'organismo notificato approva e controlla il sistema qualità del fabbricante per la progettazione, la fabbricazione, l'ispezione del prodotto finale e le prove

Figura 13.1 - *Procedure di valutazione della conformità.*



L'impiego dei sistemi di qualità per le procedure di valutazione della conformità nell'ambito delle direttive viene descritto nei moduli D, E, H e nelle rispettive varianti.

La conformità alla norma ISO 9001:2000 conferisce la presunzione di conformità ai corrispondenti moduli di garanzia qualità se il sistema qualità tiene conto dei requisiti specifici dei prodotti fabbricati.

Per conformarsi alle direttive applicabili il fabbricante deve garantire che il sistema qualità sia adottato e applicato in maniera da garantire la totale applicazione dei requisiti.

Gli organismi notificati intervengono nelle procedure di valutazione della conformità indicate nelle direttive applicabili che prevedono l'intervento di una parte terza. Gli stati membri notificano alla commissione europea gli organismi competenti. Le norme della serie EN 45000 ed il relativo accreditamento sono strumenti per potere stabilire la conformità ai requisiti delle direttive applicabili.

La direttiva 89/106 CE : "prodotti da costruzione"

I prodotti da costruzione sono manufatti destinati ad essere permanentemente incorporati nell'opera di costruzione e sono oggetto della direttiva europea 89/106/CE 'CPD' (costruction products directive). Questa direttiva ha come scopo la libera circolazione delle merci mediane il riconoscimento reciproco e l'armonizzazione tecnica. L'armonizzazione è limitata al rispetto dei requisiti essenziali che fissano gli elementi necessari alla protezione dell' interesse pubblico.

I requisiti essenziali della direttiva sono:

- la resistenza meccanica e la stabilità;
- la sicurezza in caso di incendio;
- igiene, salute ed ambiente;
- sicurezza di utilizzazione;
- protezione contro il rumore;
- risparmio energetico ed isolamento termico.

A differenza delle altre direttive basate sul nuovo approccio, la direttiva CPD non prevede la valutazione della conformità articolata sulla base di moduli relativi alla fase di progettazione e/o fabbricazione del prodotto ma su 'livelli di attestazione'. I livelli di attestazione previsti sono in ordine di gravità delle conseguenze sugli utenti in caso di non conformità del prodotto ai requisiti essenziali per la marcatura CE.

Controllo di produzione in fabbrica

È sempre compito del fabbricante il piano di controllo in fabbrica. La conformità alla norma ISO 9001:2000, integrata con i requisiti dello specifico prodotto da costruzione, conferisce presunzione di conformità ai requisiti della CPD per quanto attiene il controllo di produzione in fabbrica.

13.2.2 La certificazione volontaria di prodotto

La certificazione di prodotto volontaria, effettuata da una parte terza indipendente e competente, garantisce all'installatore ed all'utilizzatore del prodotto certificato:

- le caratteristiche prestazionali di alto livello (non limitate solo ai requisiti essenziali) indicate nella normativa tecnica di riferimento (che esprime il migliore 'stato dell'arte');
- il rispetto della legislazione relativa all'ambiente o alla sicurezza.

I procedimenti del sistema di certificazione si basano sulla combinazione di elementi:

- campionamenti;
- verifica della conformità ai requisiti;
- valutazione della conformità;
- decisione sulla certificazione;
- concessione della licenza d'uso dei certificati e/o dei marchi;
- sorveglianza.

Tabella 13.2 - *Sistemi standard di certificazione di prodotto.*

	SISTEMA					
	1	2	3	4	5	6
CAMPIONAMENTO	×	×	×	×	×	×
PROVE SUI PROTOTIPI	×	×	×	×	×	×
VALUTAZIONE DEI RAPPORTI DI PROVA	×	×	×	×	×	×
VALUTAZIONE INIZIALE DEL PROCESSO PRODUTTIVO	×	×	×	×		
DECISIONE E CONCESSIONE DI LICENZA	×	×	×	×	×	
SORVEGLIANZA SULLA PRODUZIONE	×	×	×			
SORVEGLIANZA SUL SISTEMA QUALITA' DEL PRODUTTORE	×					
SORVEGLIANZA SUL MERCATO	×	×		×		

13.3 La certificazione di sistema

La norma ISO 9001:2000 specifica i requisiti dei sistemi di gestione per la qualità da utilizzarsi quando un'organizzazione debba dimostrare la propria capacità a fornire prodotti che soddisfino i requisiti dei clienti e quelli cogenti applicabili e miri a conseguire la soddisfazione del cliente.

Il sistema di gestione per la qualità è quindi il sistema per guidare e tenere sotto controllo un'organizzazione con riferimento alla qualità.

Esistono altri sistemi di gestione di un'organizzazione con riferimento a:

- Ambiente (ISO 14001-reg. Emas)
- Sicurezza (Ohsas 18001)
- Etica (SA 8000)

Le motivazioni alla base del processo di revisione periodica pongono enfasi sull'esigenza di rendere il SGQ:

- più aderente ai processi di una organizzazione
- di introdurre il miglioramento continuo

- Favorire gli scambi commerciali
- Essere uno strumento di competitività

Nella norma UNI-ISO 9001:2000 si punta molto sui requisiti del cliente (esigenze, aspettative che devono essere comprese e soddisfatte anche quando i requisiti non vengono completamente precisati, ma sono necessari all'idoneità all'uso del prodotto o del servizio previsto) oltre che ai requisiti cogenti o volontari di settore applicabili per gli aspetti di qualità dei prodotti, all'impegno determinante dell'alta direzione, al miglioramento continuo, al coinvolgimento delle risorse umane e agli obiettivi misurabili ai pertinenti livelli e funzioni dell'organizzazione.

La ISO 9001:2000 si differenzia dalle altre soprattutto perché i requisiti di un Sistema di Gestione per la Qualità hanno principalmente lo scopo di ottenere la soddisfazione dei clienti, soddisfacendone i requisiti per mezzo del miglioramento continuo.

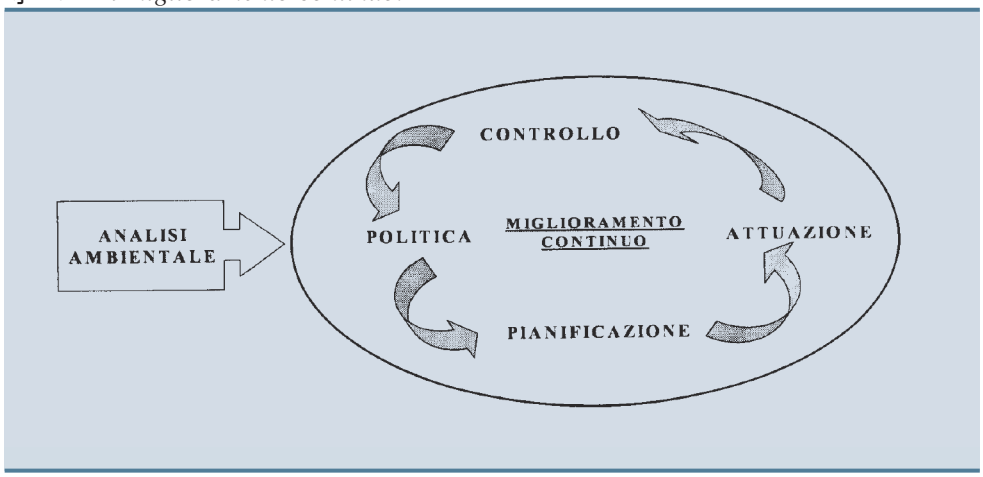
I principi di un sistema basato sulla qualità sono:

- Organizzazione Orientata al cliente: identificare le sue necessità e monitorare la sua soddisfazione.
- Leadership
- Coinvolgimento del personale
- Approccio basato sui processi: identificazione dei processi chiave sui quali è basata la produzione e lo sviluppo, cercando di assicurare che tutti i processi facciano parte di una rete efficiente.
- Approccio sistemico alla gestione
- Miglioramento Continuo
- Decisioni basate sui dati di fatto
- Rapporti di reciproco beneficio coi fornitori

I vantaggi di un Sistema Gestione della Qualità basato sulla ISO 9001:2000 possono essere:

- vantaggi esterni:
  1. Rapporti con gli Azionisti
  2. Rapporti con i clienti
  3. Rapporti con i fornitori
  4. Rapporti con le compagnie d'assicurazione
  5. Rapporti con i concorrenti
  6. Rapporti con le istituzioni
  7. immagine dell'organizzazione
- miglioramento delle relazioni industriali:
  1. Corretta selezione del personale
  2. Gestione delle carriere
  3. Motivazione e fidelizzazione del personale
  4. Ritorni economici

Figura 13.2 - *Il miglioramento continuo.*



13.4 La certificazione ambientale

Le norme ISO della serie 14000 si riferiscono all' "ambiente". LA norma UNI EN 14001, Sistemi di Gestione Ambientale, è oggi estremamente interessante e fondamentale. Le imprese si trovano davanti a consumatori sempre più 'ambientalmente' esigenti, si richiede che l'azienda e i prodotti rispettino i requisiti non solo specifici e cogenti, ma che la gestione della produzione sia improntata allo sviluppo sostenibile.

L'applicazione di un SGA da parte delle imprese presenta diversi vantaggi:

- Spingersi in nuovi mercati 'verdi';
- Rispettare la normativa ambientale vigente, anzi anticiparla;
- Migliorare i rapporti con la Pubblica Amministrazione e le comunità locali;
- Ridurre i consumi di risorse ed energia;
- Ridurre la produzione di rifiuti e favorire meccanismi di recupero e riciclo;
- Ridurre i costi aziendali.

L'applicazione di un SGA non è statico nel tempo, ma segue i mutamenti e le trasformazioni aziendali e della normativa vigente, ed insegue l'obiettivo del miglioramento continuo.

14 La produzione e la trasformazione del PVC

14.1 Produzione industriale del PVC

14.1.1 Polimerizzazione del CVM

La reazione di polimerizzazione del CVM a PVC si realizza esclusivamente con meccanismo radicalico (via radicali liberi) e passa attraverso la formazione di un radicale sulla molecola di CVM, l'addizione successiva e rapida di numerose unità di CVM al radicale che permane sempre all'estremità della catena polimerica in crescita e la reazione del radicale in crescita con un altro radicale o il suo trasferimento ad un'altra unità monomerica, con formazione, in ogni caso, di una molecola del polimero PVC. Il simultaneo e successivo verificarsi di numerosissimi atti molecolari di inizio, propagazione, trasferimento e terminazione dei radicali in crescita, origina le molecole del polimero PVC che, a causa del meccanismo radicalico di reazione, risultano avere una distribuzione probabilistica delle lunghezze molecolari. La reazione di polimerizzazione del CVM è esotermica ed il polimero PVC prodotto è praticamente insolubile nel monomero da cui esso si origina.

Le tecnologie industriali di polimerizzazione del CVM hanno pertanto dovuto risolvere i problemi di:

- smaltimento regolare del calore di polimerizzazione, allo scopo di realizzare processi produttivi controllati e non esplosivi;
- controllo della morfologia del PVC polimero, che si separa dal mezzo di reazione CVM nel quale esso si forma e nel quale esso non è praticamente solubile, evitando la formazione di agglomerati disomogenei e variamente compatti di PVC;
- dare al polimero PVC, quale si forma ed ottiene dai processi produttivi, le caratteristiche chimico-fisico-morfologiche, che lo rendano adatto e compatibile con le operazioni industriali di additivazione, lavorazione e trasformazione nei molteplici e diversi manufatti destinati ai settori applicativi.

Le tecnologie di polimerizzazione del CVM che il lavoro di sviluppo e crescita del PVC ha fatto diventare industrialmente prevalenti sono la polimerizzazione del CVM in sospensione acquosa e la polimerizzazione del CVM in emulsione acquosa. Circa il 95% del PVC attualmente in commercio è ottenuto da polimerizzazione in sospensio-

ne ed in massa e circa il 5% da polimerizzazione in emulsione. La polimerizzazione del CVM in massa (in assenza cioè di mezzi che non siano il CVM), che ha avuto notevole sviluppo industriale in Francia negli anni 1970-1980, è attualmente presente con volumi di PVC di qualche percento sul totale del PVC prodotto ed i corrispondenti prodotti hanno sostanzialmente le stesse destinazioni applicative del PVC sospensione; la polimerizzazione del CVM in soluzione (in mezzi solventi del CVM e del PVC) appartiene alla storia dello sviluppo delle tecnologie di polimerizzazione e non ha peso industriale.

Ciascuna tecnologia di polimerizzazione del CVM, pur essendo tutte le polimerizzazioni via radicali liberi, utilizza processi specifici e diversi per realizzare il controllo e l'asporto del calore di reazione, per influenzare la morfologia e la distribuzione dimensionale delle particelle-granuli di polimero e per impartire ai granuli di PVC proprietà che li rendano adatti alle successive specifiche lavorazioni ed applicazioni. In questa nota vengono riportati ed esaminati la tecnologia di produzione ed i prodotti PVC sospensione, che stanno alla base della più parte del PVC utilizzato in tutti i settori applicativi.

14.1.2 Processo industriale di polimerizzazione del CVM in sospensione acquosa

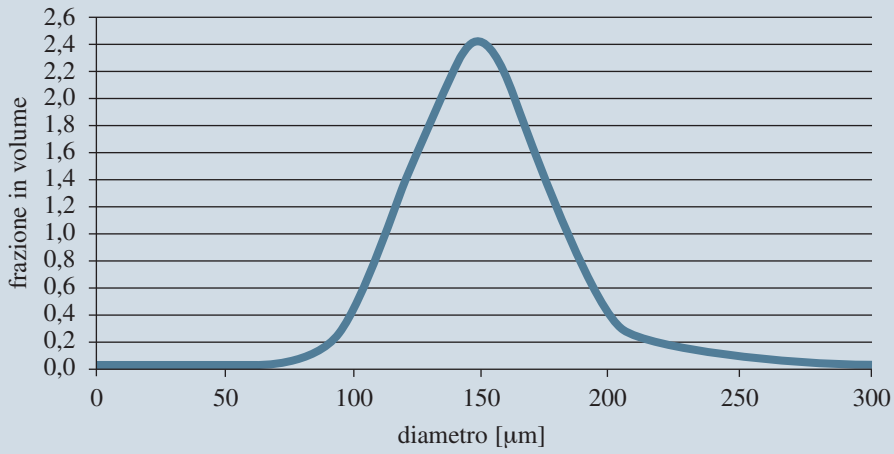
14.1.2.1 Processo e prodotto

Essendo il CVM scarsamente solubile in acqua, la sua polimerizzazione, quella detta in sospensione acquosa, viene effettuata in piccole gocce di CVM disperse nel mezzo continuo acqua e questa permette l'asporto del calore di reazione e l'effettuazione di polimerizzazioni regolari in condizioni isoterme e comunque controllate. Come già accennato, la più parte del PVC prodotto e consumato in Italia, così come negli altri paesi europei e negli Stati Uniti, viene ottenuto da polimerizzazione in sospensione del CVM, in processi industriali in cui il CVM viene disperso in acqua in reattori che forniscono al sistema acqua, CVM ed additivi, l'energia necessaria per mantenere il sistema in moto turbolento. La polimerizzazione radicalica, in ciascuna goccia di CVM nella sospensione acquosa, viene regolata e controllata:

- dalla produzione di radicali e dall'asporto del calore di reazione, per quanto riguarda la velocità di reazione;
- dalla combinazione di energia meccanica (fornita attraverso l'agitazione della sospensione di CVM in acqua) e di additivi, come i sospendenti primari (con azione stabilizzante e tensioattiva che influenzano la distribuzione dimensionale) ed i sospendenti secondari (che influenzano la morfologia interna), per quanto riguarda le caratteristiche fisiche delle particelle finali di polimero, usualmente indicate anche come granuli;
- dalla temperatura di reazione, per quanto riguarda il peso molecolare del PVC prodotto.

Il polimero PVC sospensione è piuttosto singolare rispetto ad altri polimeri, in quanto le sue proprietà fisiche e specificatamente le dimensioni dei granuli e la loro morfologia interna, quale essa si forma durante la polimerizzazione del CVM, sono condizionanti la successiva fase di lavorazione e trasformazione delle particelle-granuli in manufatti. La distribuzione dimensionale tipica di un PVC sospensione commerciale è mostrata in figura 14.1, mentre le figure 14.2a e 14.2b mostrano esempi di morfologie esterne ed interne tipiche di particelle-granuli di PVC sospensione.

Figura 14.1 - *Distribuzione dimensionale delle particelle - granuli di PVC sospensione*



Nella pratica industriale corrente, i processi di produzione del PVC in sospensione acquosa permettono di ottenere direttamente, mediante un rigoroso controllo del processo:

- diametri delle particelle-granuli di polimero, compresi per il 95% tra 100 e 200 m (distribuzione dimensionale come quella di figura 14.1);

Figura 14.2a - *Dimensioni e morfologia esterna di particelle-granuli di PVC sospensione*

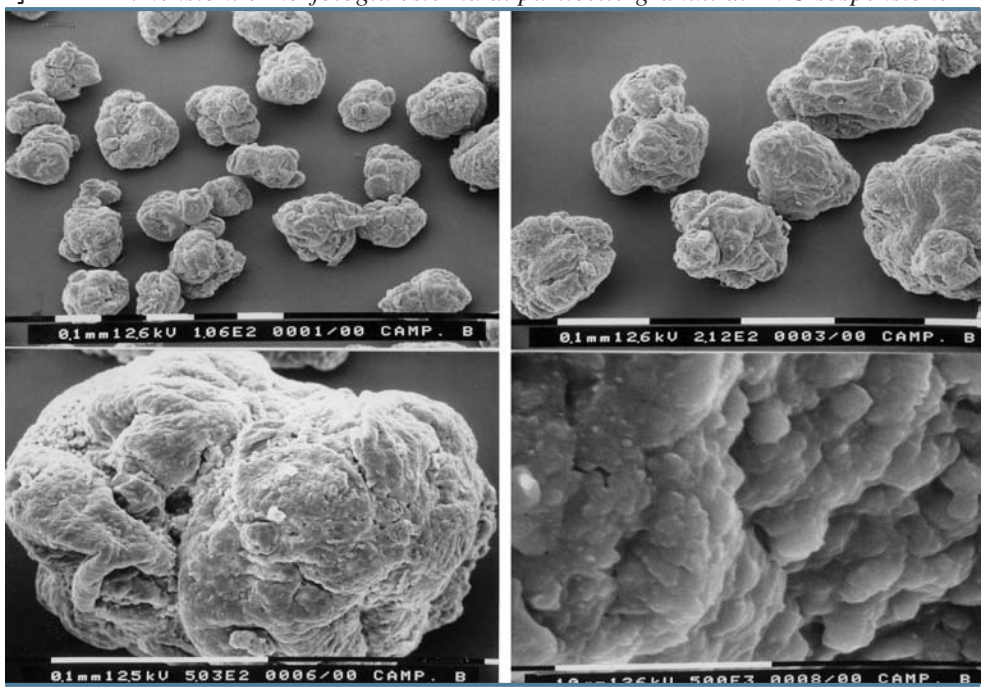
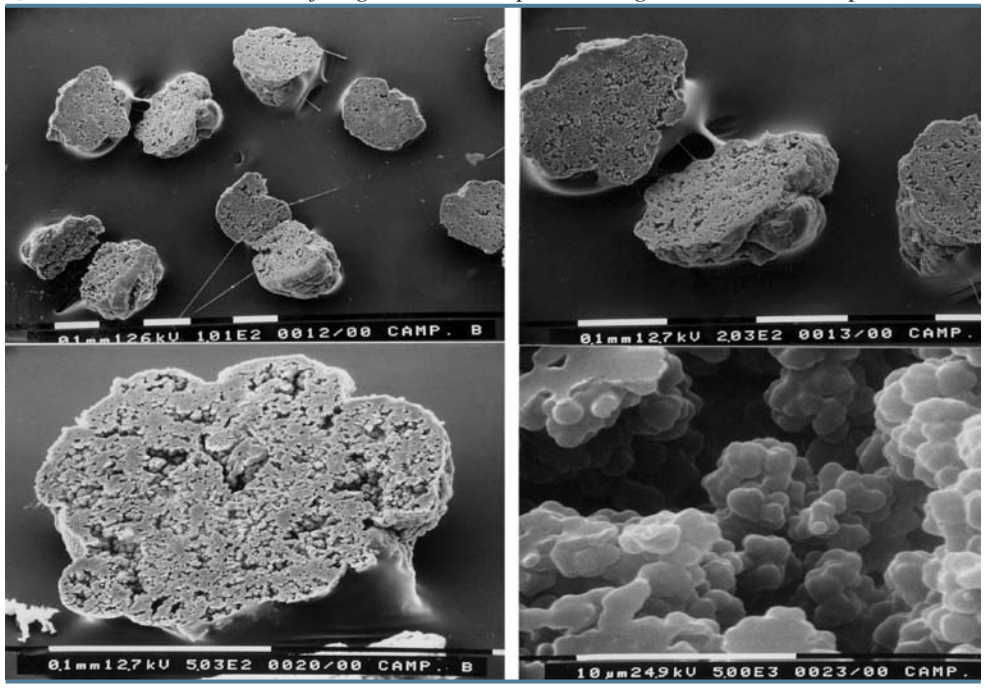
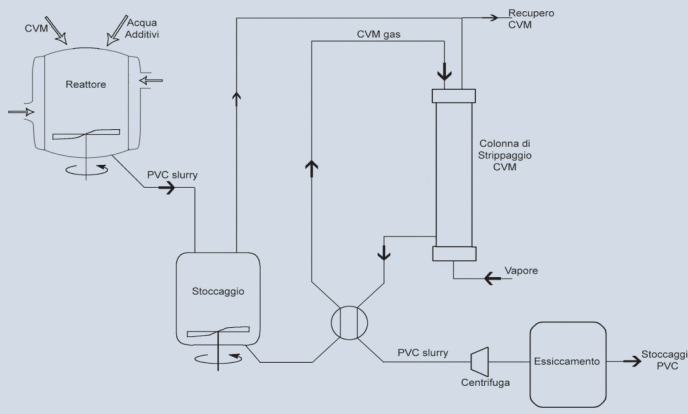


Figura 14.2b - *Dimensioni e morfologia interna di particelle-granuli di PVC sospensione*



- particelle-granuli di morfologia interna uniforme e porosità variabili tra il 20 ed il 40%;
- pesi molecolari e distribuzioni dei pesi molecolari diversi in funzione della temperatura e della storia termica adottato nel processo di polimerizzazione.

Figura 14.3 - *Schema di processo della polimerizzazione di sospensione del CVM*

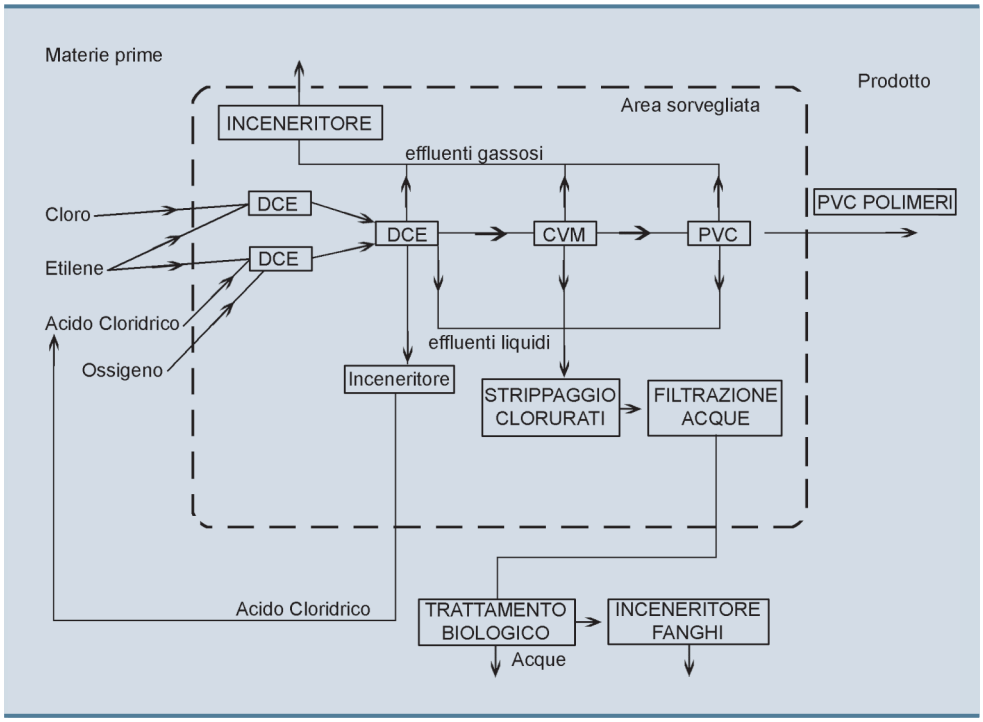


Le temperature adottate per le polimerizzazioni industriali del CVM in sospensione acquosa sono normalmente comprese tra 50 e 70°C e durante la polimerizzazione, in funzione degli iniziatori usati e della capacità di scambio termico del reattore, la temperatura iniziale di polimerizzazione può variamente innalzarsi all'interno delle gocce luogo di reazione. Le proprietà fisiche costituzionali del CVM e del PVC che condizionano e determinano lo svolgersi del processo di polimerizzazione sono:

- la tensione di vapore del CVM liquido, che nell'intervallo usuale di temperatura delle polimerizzazioni industriali, è compresa tra 7 e 10 atm. (le polimerizzazioni sono pertanto condotte in reattori in pressione);
- la pratica insolubilità del polimero PVC nel monomero CVM;
- la solubilità del CVM nel PVC, che alle temperature usuali delle polimerizzazioni industriali è nell'intorno del 30%;
- la notevole contrazione di volume che accompagna la conversione del CVM a PVC (a 50°C il peso specifico del CVM è 0,860 gr/cc e quello del PVC è 1,393 gr/cc.).

A causa della solubilità del CVM nel PVC e della pratica insolubilità del PVC nel CVM, la polimerizzazione del CVM in ciascuna goccia della sospensione acquosa può venir rappresentata avvenire in due fasi, una costituita dal monomero con piccolissime quantità di polimero (fase diluita in polimero) ed una costituita dal monomero sciolto nel polimero (fase concentrata in polimero) [9]. Questa fase concentrata, costituita da

Figura 14.4 - *Schema del processo produttivo integrato di CVM e PVC sospensione posti in un sistema industriale chiuso*



PVC con disciolto il 30% di CVM, ha una temperatura di transizione vetrosa nell'intorno di –70°C [10] e alle normali temperature di polimerizzazione questa fase concentrata è un liquido di elevata viscosità.

La figura 14.3 riporta uno schema del processo di polimerizzazione in sospensione del CVM e la figura 14.4 mostra come il processo industriale di produzione del PVC è posto, assieme alla collegata ed integrata produzione industriale del monomero CVM, in un sistema industriale chiuso nel quale entrano le materie prime (etilene, cloro, acido cloridrico) e gli additivi e dal quale escono il prodotto PVC e, dopo adeguato trattamento e purificazione, gli effluenti gassosi e liquidi.

14.1.2.2 Cinetica di polimerizzazione, peso molecolare e tatticità

La cinetica della polimerizzazione radicalica del CVM a PVC è quella comune ai processi di polimerizzazione radicalica; schematicamente comprende, come sotto schematizzato, le reazioni, ciascuna con la sua costante specifica di velocità k, di decomposizione dell'iniziatore I a radicali I°, l'inizio della polimerizzazione per addizione del radicale I° al monomero M e la formazione del radicale IM° che propaga diventando macroradiale ~M° attraverso la somma successiva di unità monomeriche fino al trasferimento di catena al monomero M (reazione 4) e terminazione per interazione (in fase diluita e concentrata, reazioni 5 e 6 rispettivamente) tra due macroradicali con formazione delle molecole polimeriche P.

I	$\xrightarrow{k_1}$	2 I°	1)
I° + M	$\xrightarrow{k_2}$	IM°	2)
IM° + M	$\xrightarrow{k_3}$	~M°	3)
~M° + M	$\xrightarrow{k_4}$	P + M°	4)
~2M°	$\xrightarrow[\text{(in CVM)}]{k_5}$	P	5)
~2M°	$\xrightarrow[\text{(in PVC/CVM)}]{k_6}$	P	6)

La reazione 3) rappresenta lo stadio di propagazione della polimerizzazione e la costante specifica di velocità k_3 è uguale a k_2; la reazione 4) è molto importante nella polimerizzazione del CVM perché il trasferimento dal macroradicale ~M° al monomero, condiziona e controlla il peso molecolare del polimero; le reazioni 5) e 6) di terminazione, avvengono nelle due fasi, diluita e concentrata in polimero, in cui il sistema polimerizzante si smista durante la polimerizzazione. Nella fase diluita, il CVM è praticamente puro, mentre in quella concentrata (detta anche fase gel), il CVM è in concentrazioni del 25-30%, il resto essendo polimero. Raggiunto il 75% circa di conversione del CVM a PVC, la fase diluita scompare e la concentrazione di monomero nella fase gel diminuisce al procedere della polimerizzazione [11]. Sulla base di questo modello, è stato trovato [12] che la velocità della reazione di polimerizzazione V polim. può venire, con buona approssimazione, descritta dalla relazione:

$$V\ polim. = V\ polim._o\ (1 + q\ C\ [\ e\ x\ p\ (\frac{k_1 t}{2})\ ]$$

dove t è il tempo, q è il fattore di autocatalisi e V polim.$_o$ è la velocità di polimerizzazione in fase diluita al tempo zero con concentrazione di monomero .

La velocità di polimerizzazione in fase diluita al tempo zero è data da:

$$V\ polim._o = k\ R_o^{0,5}\ M_0$$

con

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{k_2}{k_5}$$

e

$$R_o^{0,5} = (\ 2\ f_m\ k_1\ I_o\ )^{\ 0,5}$$

dove f_m è la efficienza dell'iniziatore introdotto (in quanto non tutti i radicali dell'iniziatore diventano macroradicali polimerici) e I_o è la concentrazione dell'iniziatore al tempo zero. La velocità di polimerizzazione del CVM in sospensione acquosa e la corrispondente produzione di calore, presentano, condotte con iniziatori che producono radicali a velocità costante durante la polimerizzazione e processi tradizionali, un massimo e poi decrescono come indicato in figura 14.5; il corrispondente profilo degli andamenti della temperatura e pressione nel reattore e della temperatura dell'acqua nella camicia di raffreddamento del reattore è del tipo indicato in figura 14.6.

Attualmente, i processi industriali di polimerizzazione del CVM in sospensione acquosa vengono realizzati a velocità di reazione costante nel tempo attraverso l'utilizzo di combinazioni di iniziatori che modulano nel tempo la velocità di produzione di radicali in funzione inversa alla velocità complessiva di polimerizzazione; questa velocità costante è di fatto quella (o vicino a quella) permessa dalla massima capacità di smaltimento del calore da parte del reattore di polimerizzazione, in condizioni che per-

Figura 14.5 - *Velocità di polimerizzazione del CVM in sospensione in funzione del tempo*

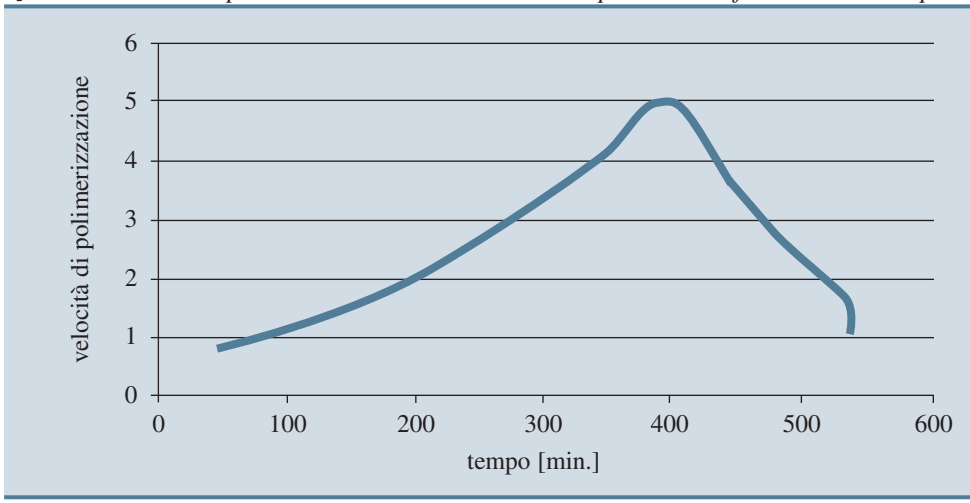
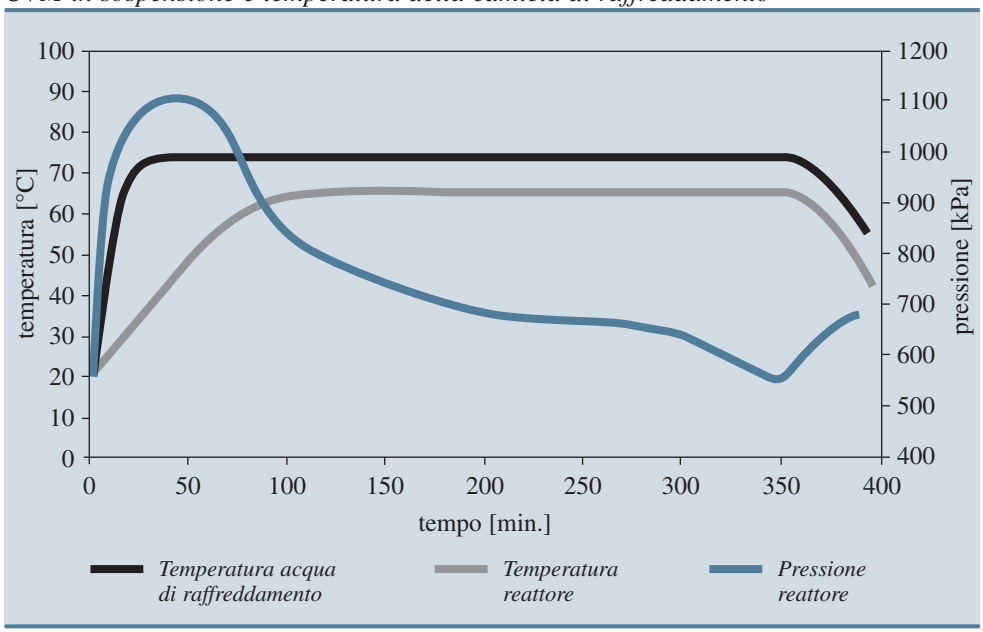


Figura 14.6 - *Profilo della temperatura e della pressione del reattore di polimerizzazione del CVM in sospensione e temperatura della camicia di raffreddamento*



mettano comunque sempre di ottenere granuli di PVC sospensione di volute caratteristiche morfologiche e chimico-fisiche.

Il peso molecolare medio del polimero PVC, espresso come grado di polimerizzazione (numero di unità strutturali che costituiscono la catena polimerica) media numerica $\overline{DP}_n$, è controllato dalla reazione 4) di trasferimento dei macroradicali in crescita al monomero, è funzione della temperatura di polimerizzazione ed è dato, con buona approssimazione, dalla relazione:

$$\overline{DP}_n = k_3 / k_4 = 9{,}2 \times 10^{-3} \exp(7400/RT)$$

dove le costanti di velocità k sono espresse in litri/mole secondo ed il grado di polimerizzazione $\overline{DP}_n$, praticamente indipendente dalla conversione monomero-polimero, dipende solo dalla temperatura di polimerizzazione T(°K); a 50°C, il peso molecolare medio numerica $\overline{PM}_n$ ($\overline{PM}_n = 62{,}5\ \overline{DP}_n$) risulta tipicamente pari a 65.000 ed a 70°C a 35.000. È possibile diminuire $\overline{DP}_n$ mediante l'aggiunta in polimerizzazione di agenti di trasferimento (ad esempio tioesteri e isobutirraldeide) su cui si trasferisce la catena radicalica (macroradicale ~M°) in crescita ed aumentarlo con agenti reticolanti (ad esempio diallilmaleato e ftalato), anche se agenti di trasferimento di catena e reticolanti non sono molto utilizzati industrialmente, perché le caratteristiche del PVC prodotto dipendono principalmente dalla morfologia, porosità e struttura delle particelle-granuli. Anche la tatticità e la cristallinità dei polimeri PVC prodotti, come il peso molecolare, dipendono e sono legati alla temperatura di polimerizzazione: la configurazione sterica dell'unità monomerica che entra nella catena polimerica in crescita nella reazione 3), non è influenzata dalla disposizione sterica del gruppo-macroradicale terminale attivo e di conseguenza la distribuzione di lunghezza delle sequenze tattiche del PVC sospen-

sione, (così come di quelli ottenuti con altre tecnologie), è di tipo statistico con il grado di sindiotatticità, che diminuisce al crescere della temperatura di polimerizzazione da 0,60 a 0°C a 0,55 a 55°C [13].

14.1.2.3 Distribuzione dimensionale delle particelle-granuli di PVC sospensione e loro morfologia interna

Le particelle-granuli di PVC sospensione derivano dalle gocce di CVM liquido disperse in acqua, gocce che sono i luoghi dove avviene la polimerizzazione; nei reattori di polimerizzazione, come risultato dell'energia fornita mediante specifici agitatori, il CVM viene disperso in acqua e mantenuto disperso in un sistema in moto turbolento. La tensione superficiale all'interfaccia tra CVM ed acqua viene modificata da piccole quantità di agenti, detti sospendenti primari, che hanno anche funzioni stabilizzanti e protettive della individualità delle gocce in fase di collisione e possibile coalescenza, mentre la tensione interfacciale tra CVM e PVC all'interno delle gocce, durante la polimerizzazione, viene modificata da agenti tensioattivi, che hanno anche azione stabilizzante e protettiva delle microparticelle di polimero che si formano all'interno delle gocce disperse (questi agenti sono detti usualmente sospendenti secondari). Le gocce di CVM disperse in acqua contengono disciolto l'iniziatore che decomponendosi produce radicali; quando l'iniziatore o gli iniziatori cominciano a decomporsi, si innesca ed avviene la conversione del CVM a PVC. Il calore di polimerizzazione, pari a 30 Kcal/mole, viene rimosso attraverso acqua fredda che scorre sulle pareti o nella camicia del reattore e/o attraverso il CVM che evapora; il CVM che evapora viene condensato e ritorna nelle gocce, luoghi di reazione. Quando viene raggiunta la conversione monomero-polimero desiderata (usualmente intorno al 90%), il CVM non polimerizzato viene allontanato e recuperato, le particelle-granuli di PVC vengono separati dall'acqua, in cui erano dispersi, mediante centrifugazione e quindi seccati dell'acqua residua (nell'intorno del 15%) in forni rotanti o a letto fluido; l'insieme delle particelle-granuli di PVC sospensione così ottenuti sono il prodotto PVC destinato ad essere trasformato in manufatti.

La dimensione delle particelle-granuli di polimero e la loro morfologia interna e porosità sono determinate e controllate dall'energia e dalla uniformità di energia distribuita nel reattore attraverso il sistema di agitazione e dalla natura e concentrazione di agenti sospendenti primari e secondari presenti nel sistema polimerizzante. Sebbene tutti i processi di produzione del PVC sospensione siano sostanzialmente simili, la realizzazione della dispersione uniforme di energia in tutto il reattore (di dimensioni fino a 250 m^3), i sospendenti primari e secondari e gli iniziatori usati differiscono significativamente tra loro e costituiscono il "know how" dei diversi produttori. Il diametro medio d delle gocce di CVM disperse in acqua, in un sistema contenente vari agenti tensioattivi e stabilizzanti ed in una situazione di equilibrio tra frammentazione e coagulazione, dipende dall'energia meccanica fornita dall'agitazione e cioè dal numero di giri N dell'agitatore di diametro D, oltrechè dalla densità r e tensione superficiale s della fase dispersa secondo la relazione [14]:

$$d = \gamma D \left(\frac{\rho N^2 D^3}{\sigma} \right)^{0,6}$$

dove γ è la tensione interfacciale che si realizza tra la specifica fase CVM e la specifica fase acqua. La relazione deriva sostanzialmente dal bilancio delle forze che operano sulle gocce disperse in un campo di moto turbolento; da una parte, un'azione tangen-

ziale che tende a rompere le gocce e dall'altra la tensione superficiale s che tende a mantenere l'integrità ed identità delle stesse. La distribuzione dimensionale delle gocce di CVM ed, alla fine della polimerizzazione, delle particelle-granuli di PVC-sospensione, è correlata con il diametro medio attraverso il numero di Weber $\rho N^2 D^3/\sigma$, che è un parametro adimensionale, contenente le caratteristiche fisiche r e s del CVM e della fase dispersa ed i parametri meccanici, numero N di giri e diametro D dell'agitatore, in un dato sistema in moto turbolento.

Schematicamente e qualitativamente, la formazione delle particelle-granuli di PVC sospensione può essere divisa in due parti:

- la rottura nel reattore di polimerizzazione della fase CVM in gocce disperse in acqua e l'iniziale formazione delle particelle-granuli;
- la costruzione-consolidamento della struttura portante delle particelle-granuli e lo sviluppo della loro porosità.

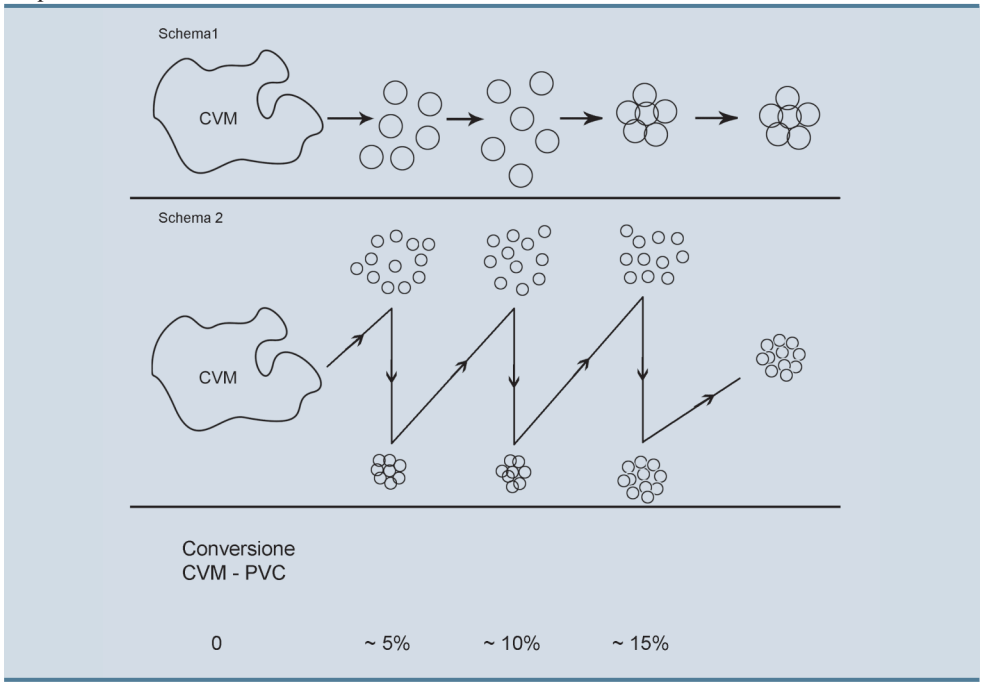
A) Dispersione del CVM in acqua e formazione iniziale delle particelle-granuli di PVC

L'energia meccanica fornita dal reattore (agitatore, frangiflutti) al sistema acqua-CVM rompe, all'inizio del processo, la fase CVM in gocce di diametro tra 5 e 50 μ. La rottura della fase monomero è facilitata dalla presenza nel sistema acqua-CVM di agenti sospendenti (usualmente detti primari) con azione tensioattiva e stabilizzante, che si assorbono all'interfaccia acqua-monomero. Questo assorbimento all'interfaccia riduce la tensione interfacciale tra acqua e CVM e conseguentemente l'energia richiesta per suddividere la fase CVM in gocce. I sospendenti tensioattivi-stabilizzanti più utilizzati sono polimeri e copolimeri, caratterizzati da un opportuno bilancio di gruppi idrofili e lipofili; una volta assorbiti all'interfaccia della goccia di CVM, le proprietà elastiche del polimero tensioattivo-stabilizzante forniscono una buona protezione contro la coalescenza delle particelle di CVM che in regime di moto turbolento sono soggette a frequenti collisioni. La dimensione delle gocce di CVM dipende dall'agitazione e dalla natura chimica e concentrazione degli agenti tensioattivi-stabilizzanti presenti ed aggiunti al sistema. In presenza di alte concentrazioni di agenti sospendenti con forte azione stabilizzante e moderata azione tensioattiva e adottando sistemi di agitazione del reattore relativamente blandi (pur sempre tali da restare in regime turbolento), le gocce di monomero, relativamente grandi (diametro 30-40 μ) e stabili hanno, nella prima fase del processo di polimerizzazione, buona probabilità di mantenere la loro identità, come mostrato nello schema 1 di figura 14.7.

Il procedere della polimerizzazione del CVM a PVC modifica profondamente l'interfaccia CVM-H_2O in quanto gli agenti sospendenti tensioattivi stabilizzanti (a base ad esempio di polivinilalcol, copolimeri vinilacetato-vinilalcol e di cellulose variamente esterificate) vengono sempre più assorbiti all'interfaccia delle gocce, in corrispondenza aumenta su di essi il graffaggio del PVC e contemporaneamente la viscosità delle gocce aumenta. In questa condizione, diminuita l'azione stabilizzante, le gocce monomero-polimero ad una conversione monomero-polimero nell'intorno del 10% si aggregano-coagulano regolarmente formando le particelle finali di diametro tra 100 e 200 μ, da cui risulteranno i granuli finali di polimero.

Con relativamente basse concentrazioni di sospendenti con forte azione tensioattiva e moderata azione stabilizzante e con forti agitazioni nel reattore, le dimensioni iniziali delle gocce di CVM risultano relativamente piccole (diametro tra 10 e 20 μ) e nella prima fase del processo di polimerizzazione esse sono in equilibrio dinamico tra rottura e coalescen-

Figura 14.7 - *Schemi di aggregazione delle particelle di CVM nella polimerizzazione in sospensione*



za, come mostrato nello schema 2 di tabella 11. In questo caso, l'aggregazione-coagulazione controllata delle gocce polimerizzanti a particelle di diametro tra 100 e 200 μ avviene quando la struttura fisica del PVC, che si forma dentro le gocce, aumenta la viscosità del sistema polimerizzante in modo tale da prevenire ulteriore rotture e coalescenze [15].

Una volta che la agglomerazione delle gocce monomero-polimero è avvenuta, il numero delle particelle-granuli di polimero restano costanti fino al completamento della reazione di polimerizzazione. Polimerizzazioni che seguono lo schema 1 di tabella 11, danno particelle-granuli sferici di bassa porosità ed alta densità apparente. In casi estremi, le gocce iniziali di CVM sono così stabili che non avviene alcun processo di aggregazione. Con agitazioni molto energiche ed usando sospendenti stabilizzanti relativamente poco efficaci (schema 2 di tabella 11), si ottengono particelle granuli PVC più porosi e con struttura più aperta, come conseguenza di un importante processo di aggregazione in un sistema inizialmente molto disperso.

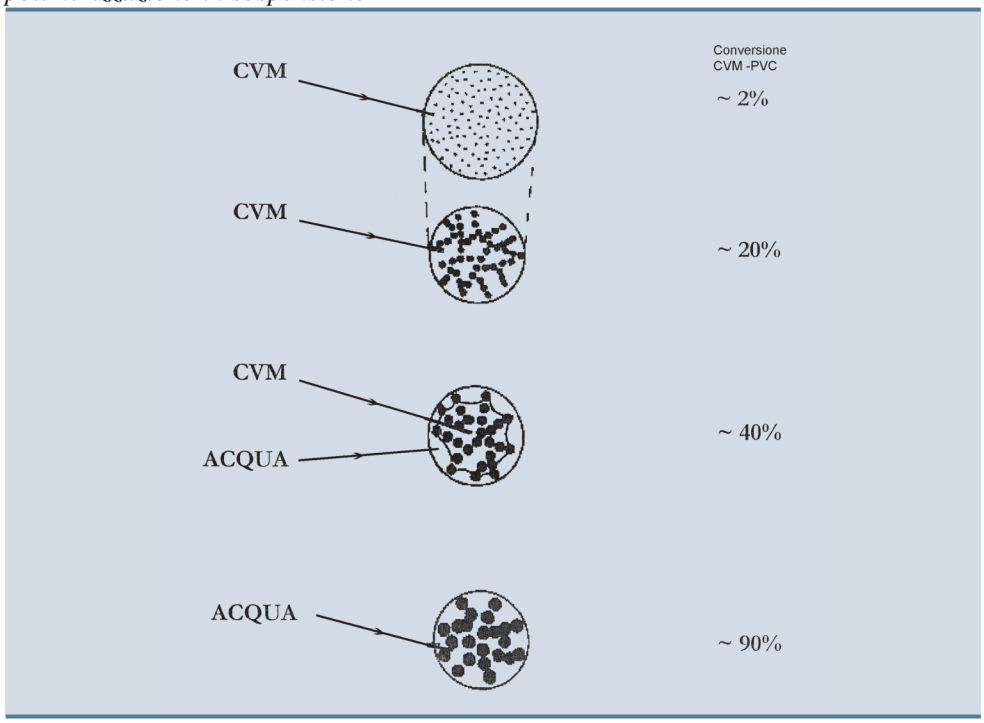
B) Costruzione della struttura portante all'interno delle gocce e particelle-granuli al procedere della polimerizzazione del CVM

Dal momento che la densità del PVC è maggiore di quella del suo monomero CVM (1,393 gr/cc contro 0,860 gr/cc a 50°C), le gocce di CVM in sospensione si contraggono durante la polimerizzazione. Se la contrazione fosse completa, le particelle di PVC prodotte non avrebbero porosità interna. Se la contrazione venisse completamente prevenuta, le particelle di polimero avrebbero porosità fino al 40%; porosità intermedie si ottengono con contrazioni intermedie. A conversioni monomero-polimero molto basse

(inferiori al 1%), le gocce di CVM contengono un gran numero di micro-particelle di PVC (diametro di qualche decimo di μ), stabilizzate elettrostaticamente, che si muovono per moto Browniano. Queste micro-particelle crescono in dimensioni, come risultato di una serie aggregazioni successive; la causa probabile di questa aggregazione sta nel fatto che le micro-particelle di PVC, rigonfiate di CVM, hanno bassa transizione vetrosa (circa -70°C), sono di fatto dei "gel viscosi" e quando collidono, si aggregano per dare particelle sempre più grandi. Al procedere della polimerizzazione, la dimensione delle micro-particelle polimeriche aumenta e la frazione di CVM libero diminuisce. Il risultato è la formazione di un reticolo continuo di micro-particelle di PVC aggregate all'interno delle gocce, come schematicamente e qualitativamente mostrato in figura 14.8. La costruzione di una sufficiente struttura reticolare portante nella più parte dei processi industriali, si realizza a conversioni da CVM a PVC nell'intorno del 10%, che è anche approssimativamente la conversione alla quale le gocce di CVM-PVC in sospensione completano l'agglomerazione tra di loro, formando le particelle da cui si originano i granuli finali di polimero. Se le strutture aggregate interne alle gocce di CVM in polimerizzazione sono abbastanza forti, esse prevengono ulteriori contrazioni delle gocce e degli aggregati di microparticelle, dove si continua e completa la polimerizzazione. Più bassa è la conversione alla quale avviene la formazione di una struttura forte di particelle all'interno delle gocce, più alta risulta la porosità delle particelle-granuli finali prodotti.

Il numero e la stabilità delle microparticelle di PVC all'interno di una goccia in polimerizzazione è influenzato anche da:

Figura 14.8 - *costruzione della struttura portante nelle gocce di CVM al procedere della polimerizzazione in sospensione*



- gli additivi solubili nel CVM, usualmente detti sospendenti secondari, che avendo azione tensioattiva e stabilizzante all'interfaccia CVM/PVC, modificano il reticolo-struttura portante all'interno delle gocce e perciò la porosità dei granuli finali;
- l'agitazione e l'energia data al sistema polimerizzante in sospensione acquosa; più forte l'agitazione, più forte la sollecitazione sulle micro-particelle polimeriche che formano un reticolo stabile a basse conversioni e portano a particelle-granuli di polimero più porosi; l'aumento della porosità con l'intensità di agitazione è un fatto conosciuto [16] nella pratica industriale;
- la temperatura di polimerizzazione, che al suo aumentare aumenta anche le dimensioni delle micro-particelle polimeriche con conseguente formazione di reticoli-strutture portanti più deboli, meno capaci di resistere alla contrazione e pertanto le particelle-granuli di polimero prodotti risultano relativamente meno porosi.

Una volta che il reticolo-struttura portante costituito da micro-particelle si è formato all'interno di una goccia, la crescita delle micro-particelle polimeriche continua al procedere della polimerizzazione con graduale riempimento della parte porosa della struttura reticolare; l'interno di ciascuna particella-granulo di PVC contiene particelle polimeriche rigonfiate di CVM, sempre meno CVM libero non polimerizzato ed H_2O. In queste condizioni le micro-particelle all'interno di una particella-granulo sono soggette a forti azioni capillari, che tendono a fonderle assieme riducendo la loro porosità; l'aggiunta a questo punto della polimerizzazione di un tensioattivo specifico, che riduce le forze capillari, è tra le tecnologie utilizzate per aumentare significativamente la porosità del PVC prodotto.

Schematicamente ed in maniera sovrasemplificata, nel processo di polimerizzazione in sospensione, il CVM liquido viene inizialmente disperso nell'acqua, in cui è scarsamente solubile, dall'energia meccanica data al sistema acqua-CVM, in maniera uniforme, in tutto il reattore. Piccole quantità di sostanze tensioattive-stabilizzanti (dette sospendenti primari) aggiunte al sistema e che si pongono all'interfaccia CVM/acqua, facilitano la dispersione iniziale del CVM in acqua e contribuiscono a stabilizzare le particelle di CVM disperse permettendo loro di mantenere la loro individualità pure in condizioni di collisioni multiple, quali si verificano in regime di moto turbolento. Altre piccole quantità di tensioattivi che si pongono all'interfaccia tra CVM e PVC nelle micro-particelle in polimerizzazione, all'interno delle gocce, regolano, ad una data temperatura e con una data agitazione, il numero e la coagulazione di queste micro-particelle di PVC al procedere della polimerizzazione determinando la struttura fisica interna (porosità ed accessibilità) delle particelle-granuli di PVC sospensione prodotti.

Il processo industriale di polimerizzazione in sospensione del CVM è attualmente realizzato in reattori, rivestiti in acciaio inox, di capacità superiori a 200 m^3 (reattori di diametro 5,5 m ed altezza 10 m), dotati di specifici sistemi di agitazione (agitatori con pale a diverse altezze ed opportuni frangiflutti) e capaci di rimuovere il calore di polimerizzazione con metodi tradizionali (camicia di raffreddamento, iniezione di acqua di raffreddamento nel reattore) e con condensatore a ricadere del CVM che evapora e viene riportato nelle gocce luoghi di reazione. Questi reattori assicurano uniforme agitazione, in condizioni di moto turbolento, a tutto il sistema reagente, operano a ciclo chiuso per centinaia, fino a migliaia di cariche, grazie a reattivi antisporcanti che mantengono pulite, e regolarmente scambianti il calore, tutte la superfici interne e raggiungono produttività fino a 700 ton./m3 anno.

Lo stato attuale della tecnologia di polimerizzazione in sospensione del CVM è il

risultato di circa 50 anni di ricerca e sviluppo con utilizzo e messa assieme in ottimale combinazione dei seguenti fattori condizionanti:

- il moto turbolento uniforme di sistemi liquidi eterogenei in presenza di opportuni agenti tensioattivi e stabilizzanti con la capacità di influenzare le dimensioni esterne e la morfologia interna delle particelle-granuli di PVC prodotto;
- l'elevata e lineare velocità di polimerizzazione con lo smaltimento del calore di reazione anche mediante evaporazione del CVM reagente, riportato in reazione attraverso un condensatore;
- la protezione delle superfici dei reattori di polimerizzazione e dei condensatori con permanenza della loro capacità di scambio termico per centinaia-migliaia di polimerizzazioni operando in tecnologia di reattore chiuso.

Il risultato complessivo è quello di aver trasformato un processo discontinuo con fasi a reattore aperto, quale era inizialmente la polimerizzazione in sospensione del CVM, in un processo continuo ed a ciclo chiuso, ottimizzato per quanto riguarda il controllo e la completa uniformità del prodotto e per quanto riguarda la sua produttività.

14.1.2.4 Aspetti ambientali e di sicurezza del processo di polimerizzazione in sospensione del CVM e dei corrispondenti prodotti PVC

Attualmente in Italia ed in Europa, come schematicamente mostrato in tabella 8, le produzioni industriali del CVM e del PVC sospensione avvengono in un "sistema chiuso" in stabilimenti produttivi integrati. Nel sistema entrano le materie prime cloro, etilene, ossigeno e acido cloridrico e da esso escono le particelle-granuli del polimero PVC prodotto. All'interno del sistema chiuso si realizzano reazioni chimiche e processi di trasformazione degli intermedi 1, 2-dicloroetano e CVM e si produce il polimero PVC. I processi all'interno del sistema chiuso sono automatizzati e condotti da computers. Inoltre i reattori, sistemi di carico, trasporti operano a ciclo chiuso; gli operatori non vengono a contatto con gli intermedi 1, 2-dicloroetano e CVM che sono sostanze di conosciuta tossicità ed il PVC che esce dal sistema chiuso è inerte e praticamente esente da CVM (contenuto nell'intorno di 1 ppm). I sottoprodotti del ciclo industriale di produzione del PVC vengono recuperati e lavorati per ottenere materie prime ed energia; gli effluenti gassosi vengono collettati, trattati ed alla fine inceneriti; gli effluenti liquidi vengono raccolti, purificati, filtrati per rimuovere i solidi e poi vanno al trattamento biologico ed i fanghi del trattamento biologico vanno ad un inceneritore. L'atmosfera all'interno del sistema chiuso viene controllata continuamente per quanto riguarda il contenuto in CVM, con milioni di analisi all'anno; vi sono punti fissi di prelievo dell'atmosfera con analisi cromatografiche e spettrometriche, ripetute a frequenze di minuti e misuratori in continuo sugli operatori durante il loro periodo di lavoro negli impianti e vi sono determinazioni del contenuto in 1, 2-dicloroetano nell'atmosfera. I lavoratori che operano nella zona sorvegliata del sistema chiuso sono soggetti, in accordo alla legge, ad analisi mediche periodiche e tutti i dati di loro esposizione sono sotto il controllo delle autorità sanitarie. Come risultato di questa situazione produttiva, che comprende definite tecnologie e procedure operative:

- gli inceneritori degli effluenti e dei sottoprodotti hanno emissioni di diossine inferiori ai 0,1 nanogrammi/m^3;
- le esposizioni medie al CVM degli operatori negli impianti produttivi di CVM e PVC sospensione sono tra 10 e 20 volte più basse dei 3 ppm richiesti dalla legge italiana ed europea;

- il PVC polimero che esce dal sistema chiuso ed è utilizzato dai trasformatori per produrre tutti i diversi manufatti in PVC, ha contenuti di CVM residuo nell'intorno di 1 ppm ed è inerte.

14.2 Prodotti PVC sospensione, trasformazione in manufatti e settori applicativi

14.2.1 Prodotti PVC sospensione

La polimerizzazione in sospensione del CVM, condotta in accordo alle tecnologie sopra schematicamente descritte, permette di ottenere prodotti diversi per peso molecolare medio, caratteristiche morfologiche interne e distribuzione dimensionale delle particelle-granuli. I principali fattori fisici e chimici responsabili di queste diversità sono la temperatura di polimerizzazione, gli additivi aggiunti in polimerizzazione e l'energia fornita al sistema reagente CVM/PVC disperso in acqua nei reattori di polimerizzazione. I prodotti PVC sospensione, comunemente utilizzati nella trasformazione industriale in manufatti destinati ai molteplici settori applicativi, sono ottenuti da polimerizzazioni del CVM condotte nell'intervallo di temperatura da 50 a 70°C, hanno pesi molecolari media numerica ($\overline{PM}_n$) nell'intervallo da 20.000 a 100.000 e pesi molecolari media ponderale ($\overline{PM}_w$) nell'intervallo da 40.000 a 500.000.

Nella pratica industriale e commerciale, i diversi prodotti PVC sospensione vengono definiti ed individuati dall'indice K di Fikentsher (ottenuto da misure di viscosità di soluzioni di PVC in cicloesanone alla concentrazione di 0,5 gr/100 cc a 25°C), che è in relazione con i pesi molecolari del polimero. I prodotti PVC sospensione di maggior utilizzo commerciale hanno valori K di Fikentsher compresi tra 55 e 80 ed i più utilizzati in assoluto tra 65 e 70. La tabella 14.1 riporta per la gamma dei PVC sospensione più utilizzati industrialmente, il valore K di Fikentsher ed i corrispondenti pesi molecolari medi.

Tabella 14.1 - *Corrispondenza tra il valore K di Fikentsher ed i pesi molecolari medi di campioni di PVC sospensione*

Valore K	$\overline{PM}_n$	$\overline{PM}_w$
45	20.000	40.000
50	30.000	54.000
55	36.000	70.000
60	45.000	100.000
65	55.000	140.000
70	64.000	200.000
75	73.000	260.000
80	82.000	340.000
83	91.500	480.000

Per quanto riguarda la configurazione-tatticità, le molecole di PVC, come ottenute dai processi industriali di polimerizzazione in sospensione a temperature nell'intervallo da 50 a 70°C, sono prevalentemente costituite (il 90% circa) da sequenze di unità strutturali atattiche, non ordinate cioè le une rispetto alle altre come disposizione nello spazio. Con tatticità inferiori al 10%, la cristallinità raggiungibile nei prodotti PVC sospensione di interesse commerciale non supera il 10%; questa cristallinità che deriva dalla piccola frazione di sequenze sindiotattiche presenti nel PVC è costituita da zone cristalline piccole ed imperfette, che hanno però influenza ed importanza sulle caratteristiche fisico meccaniche dei corrispondenti manufatti [17].

I prodotti PVC sospensione, comunemente utilizzati commercialmente, sono costituiti da particelle-granuli di diametro medio nell'intorno di 150 μ con distribuzione dimensionale nell'intervallo da 50 a 200 μ (come riportato ad esempio in tabella 5), hanno normalmente densità apparenti comprese tra 0,45 e 0,6 gr/cm^3 e porosità interne alle particelle-granuli nell'intervallo tra 0,2 e 0,3 cc/gr. Queste caratteristiche fisiche generali (diametro e distribuzione dimensionale, porosità e densità apparenti) sono ottenute direttamente nel processo di polimerizzazione ed assicurano da una parte un buon scorrimento delle particelle-granuli di PVC nei trasporti pneumatici (scorrimento come quello di un fluido) e dall'altra una buona interazione con gli additivi stabilizzanti, lubrificanti e cariche, quale è richiesta per un processo regolare ed uniforme di trasformazione del PVC sospensione in manufatti.

14.2.2 Processi di trasformazione

La trasformazione del PVC sospensione in manufatti destinati a molteplici applicazioni avviene con tecnologie (formulazioni e processi) diverse in funzione del tipo di manufatto che si vuole produrre. Prima del processo di trasformazione, il PVC sospensione viene sempre aggiunto e fatto interagire con uno o più additivi (come stabilizzanti, lubrificanti, cariche, plastificanti e pigmenti) che proteggono il polimero durante la trasformazione ed il manufatto quando in opera e permettono inoltre di impartire ai manufatti le caratteristiche fisico-meccaniche-prestazionali richieste dalla applicazione di destinazione. Gli stabilizzanti servono per proteggere il PVC durante la trasformazione e per dare ai corrispondenti manufatti lunga vita in opera; essi possono essere a base di saponi metallici, quali quelli di piombo e calcio-zinco, a base di composti organici, come gli antiossidanti ed a base di composti organometallici, come quelli di stagno; vengono addizionati al PVC in quantità nell'intorno dell'1% e restano saldamente inglobati nella matrice polimerica dei manufatti in PVC. I lubrificanti, in particolare quelli definiti esterni, hanno la funzione di ridurre l'attrito tra la macchina trasformatrice e la mescola a base di PVC che viene lavorata; i più utilizzati sono a base di stearati di zinco, magnesio e calcio e vengono aggiunti al PVC in quantità dello 0,1% circa. La loro azione, spesso sinergica con quella dello stabilizzante, è essenzialmente legata alla parte idrocarburica della molecola dei lubrificanti (specificatamente alla lunghezza, ramificazioni e gruppi presenti nella catena idrocarburica) e si basa da una parte sulla solubilità e compatibilità con il polimero PVC e dall'altra sull'interazione con le parti metalliche della macchina trasformatrice. Le cariche, costituite da materiale inorganico, usualmente carbonato di calcio e caolino opportunamente rivestiti e di dimensioni medie inferiori ad 1 μ, sono specificatamente costruite per essere, per compatibilità e dimensionale, addizionate al PVC sospensione. Esse sono capaci di migliorare alcune caratteristiche dei

manufatti a base di PVC come la stabilità dimensionale, la rigidità e durezza e la resistenza agli agenti chimici abbassando anche contemporaneamente il costo delle mescole a base di PVC.

I plastificanti sono solventi poco volatili del PVC; specificatamente si tratta di liquidi ad alto punto di ebollizione, come gli esteri degli acidi ftalico, adipico, trimellitico, sebacico e citrico o solidi a basso punto di fusione. A causa della loro struttura chimica e dimensione molecolare, questi composti plastificanti, a temperatura ambiente, interagiscono lentamente con il PVC, mentre a temperature intorno a 150°C disciolgono rapidamente il PVC e formano con esso masse omogenee e continue che, riportate a temperatura ambiente, mostrano flessibilità ed elasticità, che sono funzione della quantità e del tipo di plastificante presente. La capacità del PVC di interagire con diverse quantità e tipi di plastificanti, trasformandosi in prodotti che, a temperatura ambiente, sono variamente flessibili, è quasi unica e sta alla base dei molteplici prodotti ed applicazioni a base di PVC che comprendono prodotti flessibili fino a basse temperature (-30°C) e prodotti flessibili idonei ad essere impiegati a temperature elevate fino a 110°C. Anche altri additivi sono aggiunti in minori quantità al PVC prima della trasformazione, quali pigmenti coloranti, fibre, gomme, rinforzanti e protettori UV e tutti hanno una specifica funzione nell'ottimizzare la performance in opera di uno specifico manufatto a base di PVC; le molteplici formulazioni usate e le procedure di lavorazione sono usualmente parte del know-how di ciascun produttore di manufatti in PVC.

L'insieme di PVC sospensione ed additivi, nella proporzione e nel tipo voluto, prima di essere lavorati nelle macchine trasformatrici, vengono mescolati (a freddo ed a caldo) per ottenere una distribuzione il più possibile uniforme degli additivi sul PVC. La successiva lavorazione di questa mescola, nella quale gli additivi sono uniformemente distribuiti, ha luogo nelle macchine trasformatrici (estrusori, calandre e presse di stampaggio ad iniezione); queste macchine trasformatrici forniscono alla mescola a base di PVC energia meccanica e termica capaci di disgregare i granuli-particelle di PVC che hanno interagito con gli additivi e capaci di ricompattarli, dopo un'appropriata fusione-gelificazione, con formazione dei manufatti finali. La gelificazione ottimale di una mescola a base di PVC non necessariamente è quella che corrisponde a fusione totale e completa delle micro-particelle e microstrutture, comprese le piccole zone cristalline, presenti nei granuli-particelle di PVC sospensione; nella produzione di manufatti rigidi come tubi e finestre, la gelificazione-fusione dei granuli-particelle di PVC ottimale per ottenere il massimo di caratteristiche fisico-meccaniche (come resistenza all'urto nei profili finestra e resistenza alla pressione interna nei tubi per il trasporto di acqua potabile) non è totale, ma parziale e variante anche con il peso molecolare del PVC utilizzato. Le tecnologie di trasformazione più utilizzate per lavorare le mescole di PVC sospensione ed additivi e produrre manufatti sono l'estrusione, la calandratura e lo stampaggio ad iniezione.

La tecnologia di estrusione è la più diffusa ed impiegata per la produzione di manufatti continui come tubi, profili per porte e finestre, film sottili per imballaggio e rivestimenti continui di cavi elettrici e telefonici. La parte principale della tecnologia di trasformazione usata, detta estrusore, è costituita da un cilindro entro il quale ruota una vita senza fine; per ridurre i tempi di lavorazione e migliorare l'uniformità di lavorazione e di caratteristiche dei manufatti prodotti sono stati sviluppati e sono estesamente utilizzati estrusori biviti. Nella lavorazione, la mescola di PVC contenente stabilizzanti, lubrificanti ed eventualmente cariche, uniformemente dispersi, viene immessa in conti-

nuo nella tramoggia dell'estrusore e, mentre procede trasportata tra vite e cilindro, viene riscaldata e compressa, anche per effetto dell'attrito tra mescola e macchina trasformatrice; il risultato è che la mescola diventa fusa in modo ottimale giusto prima di venir sospinta attraverso il foro di uscita. Questo, detto filiera o matrice, è sagomato secondo la forma che si vuole dare al manufatto; è quindi a sezione piatta per la produzione di film e di laminati, a sezione di corona circolare per la produzione di tubi e film tubolari ed a sezione più elaborata quando si producono profilati di forma complessa, come quelli per porte e finestre. All'uscita dalla filiera, il prodotto fuso viene raffreddato, con storia termica definita e costante, per dare al manufatto la forma definitiva voluta e le caratteristiche fisiche richieste. La tecnologia dell'estrusione, abbinata alla tecnologia del soffiaggio, viene normalmente utilizzata anche per la produzione di corpi cavi, come le bottiglie e flaconi.

La tecnologia di trasformazione per calandratura è largamente utilizzata per la trasformazione del PVC in film-lastre rigide e film flessibili di varia larghezza e spessore. Il polimero PVC, addizionato con stabilizzanti, lubrificanti e coloranti viene prima lavorato a caldo in estrusore per essere trasformato in una massa uniforme e quindi questa massa uniforme viene lavorata nella calandra, costituita da una serie di coppie di cilindri riscaldati paralleli via via più vicini tra loro, dove viene trasformata in lastre rigide, che vengono poi tagliate nelle dimensioni volute o trasformata in film che vengono bobinati. I film calandrati in PVC rigido possono essere sottoposti a successivi trattamenti di nobilitazione, quali la metallizzazione (ottenuta per sublimazione sotto vuoto spinto di alluminio) largamente utilizzata per gli effetti estetici che essa impartisce ai manufatti prodotti.

Lo stampaggio ad iniezione permette di produrre con grande precisione oggetti come raccordi di tubazioni, valvole regolatrici di flusso di fluidi, corpi delle macchine da scrivere e dei calcolatori e protesi artificiali da trapiantare nel corpo umano. Le tecniche di stampaggio ad iniezione più usate comprendono la pressa a pistone con cilindro riscaldato, dove la mescola a base di PVC viene fusa e spinta da un pistone attraverso un piccolo ugello e la pressa a vite, in cui la mescola a base di PVC viene fusa nel cilindro riscaldato e spinta attraverso l'ugello dalla vite rotante. In ambedue i casi, la mescola fusa viene iniettata a pressione in uno stampo fino a riempirne completamente la cavità; avvenuta la solidificazione per raffreddamento controllato e costante, lo stampo si apre e risulta il manufatto voluto.

L'importanza quantitativa in Italia ed in Europa, in termini di manufatti prodotti, delle principali tecnologie di trasformazione del PVC sospensione, è quella schematicamente sotto rappresentata.

Tecnologia di trasformazione	*Manufatti prodotti*	*Distribuzione (%)*
■ Estrusione	Tubi rigidi e flessibili Profili rigidi e flessibili Rivestimento cavi e fili	77
■ Calandratura	Lastre e film rigidi e flessibili	19
■ Stampaggio ad iniezione	Raccordi e valvole di tubazioni Scocche per macchine da scrivere, computers, TV	4

14.2.3 Settori applicativi dei manufatti a base di PVC sospensione

Le principali applicazioni e settori industriali di destinazione ed utilizzo dei manufatti in PVC sospensione sono schematicamente e quantitativamente riportate, con riferimento all'Italia nel 2003-2004, nelle tabelle 1.1 e 1.2. Le destinazioni prevalenti dei manufatti in PVC sospensione sono l'edilizia e le costruzioni, l'imballaggio, il rivestimento di cavi elettrici e telefonici, la cartotecnica e il mobile-arredamento, seguite da numerose applicazioni e destinazioni specifiche ed importanti quali le telecomunicazioni ed i dispositivi medicali.

Esse comprendono manufatti rigidi e variamente flessibili, che schematicamente possono anche venir raggruppate in segmenti applicativi e settori di utilizzo, come schematizzato in tabella 14.2.

Qui di seguito vengono brevemente riportate alcune delle principali caratteristiche e proprietà che hanno motivato la diffusione dei manufatti in PVC nei settori edilizia e costruzioni, imballaggio, cavi elettrici e dispositivi medicali.

Tabella 14.2 - *Segmenti applicativi e settori di utilizzo dei manufatti in PVC*

	Segmenti applicativi	*Settori di utilizzo*
PVC rigido	Tubi e raccordi	Edilizia, reti di distribuzione acque
	Profili per porte e finestre	Edilizia
	Film, lastre estruse e calandrate	Imballaggio e cartotecnica
	Flaconi e bottiglie	Imballaggio di alimentari, farmaceutici, detergenti, cosmetici e farmaceutici
PVC flessibile	Film e fogli estrusi	Impermeabilizzazione, imballaggi, cartotecnica
	Cavi elettrici e telefonici	Isolamento elettrico e telefonico
	Pavimenti	Edilizia
	Calzature, articoli sportivi e giocattoli	Tempo libero

Edilizia e costruzioni

Nell'edilizia e nelle costruzioni sono estesamente utilizzate le tubazioni ed i raccordi per condotte di acqua (potabile, fognaria e di scarico negli edifici), gli infissi per porte e finestre, le tapparelle e le pavimentazioni tutti a base di PVC. Le tubazioni in PVC per il trasporto di acqua potabile hanno spessori determinati dalla pressione di esercizio, che può raggiungere 25 bar e garantiscono, se conformi alle norme UNI-EN e poste in opera correttamente, durate in esercizio superiori a 50 anni. Negli ultimi anni, queste tubazioni hanno subito sviluppi nel polimero PVC utilizzato (peso molecolare, distribuzione dei pesi molecolari e contenuto in CVM residuo) e nei sistemi di stabilizzazione, come ad esempio le stabilizzazioni a base di sali di calcio-zinco e quelle a base di stabilizzanti organici, che hanno affiancato ed in parte stanno sostituendo quelle a base di piombo. Ovviamente tubazioni e condotte sono conformi alle norme e leggi specifiche che, in Italia ed in Europa, regolano il trasporto di acqua potabile.

Nel settore del trasporto di acque fognarie e acque di scarico negli edifici, le tubazioni in PVC hanno, tra quelle in materia plastica, una posizione preminente in Italia ed in Europa; le tubazioni per acque fognarie sono interrate, così come quelle per drenaggio stradale e di terreni e quelle di scarico di acqua per gravità sono inserite negli edifici civili ed industriali. Tra le proprietà richieste alle tubazioni interrate c'è la resistenza a compressione a carichi statici e dinamici e la deformazione contenuta entro limiti di sicurezza, per evitare schiacciamenti e perdite in corrispondenza ai punti di giunzione. Le tubazioni in PVC, che comprendono diametri fino a 1000800 mm, resistono elasticamente, senza danno permanente, fino a deformazioni dell'ordine del 25-30%, anche se nella progettazione si adotta una deformazione massima del 15%. Inoltre tutte le tubazioni in PVC, destinate al trasporto di acque, possiedono una buona resistenza all'urto (tale da far loro sopportare senza problemi le normali operazioni di trasporto ed installazione), hanno una buona resistenza chimica, essendo attaccate praticamente solo da solventi alogenati e dagli ossidanti più energici e sono intrinsecamente resistenti al fuoco. Per le tubazioni in PVC destinate ai diversi settori applicativi esistono normative specifiche a livello nazionale ed europeo ed un gruppo europeo di esperti che continuamente si occupa di aggiornare ed ottimizzare il contenuto tecnico e di garanzia prestazionale di queste norme e delle corrispondenti tubazioni. Lo sviluppo di nuovi disegni ingegneristici per il settore applicativo del trasporto di acque fognarie ha portato a tubazioni in PVC alleggerite (fino al 30% circa) rispetto a quelle compatte; specificatamente sono state sviluppate e vengono attualmente commercializzate tubazioni:

- con incavi longitudinali nello spessore delle tubazioni;
- a tre strati, uno interno espanso e due esterni compatti, ottenuti da coestrusione;
- a doppia parete, ottenuta da coestrusione di una parete interna liscia ed una esterna corrugata;
- con struttura esterna costolata, ottenuta per stampaggio a partire dal tubo estruso;.
- biorientate (dette in PVC-O), con caratteristiche fisico-meccaniche maggiori anche del 50% rispetto a quelle usuali di pari spessore.

Tutte le tubazioni in PVC destinate al trasporto di acque si caratterizzano per leggerezza, facilità di messa in opera e di giunzione-saldatura, resistenza chimica, elevata levigatezza e facilità di scorrimento dei fluidi, resistenza alla corrosione, resistenza agli attacchi di funghi e batteri ed in termini generali all'invecchiamento. Queste caratteristiche ed il collaudo pluridecennale in opera, in diverse condizioni ambientali, hanno giustificato la penetrazione e motivano la permanenza delle tubazioni in PVC nel trasporto di acque.

Le formulazioni a base di PVC utilizzate per la produzione di porte, finestre e tapparelle consentono l'ottenimento di manufatti rigidi, resistenti agli urti ed agli agenti atmosferici, con bassa conduttività termica e che non alimentano la combustione. Queste caratteristiche e la loro permanenza nel tempo con i manufatti in esercizio per decine di anni, stanno alla base della rapida penetrazione del PVC nel settore dei serramenti; il 50% delle finestre attualmente installate in Germania ed in Inghilterra ed il 10% di quelle installate in Italia sono in PVC. Le caratteristiche e le prestazioni dei serramenti in PVC e specificatamente delle finestre sono dettagliatamente definite in dedicate norme italiane UNI ed europee EN; queste caratteristiche comprendono:

- bassa conducibilità termica, che evita la formazione sui serramenti di condensa anche a basse temperature;

- bassa conducibilità acustica, che contribuisce a proteggere dai rumori esterni;
- elevata resistenza agli agenti atmosferici, come smog, nebbie saline ed atmosfere industriali con conseguente ridotta, praticamente nulla, esigenza di manutenzione.

Inoltre le porte e le finestre in PVC possono essere realizzate nelle tipologie, forme e dimensioni più varie ed hanno superfici ed aspetto diversi tali da poter essere inserite in qualunque contesto urbanistico ed in un amplissima gamma di tipologie costruttive.

I pavimenti in PVC vengono estesamente utilizzati negli edifici pubblici, quali ospedali, scuole e palestre; in Europa del Nord sono usati e diffusi anche nelle abitazioni private. In termini generali essi si caratterizzano per una lunga durata di vita, una eccellente resistenza all'abrasione e la ridotta necessità di manutenzione; non accumulano germi patogeni e sono facilmente sterilizzabili, consentendo l'elevata igienicità richiesta per le installazioni negli edifici pubblici ed in particolare negli ospedali. I componenti delle mescole a base di PVC che costituiscono i pavimenti vinilici sono essenzialmente quelli usuali delle formulazioni plastificate con in più additivazioni specifiche per produrre pavimenti antistatici, conduttivi, resistenti allo scivolo, con bassa improntabilità e ridotto innesco e propagazione della fiamma in caso di incendio. Su queste basi la gamma dei pavimenti vinilici disponibili è molto estesa e specifica per definite esigenze (comprese quelle estetiche) ed applicazioni; complessivamente nel 2004 circa il 60% delle pavimentazioni resilienti usate in Italia è risultato essere a base di PVC.

Imballaggio

Gli imballaggi rigidi e flessibili, corrispondenti a molteplici formulazioni a base di PVC, sono variamente impermeabili ai gas, al vapor d'acqua ed alla CO_2 e sono destinati a contenere un'ampia gamma di prodotti quali gli alimenti, i detersivi, i medicinali ed i cosmetici. Questi imballaggi possono essere trasparenti, modellati con alveolature e cavità ottenute per termoformatura in corrispondenza alle forme dell'oggetto da contenere, come, per esempio, i blister dei prodotti farmaceutici e le vaschette per alimenti. A causa della delicatezza e criticità delle applicazioni come l'imballaggio di alimenti e di medicinali, tutti i componenti (polimero, stabilizzanti e plastificanti) delle mescole a base di PVC utilizzate, devono specificamente rispondere a definiti criteri e controlli, stabiliti da norme e leggi nazionali ed europee, di atossicità. Il quadro normativo italiano ed europeo di obbligatorio riferimento per la produzione di imballaggi per alimenti comprendono la lista positiva dei materiali (polimero e additivi) che possono essere utilizzati e controlli e verifiche sulla capacità dell'imballaggio di non danneggiare e di preservare nel tempo la qualità anche organolettica dell'alimento. In sintesi ed in termini generali, gli imballaggi a base di PVC si caratterizzano e comprendono diversi prodotti aventi le proprietà richieste dalla specifica applicazione; l'estesa gamma di prodotti comprende e si caratterizza per inerzia chimica, resistenza agli oli e grassi, bilanciata permeabilità all'ossigeno ed alla anidride carbonica ed impermeabilità agli aromi e queste caratteristiche motivano la diffusa penetrazione dei prodotti a base di PVC nell' imballaggio alimentare.

Cavi elettrici

A causa della loro combinazione di proprietà, le mescole flessibili a base di PVC sono estesamente utilizzate nell'isolamento elettrico primario e secondario di cavi di trasporto di energia a tensioni fino a 6 kvolt; specificatamente esse vengono impiegate per le installazioni elettriche negli edifici, per cavi elettrici di macchinari, circuiti radio

ed apparecchiature telefoniche. Le caratteristiche che motivano questo esteso utilizzo sono l'elevata resistività elettrica, la buona resistenza dielettrica e l'eccellente robustezza meccanica in un ampio campo di temperature di esercizio. Oltre a questo, gli isolamenti elettrici a base di PVC possiedono una buona resistenza all'ossigeno, all'ozono ed alla maggior parte degli agenti chimici, una buona resistenza alla combustione con scarsa tendenza a propagare la fiamma in caso di incendio. L'ampia gamma di isolamenti elettrici a base di PVC è completamente e dettagliatamente definita nelle sue caratteristiche e prestazioni rispetto alle specifiche applicazioni di destinazione da norme e leggi nazionali ed internazionali.

Le mescole flessibili a base di PVC sono estesamente utilizzate nell'isolamento elettrico primario e secondario di cavi di trasporto di energia a tensioni fino a 6 kvolt. Le caratteristiche che motivano questo esteso utilizzo sono l'elevato isolamento elettrico, scarsa tendenza a propagare il fuoco e la lunga vita in esercizio senza invecchiamento, in accordo con le richieste delle norme e leggi che regolano in dettaglio tutto il settore dell'isolamento elettrico nei vari paesi.

Dispositivi medicali

Approvate dalla Farmacopea nazionale ed internazionale per uso medicale, le formulazioni a base di PVC sono impiegate per la fabbricazione di tubazioni per dialisi, circuiti per la circolazione sanguigna, componenti per la chirurgia cardiovascolare, cateteri, tubi endotracheali, contenitori per fleboclisi, sacche per raccolta di sangue e liquidi fisiologici, guanti sterili e tende ad ossigeno per ambulatori e sale operatorie. Ai materiali utilizzati nelle applicazioni biomedicali sono richieste caratteristiche quali trasparenza e bio-compatibilità con i tessuti ed i fluidi dell'organismo umano, perfetta saldabilità, possibilità di sterilizzazione e permanenza della sterilità e resistenza alla rottura durante la centrifugazione e lo stoccaggio del sangue a basse temperature. Tutte queste caratteristiche, dettagliatamente definite e descritte nella normativa e legislazione italiana e controllate dalle competenti autorità sanitarie, sono possedute dalle formulazioni a base di PVC estesamente utilizzate in tutto il mondo.

14.3 Compatibilità e sostenibilità ambientale dei manufatti a base di PVC

Le azioni umane ed i manufatti prodotti dall'uomo sono compatibili con l'ambiente quando soddisfano bisogni e richieste attuali senza compromettere e lasciare, con riferimento ai vantaggi del presente, prezzi troppo alti da pagare nel futuro; il rispetto di questo criterio realizza la sostenibilità nell'operare dell'uomo sulla terra.

In realtà ogni azione umana ed oggetto fabbricato hanno come effetto un impatto sull'ambiente; questo impatto deriva dal processo di produzione del materiale, dalla sua trasformazione in oggetto-manufatto, dalla sua vita in opera e dalla sua sorte quando diventa rifiuto.

Per essere significativa e confrontabile tra diversi manufatti che svolgono la stessa funzione e hanno la stessa prestazione in opera, la valutazione dell'impatto ambientale complessivo di un dato manufatto deve essere condotta secondo uno schema definito, standardizzato ed uniforme. La norma ISO 14040, emessa nel 1998, fornisce tale lo schema di riferimento da seguire che deve venir seguito nella valutazione dell'impatto ambientale di un manufatto; questa valutazione, viene usualmente

detta “life cycle assessment-LCA”, e viene riferita all’unità di funzione e prestazione, definita detta “unità funzionale” dello specifico manufatto. In accordo con loquesto schema della ISO 14040, l’analisi del ciclo di vita dell’unità di funzione e prestazione consiste nella compilazione e valutazione, per il sistema formato da tutti gli stadi-fasi di vita di un manufatto-unità funzionale, dei flussi (come energia e materie prime) in entrata nel sistema e di quelli in uscita (come rifiuti ed emissioni) e dei corrispondenti impatti ambientali. Specificamente, l’effettuazione del LCA di un manufatto passa attraverso:

- la preliminare definizione dell’unità funzionale da valutare e dei suoi confini per quanto riguarda le fasi di inizio , che comprende la definizione dei suoi confini di inizio vita vita (materie prime, produzione di intermedi e del manufatto), di vita in opera e e di fine vita (discarica, combustione, riciclo) del manufatto usato;
- l’elaborazione, per tutte le fasi di vita dell’unità funzionale (produzione, vita in opera e smaltimento), del diagramma di flusso di dettaglio con definizione ed attribuzione a ciascuna fase dei relativi flussi in entrata ed in uscita;
- la valutazione delle entità di modificazione ambientale che si generano nella produzione, vita in opera e smaltimento dell’unità funzionale-manufatto, compresi il consumo di energia e di materia prima ed il rilascio nell’ambiente di emissioni e rifiuti. Sulla base di queste modificazioni ambientali si definiscono le categorie di impatto ambientale rilevanti per l’unità funzionale considerata; queste, in termini generali, comprendono il consumo di risorse, il cambiamento climatico (usualmente chiamato riscaldamento globale), l’effetto sullo strato di ozono, la tossicità per l’uomo e per le acque, l’ossidazione fotochimica, l’acidificazione delle piogge e l’eutrofizzazione delle acque. Gli impatti ambientali, per ciascuna categoria vengono espressi calcolati utilizzando fattori di conversione-equivalenza che permettono di riferire l’impatto di una categoria ad una sola sostanza; così l’impatto sul riscaldamento globale di ciascuna emissione è espresso in kg equivalenti di CO_2 e l’impatto sul consumo di ozono è espresso in kg equivalenti di CFC11. L’insieme degli impatti ambientali di tutte le categorie considerate, ciascuna espressa da un solo valore attraverso l’uso dei fattori di conversione-equivalenza, rappresenta l’impatto ambientale complessivo, in tutta la sua vita, dell’unità funzionale-manufatto in esame;
- la normalizzazione dei risultati di impatto ambientale delle singole diverse categorie di impatto attraverso parametri di pesatura basati su conoscenze e riferimentoi all’impatto globale per esempio in un dato periodo in una definita area geografica; non sempre universalmente accettati); questa normalizzazione permette di rendere sintetici e confrontabili gli impatti ambientali di unità funzionali-manufatti di uguale prestazione;
- la interpretazione dei risultati di LCA con evidenziazione dell’importanza delle singole categorie di impatto ambientale per una data unità funzionale e la definizione con eventuale decisione di specifiche azioni di modifica e miglioramento.

Valutazioni di LCA, riferite ad una data unità funzionale, effettuate in accordo alla norma ISO 14040, sono capaci di fornire forniscono le risposte adeguate per metodologia e quantitative nella sostanza, qualora esistono tutte le informazioni necessarierichieste, alle domande sulla compatibilità ambientale e sulla sostenibilità di un dato manufatto, riferito ad una definita situazione di vita, rispetto ad altri alternativi.

I manufatti in PVC e l'industria che li produce sono stati e sono estesamente esaminati e studiati per il loro impatto sull'ambiente e sull'uomo, anche perché per la buona ragione che alcuni intermedi della filiera produttiva (specificamente il 1,2 dicloroetano ed il CVM) hanno conosciuti impatti ambientali (tossicità) sull'uomo e sull'ambiente ed alcuni additivi stabilizzanti utilizzati nella trasformazione del PVC in manufatti, (specificamente gli stabilizzanti a base di piombo e quelli a base di cadmio (ora non più utilizzati) hanno pure noti impatti ambientali e tossicità. Anche lo smaltimento dei manufatti in PVC a fine vita in opera è stato ed è estesamente esaminato allo scopo di individuare e sviluppare tecnologie capaci di recuperare e riciclare le materie prime in essi contenute e trasformarle in altri manufatti utili ed allo scopo di definire l'entità dei problemi e le soluzioni per lo smaltimento dei manufatti usati in discarica ed attraverso incenerimento.

Di seguito, per rispondere alle domande sull'impatto ambientale e sulla sostenibilità dei diversi manufatti-unità funzionali a base di PVC, vengono riportati i risultati di studi estensivi di LCA effettuati nel 2004 da M. Levi del Politecnico di Milano; per dare indicazioni sulla "riciclabilità" dei manufatti in PVC alla fine della loro vita in opera, vengono riportati esempi di tecnologie industriali di riciclo operanti in Europa ed in Italia.associato all'incenerimento dei rifiuti domestici (formazione di diossine) e per definire la possibilità tecnologica e la significatività economica del riciclo dei manufatti alla fine della loro vita in opera.

14.3.1 Valutazione del ciclo di vita LCA di manufatti in PVC

Per rispondere alle domande sulla compatibilità e sostenibilità ambientale dei manufatti a base di PVC, sono qui riportati, in maniera sintetica, i risultati di valutazioni di LCA, su tubi rigidi in PVC per il trasporto di acqua potabile e di fognature.

I principali indicatori di uno studio LCA sono essenzialmente di due tipi:

- **energetico** - sono i consumi d'energia necessaria a produrre l'unità funzionale (in questo caso un modello ben determinato di serramento o di avvolgibile). Li esprime il parametro **GER** (**G**ross **E**nergy **R**equirement) espresso in MJ che evidenzia il fabbisogno energetico complessivo;
- **ambientale** - illustrano il consumo di risorse naturali, le emissioni in aria e in acqua e i rifiuti solidi prodotti sempre riferiti all'unità funzionale generata. Il $\mathbf{GWP_{100}}$ (**G**lobal **W**arming **P**otential che è l'effetto serra potenziale a 100 anni) è espresso in Kg di CO_2.

Tubazioni per fognatura

Per quanto riguarda le tubazioni in PVC per fognatura, la metodologia LCA è stata applicata ai sistemi in:

- **PVC-U**: tubazione per condotte di scarico interrate non in pressione, prodotte in conformità alla UNI EN 1401;
- **gres**: tubazioni in gres ceramico, verniciati esternamente ed internamente, con giunto a bicchiere in conformità alle norme UNI EN 295 parti 1-2-3;
- **polietilene corrugato**: tubo strutturato in PE ad alta densità co-estruso a doppia parete, liscia internamente di colore bianco e corrugata esternamente di colore nero, per condotte di scarico interrate non in pressione, prodotto in conformità al prEN 13576-1 e alla norma italiana UNI 10968-1;
- **polietilene compatto**: tubo compatto in PE destinati alla distribuzione dell'acqua

prodotti in conformità alla UNI EN 12201:2004, e a quanto previsto dal D.M. n. 174 del 06/04/2004.

Lo studio ha analizzato le seguenti fasi: quella produttiva e quella di posa in opera **di una precisa "unità funzionale"** e cioè di 60 metri (m) di tubazione in pressione in PVC-U compatto, semi espanso e strutturato, gres e polietilene corrugato e compatto.

Al fine di effettuare un confronto più consono alla tipologia di manufatto e di applicazione sono state considerate, oltre alle tubazioni in PVC-U compatto, anche quelle in PVC strutturato e semi espanso. Inoltre un confronto adeguato prevede l'utilizzo di diametri interni (ossia diametri utili ai fini idraulici) paragonabili. Pertanto, nello studio sono state analizzate anche le performance ambientali delle condotte in PE compatto e corrugato di diametro esterno 315.

Tabella 14.3

Tubi PVC- U compatto	*Tubi PVC-U semiespanso (tipo A)*	*Tubi PVC- U strutturato (tipo B)*
■ PVC-U SDR41 SN 4 kN/m^2 DN 250 - massa= 7,6 kg/m	DN 250 - massa= 6,3 kg/m	DN 250 - massa= 4,6 kg/m
■ PVC-U SDR41 SN 4 kN/m^2 DN 630 - massa= 47,1 kg/m	DN 630 - massa= 37,7 kg/m	DN 630 - massa= 28,0 kg/m

Tabella 14.4

Tubi gres	*Tubi PE corrugato*	*Tubi PE corrugato (tipo C)*
■ Gres SN 160 kN/m^2 DN 250 - massa= 51 kg/	PE corrugato SN 4 kN/m^2 DN 250 - massa= 2,9 kg/m (PE) DN 315 - massa= 4,6 kg/m (PE DN 315)	DN 315 - massa= 11 kg/m
■ Gres SN 95 kN/m^2 DN 600 - massa= 220 kg/m	PE corrugato SN 4 kN/m^2 DN 630 - massa= 17,7 kg/m	

L'U.F. selezionata all'inizio della trattazione è una unità tipologica non funzionale. La vera U.F. per eseguire una corretta scelta progettuale deve essere identificata nel parametro utile di progetto ovvero la **portata**. Sono stati quindi ricalcolati i parametri della LCA con U.F. = portata utile della tubazione ottenendo così i valori corretti di GER e GWP utili ad una scelta ambientalmente sostenibile.

Tubazioni in pressione

Per quanto riguarda le tubazioni in PVC in pressione, la metodologia LCA è stata applicata ai sistemi in:

- **PVC-U**: tubazione conforme alla norma UNI-EN 1452 per condotte di acqua potabile secondo il DM n.174 del 06/04/2004;
- **ghisa sferoidale**: tubazione in ghisa sferoidale a giunto elastico "rapido" UNI 9163, rivestimento in malta cementizia d'altoforno centrifugata, esterno con strato zinco e vernice bituminosa;

- **polietilene ad alta densità**: tubazione in polietilene ad alta densità PE 100 a norma UNI EN 12201.

Lo studio ha analizzato le seguenti fasi: quella produttiva e quella di posa in opera di una precisa "**unità funzionale**" e cioè di 60 metri (m) di tubazione.

Tabella 14.5

Tipologia	*DN [mm]*	*D interno [mm]*	*PFA*	*Peso [kg/m]*
PVC-U	250	230,8	10	11,2
PE 100	250	221,2	10	11
Ghisa sferoidale	250	250	43	48

Qualora si prendano in considerazione pressioni di funzionamento maggiori di 10 bar, nel caso del PVC e del PE è necessario scegliere tubazioni più performanti che presentano pesi superiori (kg/m) e, di conseguenza, carichi ambientali maggiori.

È stata condotta un'analisi preliminare dell'influenza dell'utilizzo di scarti in PVC nel ciclo produttivo delle condotte in PVC-U.

Le simulazioni sono state condotte utilizzando come riferimento gli indicatori GER e GWP. I risultati mostrano che si può avere una riduzione di questi indicatori utilizzando PVC con contenuto di riciclo dal 10% al 50%.

I risultati dettagliati dell'analisi LCA sono oggetto di un'apposita documentazione richiedibile al PVC Forum Italia - Centro per l'Informazione sul PVC:

14.3.2 Recupero e riciclo dei manufatti a fine vita in esercizio

La fase di fine vita di un manufatto, dopo conclusa la fase in opera, è quella su cui è stata posta e viene attualmente posta molta attenzione per riusare, dopo appropriati trattamenti, il manufatto o per recuperare e riutilizzare, cioè riciclare, il materiale di cui il manufatto è costituito.

Esperienze e realizzazioni industriali mostrano che la raccolta di manufatti usati in PVC (es. imballaggi, finestre, pavimenti, tubi) alla fine della loro vita in esercizio e la loro separazione da materiali non PVC, attraverso specifici trattamenti e lavorazioni, permettono il recupero ed il riciclo del PVC con produzione di nuovi manufatti.

Sono estesamente commercializzati in Germania profilati per finestre con il cuore (circa il 70% del materiale) recuperato da vecchie finestre ed i rivestimenti a base di PVC dei cavi elettrici e telefonici usati, vengono normalmente, dopo appropriato trattamento, riciclati nella produzione di pavimentazioni e membrane impermeabilizzanti.

I problemi generali da affrontare e risolvere per il riciclo dei manufatti usati in PVC sono quelli (comuni alla più parte dei manufatti usati) della loro raccolta differenziata, dello sviluppo di applicazioni specifiche per il materiale riciclato e soprattutto quelli del sostenimento e della giustificazione economica di tutti i costi delle operazioni di riciclo. Una recente ed efficace tecnologia di riciclo di manufatti usati in PVC, è quella, denominata tecnologia Vinyloop [20], sviluppata dalla Società Solvay e attualmente operante in fase industriale a Ferrara (Italia).

Questa tecnologia permette di ottenere compound PVC da manufatti usati, come ad esempio i rivestimenti di cavi elettrici e telefonici, i pavimenti resilienti e gli imballaggi

rigidi e flessibili. La tecnologia Vinyloop comprende la dissoluzione, in adatti solventi, del PVC presente nei manufatti usati con sua successiva precipitazione, essiccamento e recupero; la tecnologia è a ciclo chiuso, permette di produrre PVC come compound in polvere di granulometria voluta, da cui si possono ottenere manufatti con caratteristiche fisico-meccaniche e prestazionali simili a quelle dei corrispondenti manufatti ottenuti da PVC vergine.

Il recupero dei manufatti usati in PVC, anche se ancora in fase iniziale, è sicuramente possibile ed effettuato in Italia ed in Europa industrialmente con recupero della materia prima che li costituisce.

14.3.3 Considerazioni conclusive

I manufatti in PVC e la corrispondente industria, hanno alla spalle 50 anni di studio ed esperienza in produzione e nelle applicazioni in molteplici settori; le tecnologie di produzione del PVC e di sua trasformazione in manufatti hanno subito modifiche ed innovazioni che le fanno aggiornate, sicure e competitive; i numerosissimi prodotti-manufatti, destinati a tutti i maggiori settori della vita civile ed industriale, hanno ben note e consolidate proprietà e prestazioni in opera; gli impatti ambientali (consumo di risorse ed effetti sull'uomo e sull'ambiente) dei prodotti valutati secondo la metodologia LCA, che prende in considerazione tutta la loro vita, risultano sostanzialmente sostenibili e competitivi rispetto a quelli dei materiali alternativi.

Specificatamente gli impatti ambientali, valutati con la metodologia LCA in accordo allo schema della norma ISO 14040 da M. Levi [18, 19] di imballaggi, tubi e finestre a base di PVC sono, in termini generali, sostanzialmente simili o leggermente favorevoli rispetto a quelli dei materiali plastici alternativi, in parte almeno favorevoli rispetto a quelli dei metalli (ghisa ed alluminio) e leggermente sfavorevoli rispetto a quelli dei materiali legno e carta. La situazione attuale di buona sostenibilità ambientale dei manufatti a base di PVC è suscettibile di miglioramento ad opera del riciclo dei manufatti usati che le tecnologie industriali in sviluppo ed estensione in Italia ed in Europa rendono sempre più realizzabile.

14.4 Caratteristiche della resina PVC

Il policloruro di vinile, PVC, è praticamente incombustibile e mostra una ottima resistenza agli attacchi chimici ed agli agenti atmosferici.

14.4.1 Materiale termoplastico

Le materie plastiche vengono usualmente suddivise in termoplastiche e termoindurenti.

Il PVC è un materiale termoplastico il che significa che se sottoposto a riscaldamento, rammollisce, ma riacquista consistenza solida se riportato a bassa temperatura e questo ciclo termico, può essere ripetuto senza alterazioni significative del materiale.

Le resine termoplastiche sono costituite da polimeri a catena lineare, cioè da lunghe catene filiformi, disposte generalmente a caso (con conformazione più probabile a matassa statistica), ma capaci di subire un certo orientamento in seguito a particolari lavorazioni a cui siano sottoposte.

Al di sopra di una certa temperatura tali molecole possono scorrere le une rispetto alle altre, di modo che il materiale può venir foggiato della forma voluta. Per il PVC, il

fenomeno del rammollimento incomincia sopra 50°C, accentuandosi man mano fino al raggiungimento della "transizione vetrosa" a circa 80°C. È per questo che i manufatti in PVC rigido non si sono destinati ad utilizzi continuativi a temperature superiori a 60°C, in quanto a queste temperature perdono la loro stabilità dimensionale e le loro caratteristiche meccaniche.

Per poter formare gli oggetti è necessario che il materiale PVC sia sufficientemente plasmabile e questo per i manufatti in PVC rigido, in un intervallo di temperatura compreso tra 150°C e 220°C.

14.4.2 Stabilità termica

Tutti i materiali plastici mostrano una riduzione nelle caratteristiche fisico-meccaniche all'aumentare della temperatura. Le tubazioni in materiale plastico sono dimensionate e previste per operare e resistere in opera a temperature intorno a 20°C. Se la temperatura è inferiore, si avrà in genere una maggiore tenuta e resistenza in opera del materiale; per quanto riguarda la temperatura più alta alla quale si può utilizzare una tubazione, essa dipende dalle sue condizioni di utilizzo, in pressione o a pelo libero e dal carico termico di tipo continuo o istantaneo. In realtà per migliorare le caratteristiche di resistenza alla temperatura del materiale spesso si usano particolari additivi.

Nel caso del PVC, il polimero base viene addizionato con sistemi stabilizzanti complessi costituiti usualmente di sali metallici, antiossidanti ed assorbitori di raggi UV, che sono essenziali per evitare la degradazione termica del polimero nella fase di lavorazione-trasformazione in manufatti e per proteggere poi i manufatti in opera dall'attacco foto-assi-termodegradativo da parte dell'ambiente.

14.4.3 Peso molecolare

A causa del meccanismo di polimerizzazione (radicalico a catena), il PVC è costituito da catene polimeriche (macromolecole) di diversa lunghezza e peso molecolare. Essendo le lunghezze delle macromolecole costituenti qualsiasi polimero non uniforme perché dipende dalla lunghezza della catena formatasi durante il processo di polimerizzazione il polimero PVC viene caratterizzato ed individuato da un peso molecolare medio. Si ricorda che per ottenere manufatti in PVC con buone caratteristiche meccaniche è necessario che il polimero di partenza abbia pesi molecolari elevati e superiori ad un certo valore. In effetti, il grado di polimerizzazione (numero di molecole di monomero di cui sono costituite le macromolecole del polimero) dei polimeri PVC di impiego pratico è compreso usualmente tra 200 e 2000.

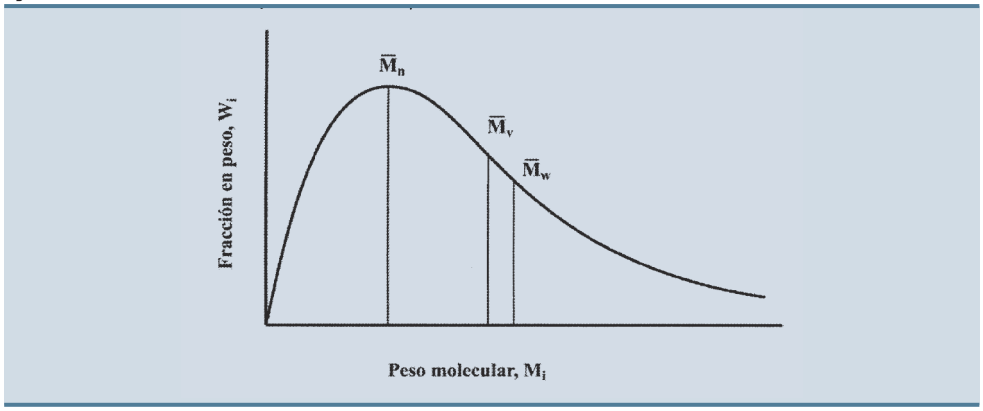
Una macromolecola è l'unione chimica di n monomeri di peso molecolare m, da cui il peso molecolare m di una macromolecola risulta:

$$M = n \; x \; m$$

Un polimero PVC contiene macromolecole di lunghezza differente (peso molecolare M_i) e pertanto viene caratterizzato da un peso molecolare medio. Se la media è numerica, basata sul numero delle macromolecole di diversa lunghezza il peso molecolare risultante è detto media numerica M_n ed è definito come:

$$M_n = \frac{\sum M_i n_i}{\sum n_i}$$

Figura 14.10



Il peso molecolare medio $\overline{M}_n$ dei polimeri PVC di uso pratico è normalmente compreso tra 24000 e 85000. Se la media è ponderale, basata sul peso delle macromolecole di diversa lunghezza, il peso molecolare risultante è detto media ponderale $\overline{M}_w$ ed è definito da:

$$M_w = \frac{\sum M_i^2 n_i}{\sum M_i n_i}$$

Le due medie, numerica e ponderale, sono coincidenti per polimeri omogenei (costituiti da macromolecole tutte della stessa lunghezza).

Il rapporto $\overline{M}_w/\overline{M}_n$ costituisce un indice della eterogeneità della distribuzione dei pesi molecolari di un polimero e per i PVC commerciali più usati esso è compreso normalmente tra 2 e 5 a causa del fatto che le polimerizzazioni industriali non sono condotte in modo isotermo.

La misura diretta del peso molecolare di un polimero si effettua con determinazioni di proprietà fisiche di soluzioni diluite del polimero stesso; la misura della pressione osmotica di una soluzione di polimero (pressione osmotica che è in funzione del numero di molecole disciolte) permette, ad esempio di definire il peso molecolare media numerica $\overline{M}_n$, mentre, ancora ad esempio) la misura della luce diffusa permette di definire il peso molecolare medio ponderale $\overline{M}_w$.

Per scopi di semplicità strumentale e rapidità, il peso molecolare medio del polimero PVC disciolto in appropriati solventi (come ad esempio cicloesanone o tetraidrofurano) viene definito mediante misure di viscosità di soluzioni diluite, avendo prima stabilita una relazione tra viscosità e peso molecolare del polimero PVC. Su queste basi, i pesi molecolari dei polimeri PVC sono indicati da un valore K, che è proporzionale e direttamente legato alla viscosità delle soluzioni di PVC misurate.

14.4.4 Indice di viscosità e valore K

Come noto la viscosità di una soluzione misura la resistenza al suo scorrimento e nel caso di soluzioni polimeriche questa resistenza è specificatamente influenzata dal numero e dalle dimensioni delle macromolecole disciolte.

La caratterizzazione della viscosità di soluzioni per definire il peso molecolare del polimero PVC disciolto comporta la determinazione della viscosità relativa η_r di una solu-

zione di data concentrazione di PVC in cicloesano, misurando il tempo di passaggio della soluzione attraverso il capillare di un viscosimetro Ubbelhode o Ostwald ed è data da:

$$\eta_r = \frac{\text{tempo della soluzione}}{\text{tempo del solvente}} = \frac{t}{t_0}$$

In termini generali l'indice di viscosità *IV* di una soluzione è legato alla viscosità relativa di soluzioni di concentrazione e attraverso la relazione:

$$IV = \frac{\eta_r - 1}{c} \ (ml / g)$$

dove la concentrazione *c* è in grammi/ml di PVC in soluzione ed il valore K che si utilizza per indicare industrialmente e commercialmente il peso molecolare dei polimeri PVC è legato alla viscosità relativa di una soluzione di concentrazione dalla relazione empirica stabilita da H. Finkentscher nel 1932

$$\log\eta_r = \left(\frac{75k^2}{1 + 1{,}5kc} + k \right) c$$

dove $K=1000k$.

La tabella 14.6 qui di seguita riporta i dati di valore K di una serie di polimeri PVC, come ottenuti da misure di viscosità a 25°C di soluzioni di concentrazione pari a 0,5 gr/100 ml di polimero in cicloesanone ed i corrispondenti pesi molecolari media numerica e media ponderale ottenuti con misure osmotiche e di diffusione della luce rispettivamente. Come noto, per i polimeri PVC, all'aumentare luce rispettivamente. Come noto, per i polimeri PVC all'aumentare del valore K, aumentano resistenza meccanica, stabilità termica e tutte le proprietà. Quando aumenta il valore K, la resistenza meccanica, la stabilità termica, tutte le proprietà meccaniche del materiale aumentano, ma diminuisce la sua lavorabilità.

Tabella 14.6

Valore K 0,5g/100 ml cicloesanone a 25°C	*Viscosità specifica 0,5g/100 ml cicloesanone a 25°C*	*Peso molecolare* $\overline{M}n$	*Peso molecolare* $\overline{M}w$
45	0,25	20000	40000
50,5	0,31	30000	54000
55	0,37	36000	70000
60,6	0,45	45000	100000
65,2	0,53	55000	140000
70,5	0,63	64000	200000
75,1	0,73	73000	260000
80,1	0,85	82000	340000
83,2	0,93	91500	480000

14.4.5 Cristallinità

Il PVC è un materiale sostanzialmente amorfo, a causa della quasi totale atatticità della configurazione delle macromolecole che porta a disposizioni spaziali non regolari della maggior parte degli atomi di cloro nelle catene. In realtà, le caratteristiche fisico-meccaniche del PVC, come ad esempio l'elevata rigidità del PVC rigido, più che alla sua limitata cristalllinità, sono associate ai forti legami di polari C^{+}- Cl^{-} delle diverse macromolecole vicinali.

Un certo grado di cristallinità può essere raggiunto facendo in modo che la disposizione degli atomi e delle catene sia più ordinata. Comunque, il tasso di cristallinità non supera il 10-15%.

L'elevata rigidità del PVC è da attribuirsi all'accumulo tra le catene di intense forze bipolari di unione. Il PVC infatti contiene cloro, atomo di grande dimensione e alta polarità.

14.5 Proprietà del PVC

Le resine PVC attualmente più utilizzate nella produzione di tubazioni rigide sono costituite da particelle-granuli di diametro medio nell'intorno di 150 μm con distribuzione dimensionale nell'intervallo da 50 a 200 μm, hanno densità apparenti comprese tra 0,5 e 0,6 gr/cm^3 con buon riempimento dello spazio e porosità delle particelle-granuli nell'interno di 0,3 cc/gr (vuoti all'interno delle particelle-granuli. Queste caratteristiche generali assicurano da una parte un buon scorrimento del PVC granulo-particelle (scorrimento "omogeneo" come quello di un fluido e dall'altra una intima interazione con gli additivi (stabilizzanti, lubrificanti e cariche) ed una lavorazione uniforme nella trasformazione-produzione dei manufatti.

I materiali plastici sottoposti a trazione si deformano mostrando il comportamento viscoelastico schematizzato in figura 14.11 per un campione. Il valore della resistenza meccanica in trazione, come mostrato in figura, si riferisce ad una sollecitazione rapidamente crescente nel tempo tale da produrre la deformazione e la rottura in circa 30 secondi; in questo caso la curva sforzo-deformazione ha un andamento lineare con proporzionalità tra sforzo e deformazione secondo la legge di Hooke dei materiali elastici, solo nel primo tratto, sino ad un valore di deformazione ϵ di circa 1% della lunghezza totale del campione.

Oltre a questo limite, la curva ha un andamento che presenta allungamenti gradualmente crescenti in rapporto all'incremento di carico. Questo comportamento è messo meglio in evidenza se lo stesso campione di misura (provetta) è sottoposta ad uno sforzo costante inferiore al limite di snervamento come mostrato in fig. 14.12: ad una deformazione istantanea elastica, fa seguito una deformazione permanente che aumenta progressivamente nel tempo.

A questa deformazione (che viene chiamata *creep*) fa riscontro una diminuzione di resistenza per rilassamento a fatica, che può portare alla rottura ad un carico inferiore a quello della rottura istantanea.

A differenza dei materiali elastici, per i quali la curva sforzo deformazione non dipende dal tempo di applicazione del carico, per i materiali viscoelastici si ottengono più curve sforzo-deformazione con tempi diversi di applicazione del carico.

Come conseguenza di questo comportamento i valori di tensione ammissibile da introdurre nel calcolo degli spessori dei tubi in PVC devono essere ricavati da prove di

durata con sollecitazione costanti nel tempo alla temperatura di operatività dei tubi.

Le tubazioni in materiale termoplastico sono caratterizzate da buona flessibilità e da una relativamente elevata deformazione a rottura; inoltre hanno inoltre una espansione lineare circa 6-20 volte maggiore dell'acciaio, una buona capacità di isolamento termico e una buona resistenza chimica.

Per le tubazioni in PVC rigido si riportano tabelle in cui vengono elencati in dettaglio gli agenti chimici cui esse resistono; in particolare la resistenza chimica è ottimale

Figura 14.11 - *Curva di trazione a 20°C velocità 25 mm/min.*

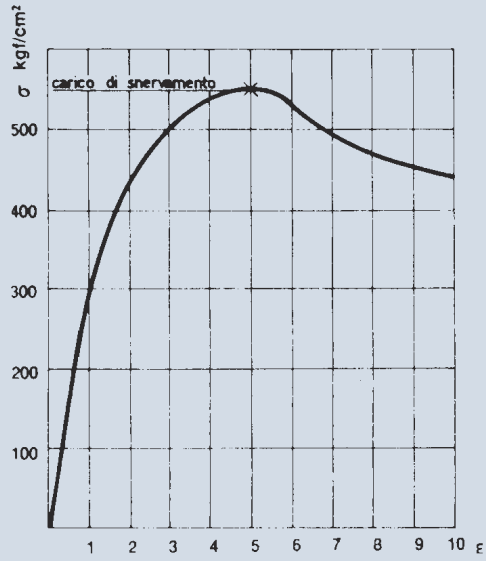


Figura 14.12 - *Curva tipica di scorrimento viscoelastico nel tempo, a temperatura costante.*

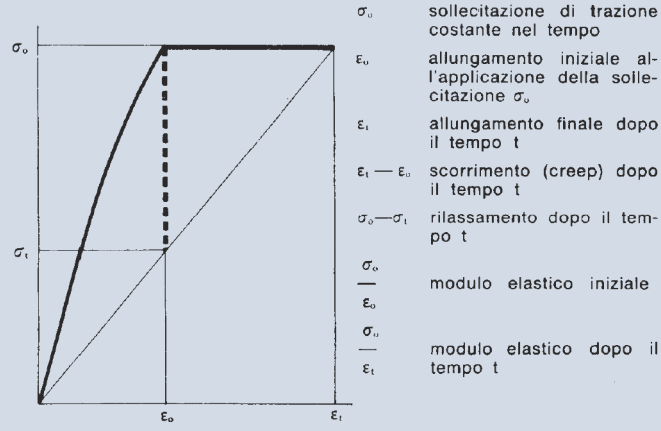


Tabella 14.7

Massa volumica	1,38-1,4 kg/dm^3
Carico unitario a snervamento	≥ 48 MPa
Modulo elastico	2700-3000 MPa
Massima tensione ammissibile	10-12,5 MPa
Allungamento alla rottura nominale	10-50%
Resistenza elettrica superficiale	≥ 10^{12} Ω
Coefficiente di dilatazione	(60÷80) · 10^{-6} K^{-1}
Conduttività termica	0,15 W/m · K
Allungamento a snervamento	≤ 10%
Temperatura di deformazione al calore HDT / A 1,8 MPa	65-75°C
Coefficiente di allungamento longitudinale (23-55°C)	7-8 10^{-5}/K
Combustibilità UL 94 per spessore 1,6 mm	V-0 classe
Costante dielettrica a 100 Hz	3,5
Fattore di perdita dielettrico a 100 Hz	110-140 10^{-4}
Resistenza di penetrazione specifica (alla perforazione)	>10^{13} Ohm
Resistenza di superficie specifica	10^{14}
Rigidità elettrica	20-40kV/mm
Valore comparativo delle formazione di fuga CTI/A	600

per mezzi acidi. I tubi in PVC destinati al trasporto di acqua potabile, sono completamente descritti nelle loro prestazioni funzionali dalle leggi italiane ed europee esistenti e non devono alterare le caratteristiche dell'acqua in alcun aspetto compreso l'odore ed il sapere.

Inoltre le tubazioni plastiche, a partire da quelle in PVC, mostrano nell'uso in opera, minor formazione di film, biologico, rispetto a quello che si forma su tubazioni costituite da altri materiali.

In termini generali i materiali plastici non sono completamente immuni alla diffusione molecolare e la permeabilità di varie sostanze varia a seconda del materiale, aumentando comunque al crescere della temperatura.

La resistenza all'usura è buona ed adeguata agli utilizzi. Inoltre essi invecchiano più velocemente se sottoposti alla radiazione ultravioletta e per evitare questo fenomeno, si usano degli stabilizzanti nei processi di produzione dei materiali base e dei corrispondenti manufatti.

Alcune delle principali e più significative caratteristiche fisiche del PVC sono riportate nella tabella 14.7.

14.6 Qualità del PVC rigido

I tubi e i raccordi in PVC rigido (non plastificato) per la loro eccezionale resistenza agli agenti 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 acquitrinosa 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 ancor più critico dall'estendersi delle condutture elettriche e correnti vaganti e dalla conseguente corrosione elettrolitica dei tubi metallici.

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 natura nodulare e porosa, possono essere ricettacolo di microrganismi vegetali e animali che, se non sono nocivi, influiscono più o meno sensibilmente sulla purezza dell'acqua e sulle sue caratteristiche organolettiche. Inoltre, poiché la disponibilità di acqua di sorgente o di pozzi artesiani è alquanto ridotta, si pone sempre più impellente l'utilizzazione di acqua dei fiumi e dei laghi in grandi impianti di filtrazione e potabilizzazione, che utilizzano e si basano sull'utilizzo di reagenti chimici.

I tubi di PVC, oltre resistere alla corrosione chimica ed elettrochimica ed avere una superficie liscia e non incrostabile, assicurano una praticamente 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 atmosferici;
- 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 ottima tenuta;
- una garanzia di qualità definita dalla conformità alle norme nazionali UNI ed europee EN vigenti.

14.7 Trasformazione del PVC

14.7.1 Trasformazione del PVC

La trasformazione del PVC nei prodotti finiti manufatti destinati al mercato avviene con tecnologie (tecniche e formulazioni) diverse a seconda della forma del manufat-

to che si intende realizzare. Nei processi di trasformazione vengono sempre aggiunti al polimero PVC degli additivi che proteggono il polimero durante la lavorazione e permettono di migliorare le caratteristiche del manufatto risultante in funzione della sua destinazione d'uso finale.

14.7.2 Gelificazione

La lavorazione di una mescola di PVC ed additivi comprende la disgregazione dei granuli-particelle di PVC con loro successiva fusione parziale e ricompattazione. Questo processo, usualmente definito gelificazione, ha luogo nelle macchine trasformatrici (estrusori, calandre, presse ad iniezione) che forniscono alla mescola lavorata energia termica e meccanica e portano la mescola ad elevate temperature localizzate (superiori a 200°C). La gelificazione ottimale della mescola, che non corrisponde alla sua fusione completa, è essenziale per il raggiungimento del massimo per le caratteristiche fisico-meccaniche del manufatto in PVC prodotto e chiaramente le condizioni (tempi, temperature, energia termica e meccanica fornite), di lavorazione per realizzare la gelificazione ottimale variano con il peso molecolare (valore K) e con le caratteristiche fisiche (densità, porosità e distribuzione dimensionale) del polimero utilizzato.

14.7.3 Stabilità termica

La trasformazione del PVC in manufatti richiede sempre l'aggiunta di stabilizzanti termici che evitano e riducono la propagazione della degradazione termica, con sviluppo di acido cloridrico, del PVC durante la fase di gelificazione e di lavorazione.

Gli additivi più utilizzati per la stabilizzazione termica del PVC sono saponi metallici, composti organici ed organometallici.

Oltre a proteggere il PVC durante la trasformazione, gli stabilizzanti hanno il compito di impedire o quanto meno di rallentare il processo di deterioramento che il PVC può subire per effetto del calore, della luce e dell'ossigeno, quando il manufatto finale è in opera.

14.7.4 Lubrificanti

I lubrificanti favoriscono la formatura a caldo del PVC. I lubrificanti, specificatamente quelli definiti esterni, utilizzati nella trasformazione del PVC hanno essenzialmente la funzione di ridurre l'attrito tra la macchina trasformatrice e la mescola di PVC che viene lavorata, che così scorre più facilmente. I lubrificanti più utilizzati sono a base di stearati di zinco, magnesio, calcio e alluminio e vengono aggiunti alla resina in basse percentuali (meno dello 0,5%).

L'azione dei lubrificanti deriva essenzialmente dalla natura della catena alifatica della parte idrocarburica; la differenza di lunghezza, di ramificazioni e i gruppi sostituiti presenti nella parte idrocarburica all'azione lubrificante attraverso la solubilità e compatibilità con la mescola polimerica e le parti metalliche della macchina trasformatrice ed attraverso l'interazione sinergica con lo stabilizzante.

14.7.5 Pigmenti

Sono prodotti utilizzati per impartire colore di manufatti in PVC e per migliorare eventualmente nel contempo alcune caratteristiche del PVC; sono usualmente inorganici, pigmenti organici e coloranti organici veri e propri. I pigmenti inorganici sono gene-

ralmente ossidi metallici e hanno una ottima stabilità alla luce e al calore, ma danno usualmente origine a prodotti opachi. I pigmenti organici sono meno resistenti al calore, ma danno una maggiore brillantezza al manufatto finito e sono disponibili in una più ampia gamma di colori.

I coloranti organici sono usati soprattutto per i materiali trasparenti o traslucidi. Per i manufatti in PVC i colori più correntemente utilizzati sono il nero, il grigio, l'azzurro, verde, arancione, rosso, giallo, avorio.

14.7.6 Altri additivi

Le cariche o i riempitivi, costituiti prevalentemente da materiale inorganico inerte, hanno essenzialmente il compito di far diminuire il costo del prodotto finito. Talvolta la loro aggiunta può migliorare anche alcune caratteristiche del manufatto, quali la stabilità termica, le proprietà meccaniche ed elettriche, la resistenza agli agenti chimici; quasi sempre i riempititi migliorano la stabilità dimensionale dei manufatti prodotti nelle operazioni di stampaggio riducendo i ritiri. Nel PVC si utilizzano riempitivi inorganici, quali il carbonato di calcio, ed il caolino, che riducono il carico di rottura a trazione del manufatto in PVC ottenuto, ma ne aumentano la rigidità e la durezza e talvolta anche le caratteristiche elettriche.

Simili ai riempitivi sono gli *additivi rinforzanti*, costituiti da materiali fibrosi (come fibre di vetro e polimeriche la cui presenza in formulazione migliora la resistenza a trazione dei corrispondenti prodotti.

I plastificanti sono liquidi ad alto punto di ebollizione o solidi a basso punto di fusione, in genere esteri di acidi organici quali italico, adipico, citrico. Essi si inseriscono fra le catene polimeriche riducendone le forze attrattive intramolecolari; la loro presenza trasforma così un polimero duro e rigido in un materiale morbido e flessibile. Un buon plastificante deve innanzi tutto essere compatibile con il polimero con cui è messo a contatto, cioè non deve tendere a demiscelarsi ed a migrare verso la superficie (fenomeno dell'essudazione).

In termini generali i plastificanti più utilizzati hanno buona compatibilità con il PVC, bassa volatilità per non evaporare durante la vita in opera del manufatto con conseguente infragilimento, bassa solubilità nei mezzi con i quali viene a contatto il prodotto finito, né essere un prodotto tossico; deve inoltre essere dotato di una buona stabilità alla luce e al calore. Di solito non si fa uso di una unica sostanza, ma di una miscela di plastificanti diversi.

Gli *agenti rigonfianti-espandenti* servono per la produzione della materie plastiche espanse; sono sostanze che in lavorazione, all'atto della formatura del manufatto nella macchina trasformatrice si decompongono per reazione chimica o per effetto del riscaldamento con lo sviluppo di gas o vapori che fanno rigonfiare ed espandere la massa fusa impartendole una struttura cellulare.

Ultimamente è stato sviluppata una tubazione particolarmente adatta alla trasporto di acqua potabile in pressione perché può essere prodotto con PVC additivato con stabilizzanti organici che lo rendono completamente atossico. Si utilizzano a questo proposito sistemi di stabilizzazione calcio-zinco, quindi privo di metalli pesanti. Il nuovo sistema stabilizzante consiste in una miscela solida multicomponente, formata da sostanze organiche e da costabilizzanti con effetto sinergico. Le molecole organiche, grazie ai loro centri nucleofili molto attivi, migliorano il colore, mentre i costabilizzanti agiscono principalmente come neutralizzatori dell'acido cloridrico. Tale

composto ha mostrato una ottima stabilità termica con valori significativi e in linea con quelli previsti per i tubi in pressione in PVC. I test hanno addirittura mostrato che lo stabilizzante organico migliora le prestazioni meccaniche dei tubi rispetto agli stabilizzanti al piombo o al calcio-zinco e soddisfano le specifiche della norme EN con risultati migliori alle prove di gelificazione, Vicat e alle prove d'urto. Questa tubazione è stata inoltre concepita per un mercato in cui è crescente la sensibilità verso la salvaguardia dell'ambiente. Lo stabilizzante organico utilizzato, grazie alla sua stabilità termica, consente il riciclaggio e lo smaltimento del tubi in PVC riducendo in tal modo i rifiuti.

15 Le condotte in PVC rigido

15.1 Processi di trasformazione per tubi in PVC

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

15.1.1 Tipologia delle tubazioni

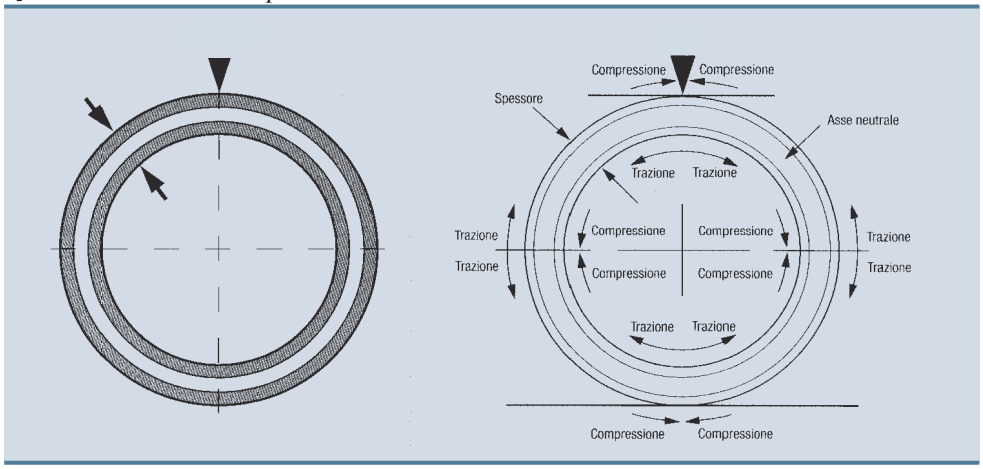
Tubazioni compatte

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

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

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

Figura 15.1 - *Tubazione composita.*



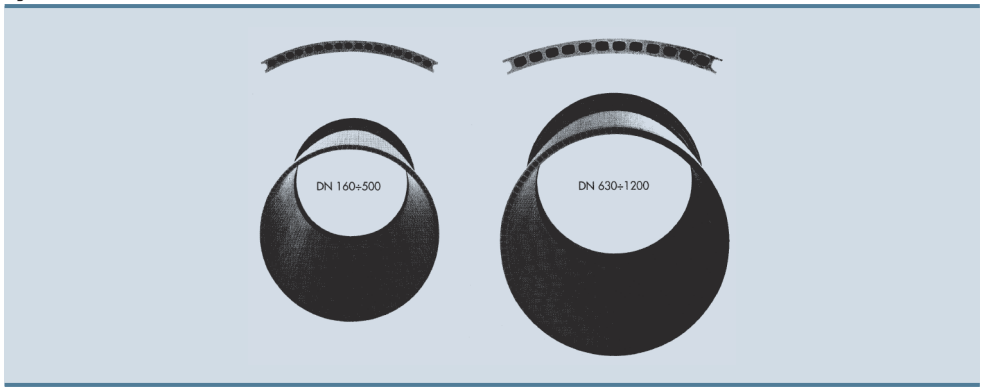
celle chiuse che riduce il peso della tubazione, migliora la posa in opera mantenendo la rigidità (SN 4- SN 8) prevista dal campo di applicazione. La struttura assicura un'ottima resistenza ai carichi nel breve e nel lungo periodo. Gli sforzi di trazione e compressione a cui le condotte sono sottoposte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

Tubazioni Alveolari

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

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

Figura 15.2 - *Tubazioni alveolari.*



Tubazioni a doppia parte corrugata

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

Tubazioni con PVC orientato (PVC- O)

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

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

Tubazioni in lega polimerica (PVC-A)

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

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

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

15.1.2 Descrizione dei processi di trasformazione

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Fabbricazione delle tubazioni in parete strutturata

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

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

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

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

15.1.3 Caratteristiche generali dei tubi in PVC

15.1.3.1 Densità

La densità del PVC è 1,40 g/dm^3. Sono gli additivi solidi o liquidi che possono far variare la densità. Le norme fissano un valore di densità massima per ogni applicazione. All'aumentare della densità generalmente si riducono le proprietà di resistenza a trazione e all'impatto (in particolare in seguito ad aggiunta di $CaCO_3$), per questo gli additivi devono essere controllati per non superare la densità massima fissata dalle norme.

15.1.3.2 Elasticità

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

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

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

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

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

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

Di solito questa deformazione viene espressa in percentuale.

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

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

(Il valore di E dipende dalla mescola).

15.1.3.3 Modulo elastico

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

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

$$\sigma = \frac{M}{A} = \frac{6 \cdot F \cdot 1}{b \cdot e^2}$$

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

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

15.1.3.4 Durabilità

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

15.1.3.5. Caratteristiche termiche ed elettriche

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

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

in cui λ è la conducibilità termica in cal/(cm s °C), c è il calore specifico in cal / (g °C), ρ è la densità in g/ cm^3.

La conducibilità termica del PVC è di circa 0,122 kcal/(m h °C) = 0.,14 W/(m K).

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

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

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

La maggior parte dei polimeri utilizzati in commercio sono isolanti.

La rigidezza dielettrica del PVC è di 20-40 kV/mm.

15.1.3.6 Abrasione/scabrezza

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

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

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

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

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

Tabella 15.1

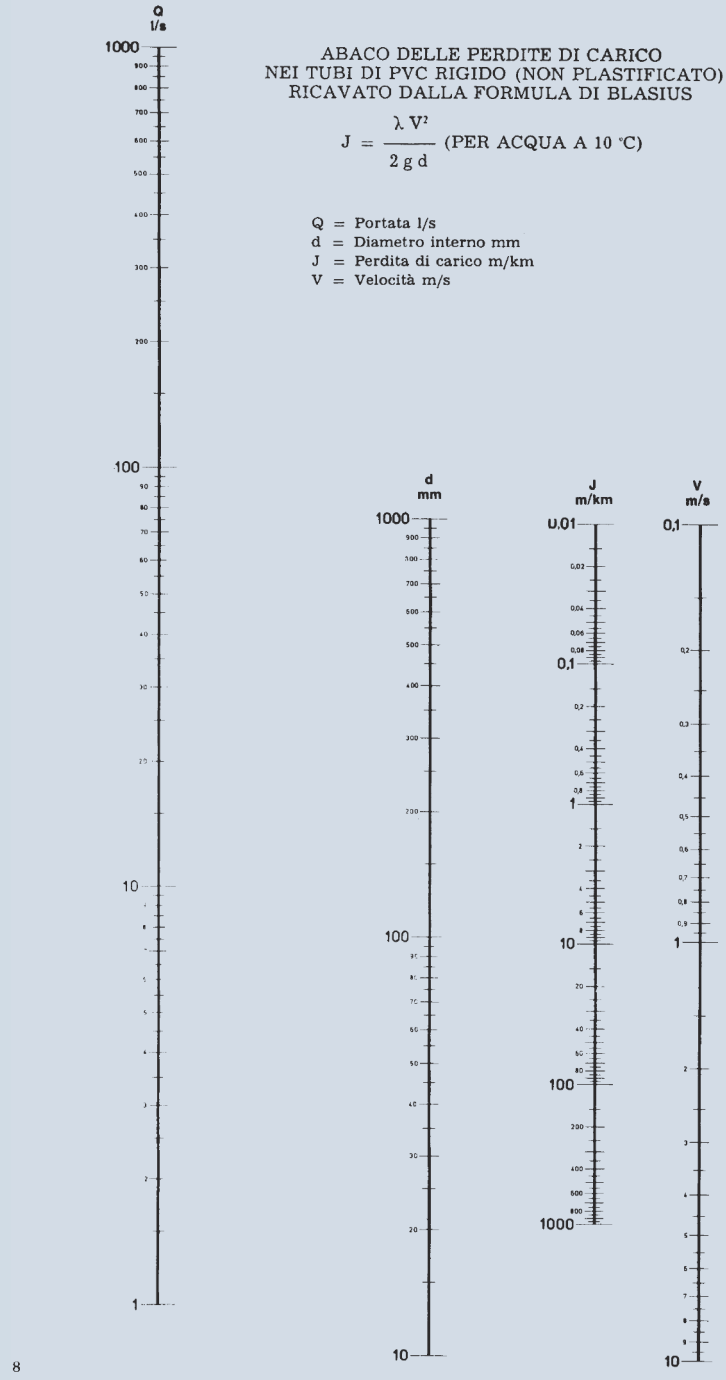
Tipo di tubazione	*Rugosità assoluta*
Ghisa senza rivestimento	0,25
Ghisa rivestita centrifugata	0,50
Ferro galvanizzato	0,025
Fibrocemento senza rivestimento	0,025
Calcestruzzo formato in stampi	0,40
Calcestruzzo centrifugato	0,25
Calcestruzzo in tubazioni	1,25
PVC	0,007

15.1.4 Applicazioni principali dei tubi in PVC rigido

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

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

Figura 15.3 - *Abaco valido per tubi pieni in pressione.*



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

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

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

15.2 Requisiti delle tubazioni in PVC

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

15.2.1 Resistenza alla pressione interna

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

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

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

$$L = 3D_e + x$$

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

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

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

La pressione nominale *PN* è data dalla formula:

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

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

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

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

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

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

Tabella 15.2

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

15.2.2 Resistenza allo schiacciamento

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

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

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

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

I valori suggeriti dalla norma UNI-EN 1401 sono:

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

Il risultato della prova si ottiene applicando la formula:

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

in cui *Stifness* è la rigidità anulare specifica in N/m^2, L la lunghezza del provino in metri, P è il carico applicato in Newton, $\Delta\gamma$ è la deformazione in mm.

La rigidità anulare specifica ha anche un'altra formulazione:

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

in cui E_c è il modulo di Young in N/m^2, I è il momento di inerzia per metro lineare espresso in m^3, e è lo spessore, mentre D_m è il diametro dell'asse neutro, in metri.

15.2.3 Resistenza alla flessione

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

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

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

15.2.4 Resistenza all'impatto

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

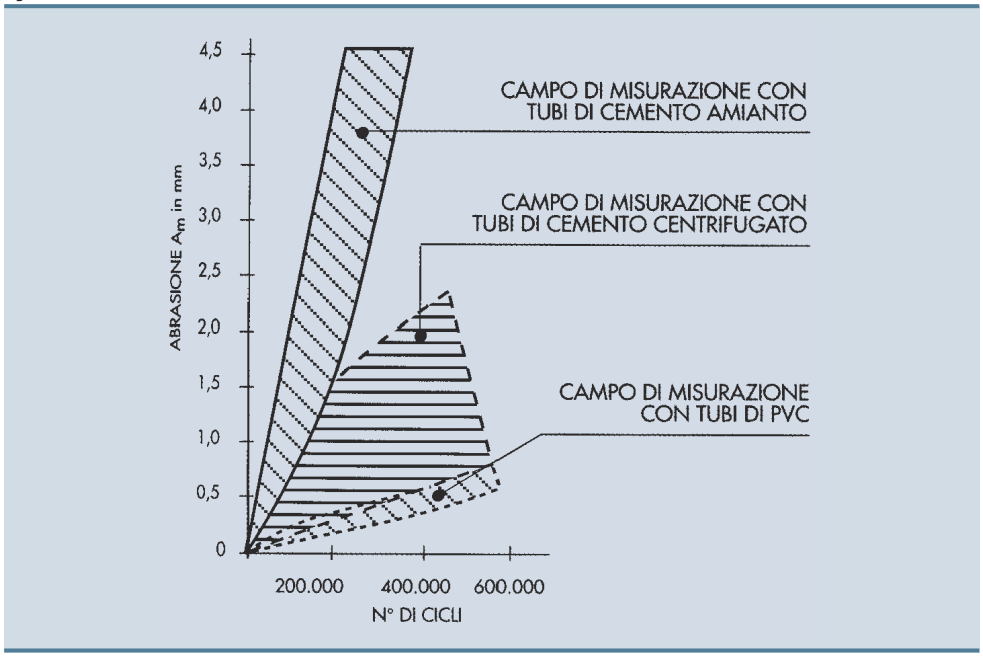
Nelle prove di valutazione di questa proprietà si valuta quale sia l'energia necessaria per rompere un campione. Uno dei metodi prende in considerazione un pendolo dotato di energia conosciuta e si determina l'energia necessaria per la rottura di un provino di determinata forma considerando anche le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

15.2.5 Resistenza all'abrasione

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

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

Figura 15.4



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

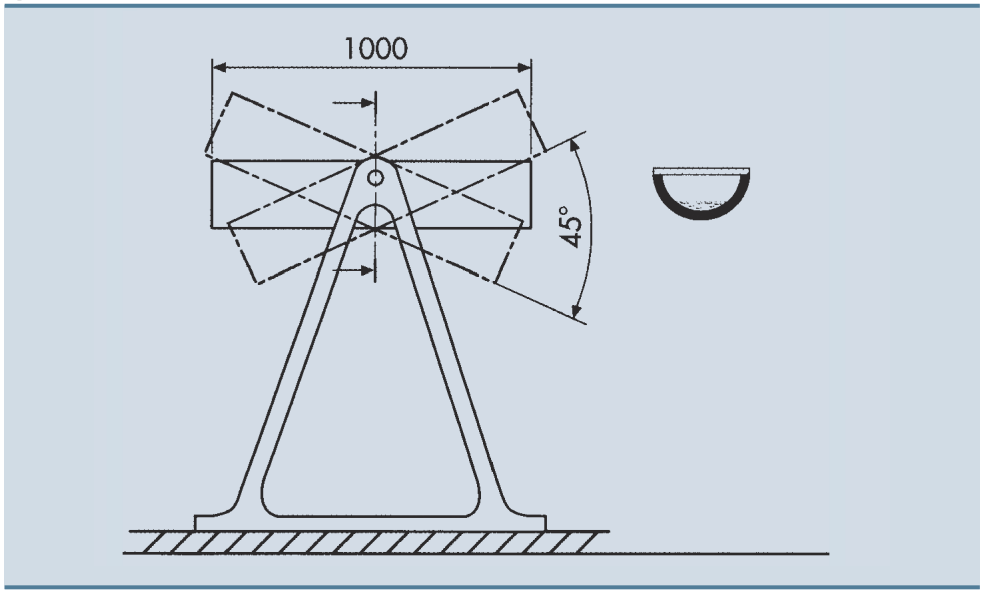
Il metodo di prova è per via umida e quello messo a punto dall'Università di Darmstadt è considerato il più attendibile.

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

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

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

Figura 15.5 - *Metodo dell'Università di Darmstadt.*



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

15.2.6 Resistenza ai prodotti chimici

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

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

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

Sono stati adottati i seguenti simboli:

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

15.3 Comportamento funzionale delle tubazioni in PVC

15.3.1 Durata nel tempo di utilizzo

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

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

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

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

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

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

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

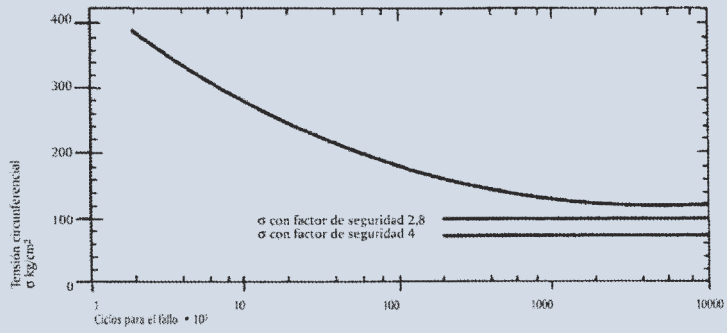
Le curve di regressione che si possono calcolare in base alle prove effettuate indicano la necessità di un elevato fattore di sicurezza. Un fattore di sicurezza basato sullo scorrimento rapido, sarebbe molto problematico per i progettisti delle reti in PVC, poiché lo devono proiettare per 50 anni. Generalmente,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

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

15.3.2 I cicli di funzionamento

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

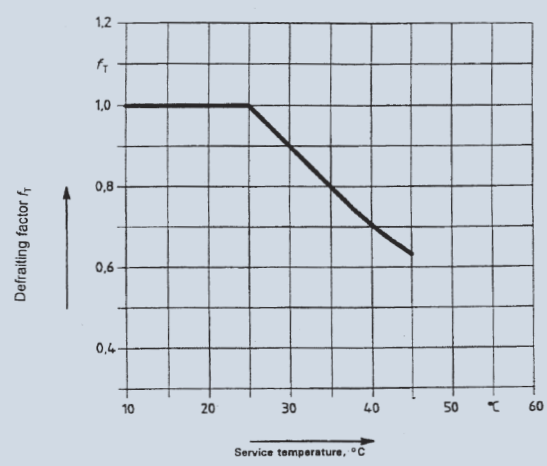
Figura 15,6



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

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

Figura 15,7



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

15.3.3 Resistenza alla temperature

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

15.4 Grandezze dimensionali e meccaniche

15.4.1 Le basi delle classificazione

Le tubazioni possono essere classificate considerando le seguenti caratteristiche:

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

1.0 - 1.25 - 1.60 - 2.00 - 2.50 - 3.20 - 4 .00 - 5.00 - 6.30 - 8.00

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

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

15.4.2 Caratteristiche geometriche e funzionali

Le caratteristiche geometriche e funzionali sono le seguenti:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La relazione tra *S* e *SDR* è la seguente:

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

15.4.3 Diametri delle tubazioni

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

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

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

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

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

15.4.4 Momento di inerzia

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

Le formule di calcolo sono:

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

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

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

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

15.4.5 Rigidità specifica

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

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

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

Il momento di inerzia si determina con la formula:

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

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

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

- Peri carichi di breve durata: E=36.000 kg/cm^2≅ 3600 MPa;
- Per i carichi di lunga durata: E=17.500 kg/cm^2≅ 1750 MPa.

Nel calcolo statico questi possono essere considerati valori prudenziali.

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

- ≥ 2 kN/m^2 per SDR 51;
- ≥ 4 kN/m^2 per SDR 41;
- ≥ 8 kN/m^2 per SDR 34.

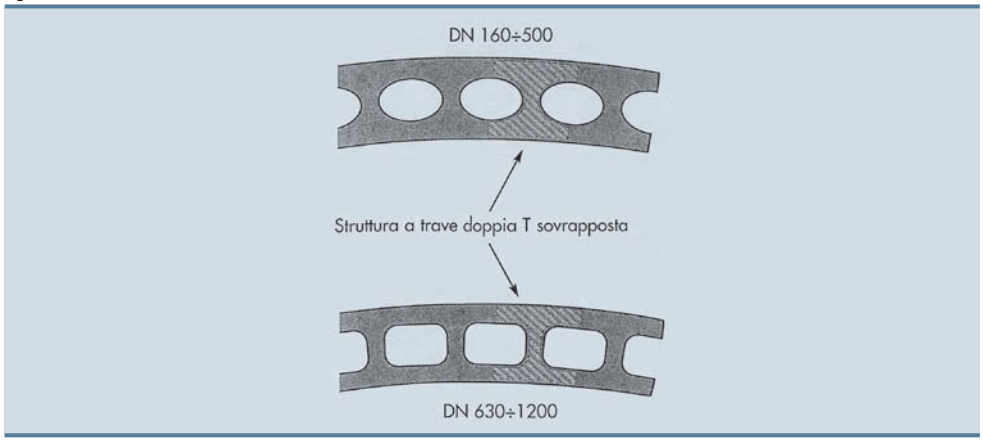
15.5 Innovazione nelle tubazioni in PVC

15.5.1 Tubi alveolari

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

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

Figura 15.8



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

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

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

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

15.5.2 Tubi a parete espansa

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

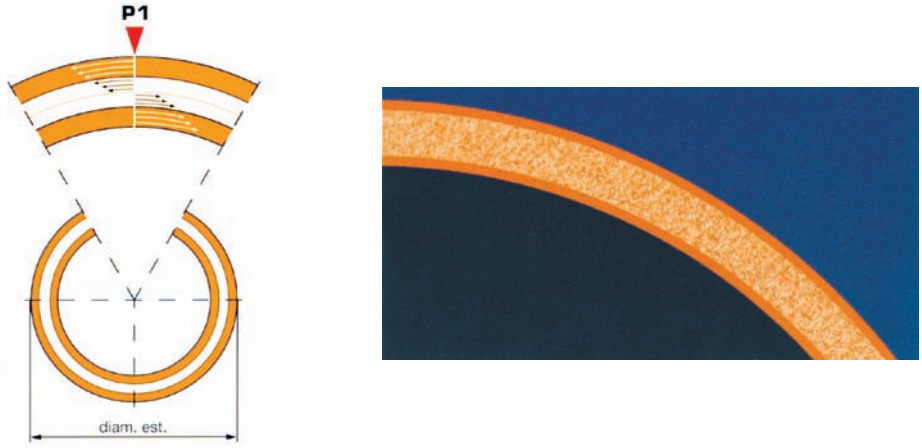
Le pareti interne ed esterne sono costituite da mescole in PVC rigido ad elevata resistenza all'abrasione (test ai 100.000 cicli), alle sostanze chimiche (da ph 2 a ph 12) ed alla temperatura (fino a 40°C). Lo strato centrale è costituito da PVC rigido espanso microcellulare a cellule chiuse e costituisce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

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

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

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

Figura 15.9



15.5.3 Tubi in lega polimerica PVC-A

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

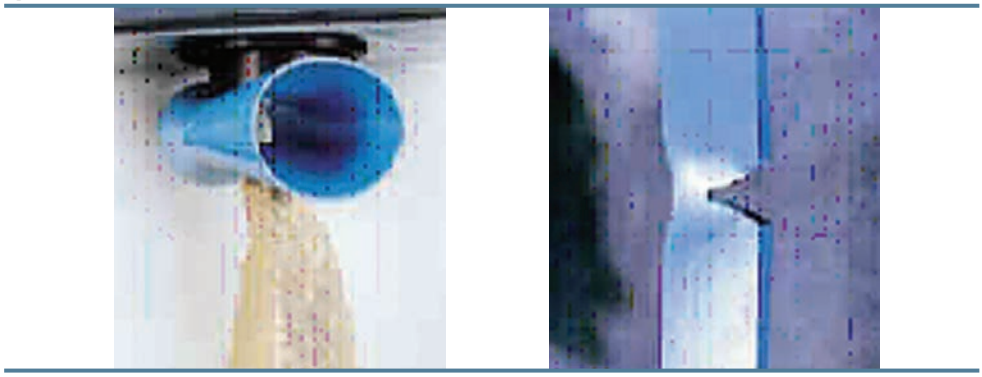
Nel 1995 la Hepworth, un grande gruppo internazionale con sede in Inghilterra, con un fatturato d oltre 2000 miliardi, ha lanciato sul mercato un nuovo tubo in PVC-A, frutto di una ricerca iniziata nel 1995 allo scopo di creare prodotti con prestazioni superiori a quelli tradizionali in termini di maggiori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

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

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

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

Figura 15.10



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

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

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

15.5.4 Tubi a doppia orientazione di molecole PVC-O

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

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

Figura 15.11

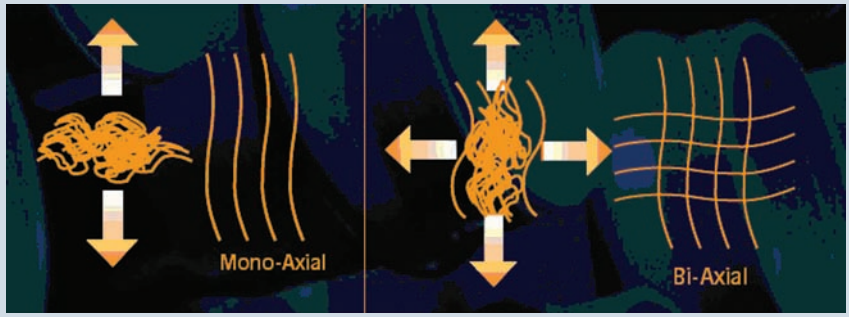
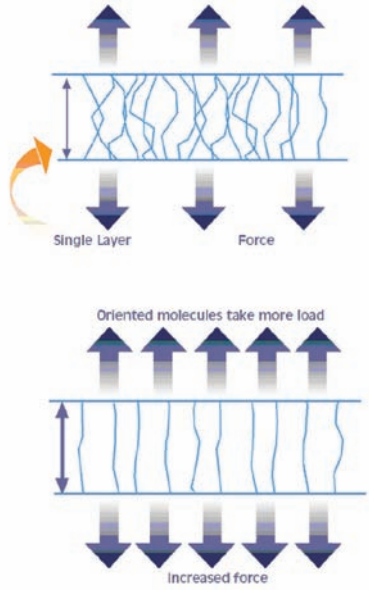


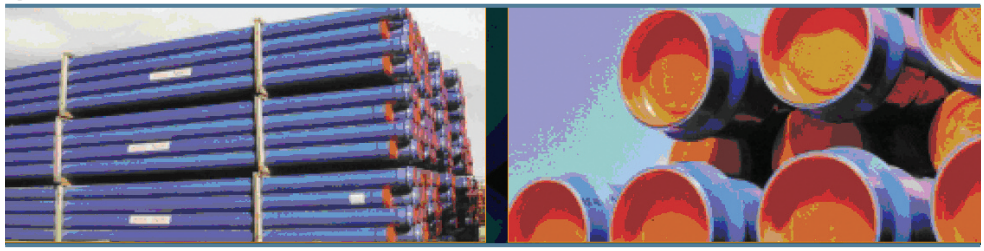
Figura 15.12



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

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

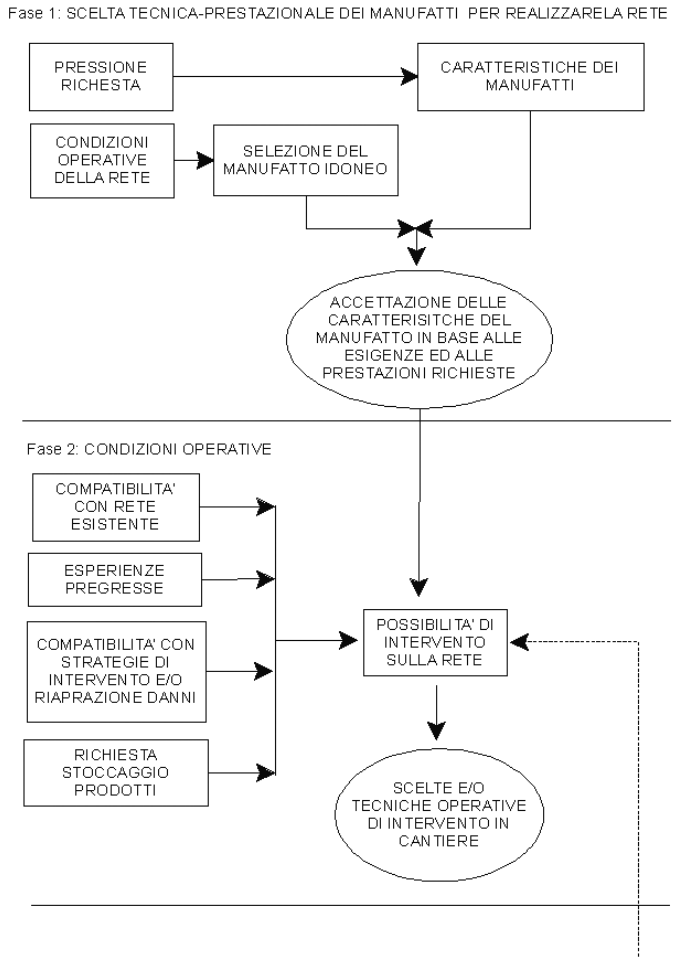
Figura 15.13

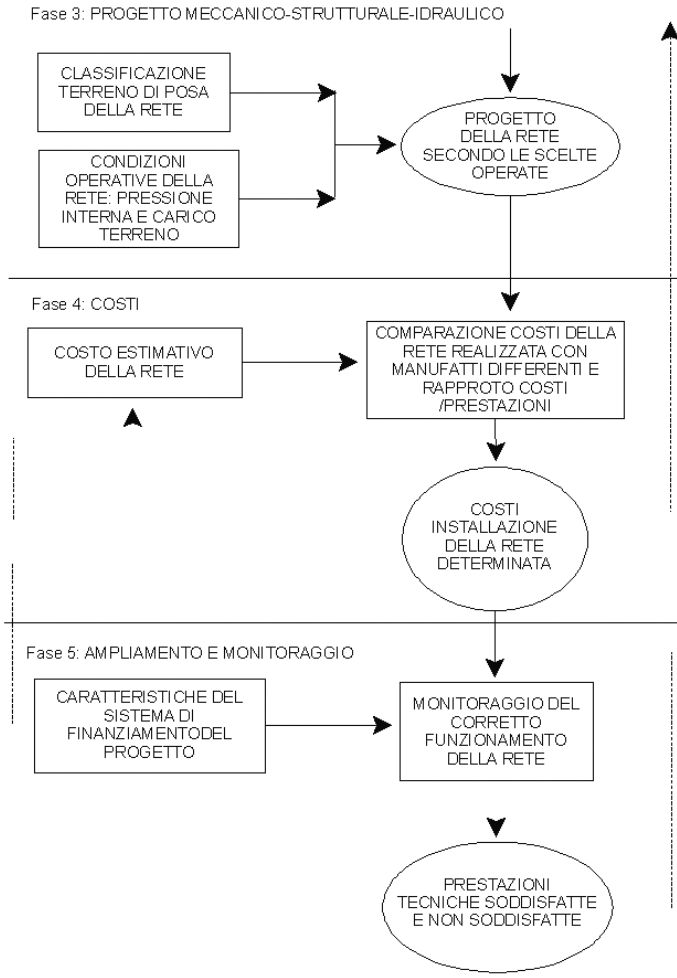


Le tubazioni sono prodotte con spessori variabili da 3 mm (90mm di diametro, LCL=29 MPa) a 7.7 mm (315 mm di diametro, LCL=30 MPa). I minori spessori rispetto al PVC tradizionale permettono la realizzazione di diametri interni maggiori. La capacità di portata è così aumentata di circa il 5%. Inoltre,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

16 I percorsi della scelta

16.1 Reti in pressione: percorso di scelta corretta





FASE 1: SCELTA-TECNICA PRESTAZIONALE DEI MANUFATTI PER LA REALIZZAZIONE DELLA RETE

- Pressione/Portata richiesta: **appendice 7** + **2.1** + **2.2.1**
- Condizioni opertative della rete: considerare i seguenti elementi:
  - la presenza di falda;
  - i percorsi che la rete deve seguire;
  - tipologie di terreno di posa: pH, contenuto in solfati, resistività, eventuale presenza di contaminanti organici, classificazione del terreno, subsidenza;
  - sovraccarico esterno: terreno e traffico stradale.
- Caratteristiche dei manufatti: **tab. 14.7** **fig. 14.12** **fig. 10.2** **paragrafo 15.5** **app. 12**

FASE 2: CONDIZIONI OPERATIVE

- Compatibilità con rete esistente: 7.5
- Esperienze pregresse
- Compatibilità con strategie di intervento e/o riparazione danni: paragrafi 11.5 11.6 all. 11
- Richiesta stoccaggio prodotti: 11.2

FASE 3: PROGETTO MECCANICO-STRUTTURALE-IDRAULICO

- Classificazione del terreno di posa della rete: 11.3.5 11.3.6 11.3.7
- Condizioni opertative della rete: pressione interna e carico del terreno: appendice 7 2.5 3.4
- Progetto della rete secondo le scelte operate: 2.3 2.4 12.2 appendice 7

FASE 4: COSTI

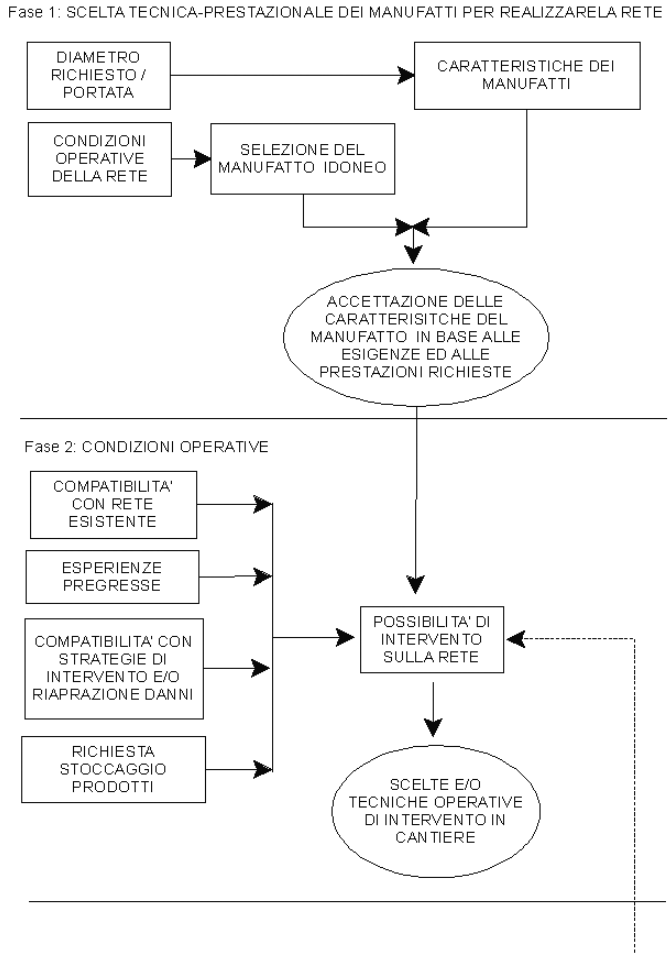
- Costo estimativo della rete: completare la seguente tabella:

Componenti rete di progetto	*Lunghezza/Quantità*	*Costo totale*
Tubazione SDR…		
Tubazione SDR….		
Valvola sfiato		
Valvola fondo		
Pozzetto diametro…		
Valvola di ritenzione		
Gomito tipo….		
TOTALE		

- Comparazione costi della rete realizzata con manufatti differenti e rapporto costo prestazioni:

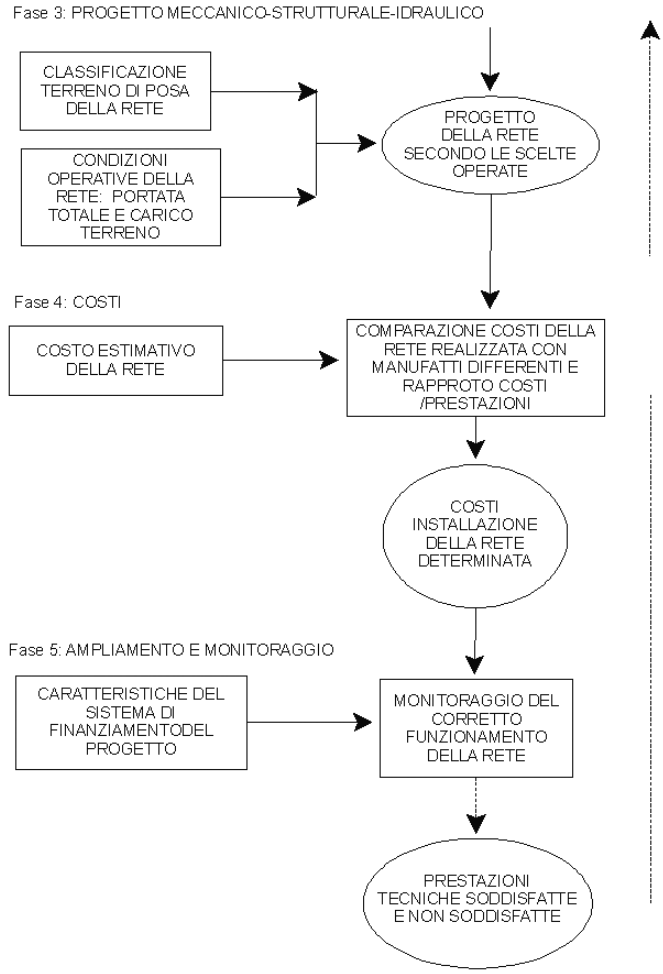
Componenti rete di progetto	*PVC*	*Mat. 1*	*Mat. 2*	*Mat. 3*	*Mat. 4*
Tubazione SDR…					
Tubazione SDR….					
Valvola sfiato					
Valvola fondo					
Pozzetto diametro…					
Valvola di ritenzione					
Gomito tipo….					
TOTALE					

16.2 Reti a pelo libero: percorso di scelta corretta



FASE 1: SCELTA-TECNICA PRESTAZIONALE DEI MANUFATTI PER LA REALIZZAZIONE DELLA RETE

- Diametro/portata richiesta: appendice 8 3.2 3.3
- Condizioni opertative della rete: considerare i seguenti elementi:
  - la presenza di falda;
  - caratteristiche dell'acqua trasportata: appendice 6
  - i percorsi che la rete deve seguire;
  - tipologie di terreno di posa: pH, contenuto in solfati, resistività, eventuale presenza di contaminanti organici, classificazione del terreno, subsidenza;
  - sovraccarico esterno: terreno e traffico stradale.
- Caratteristiche dei manufatti: tab. 14.7 fig. 14.12 fig. 10.2 paragrafo 15.5 app. 12



FASE 2: CONDIZIONI OPERATIVE

- Compatibilità con rete esistente: 3.5 7.5
- Esperienze pregresse
- Compatibilità con strategie di intervento e/o riparazione danni: paragrafi 11.5 11.6 appendice 11
- Richiesta stoccaggio prodotti: 11.2

FASE 3: PROGETTO MECCANICO-STRUTTURALE-IDRAULICO

- Classificazione del terreno di posa della rete: 11.3.5 11.3.6 11.3.7
- Condizioni opertative della rete: portata totale e carico del terreno: 3.4
- Progetto della rete secondo le scelte operate: 3.3 11.4 appendice 8

FASE 4: COSTI

- Costo estimativo della rete: completare la seguente tabella:

Componenti rete di progetto	*Lunghezza/Quantità*	*Costo totale*
Tubazione SDR…		
Tubazione SDR….		
Valvola fondo		
Pozzetto diametro…		
Pozzetto di salto		
Gomito tipo….		
Pozzetti di lavaggio		
TOTALE		

- Comparazione costi della rete realizzata con manufatti differenti e rapporto costo prestazioni:

Componenti rete di progetto	*PVC*	*Mat. 1*	*Mat. 2*	*Mat. 3*	*Mat. 4*
Tubazione SDR…					
Tubazione SDR….					
Valvola fondo					
Pozzetto diametro…					
Pozzetto di salto					
Gomito tipo….					
Pozzetti di lavaggio					
TOTALE					

16.3 Programmi di calcolo

Tutti i calcoli di dimensionamento delle condotte a pelo libero possono essere eseguiti per mezzo del software ALGO2 fornito con il manuale.

Esistono anche altri programmi di calcolo prodotti da aziende operanti nel settore specifico e scaricabili direttamente dai relativi siti internet.

16.4 Check-list di cantiere

Quando vengono forniti i prodotti per la realizzazione dell'opera si devono verificare:

1. il nome del fabbricante o marchio commerciale;
2. le certificazioni di qualità e di conformità del prodotto;
3. l'ente certificatore;
4. il materiale;
5. il numero della norma di riferimento;
6. il codice area di applicazione U o UD, se si tratta di condotte fognarie;
7. la pressione nominale, se si tratta di condotte in pressione;
8. il diametro nominale e lo spessore (in centro e alle estremità);
9. la classe di rigidità nominale SN;
10. la data di produzione, numero di trafila e numero di lotto;
11. colore e aspetto esteriore del tubo;
12. verifica della superficie interna ed esterna, dei giunti/guarnizioni e della lunghezza della barra.

Appendici

APPENDICE 1
Comportamento delle tubazioni interrate in caso di terremoto

L'affidabilità delle linee di distribuzione dei servizi primari a fronte dei fenomeni sismici ha una grande importanza dal punto di vista economico e sociale. I danni dal danneggiamento di tubazioni in caso di terremoto non sono diretti, ma le conseguenze possono essere comunque molto gravi. La letteratura tecnica cita casi di eventi sismici nei quali la maggior parte delle vittime non furono causate dal terremoto in sé, ma, piuttosto, furono effetti degli incendi che scoppiarono e che non fu possibile spegnere a causa dell'interruzione delle linee interrate del trasporto dell'acqua.

Anche gli effetti post-sismici sulle tubazioni vanno tenuti nella debita considerazione, soprattutto in relazione alle problematiche attinenti la salute della popolazione colpita (soddisfacimento delle necessità primarie e possibilità di epidemie). Infine non sono trascurabili i possibili impatti sull'ambiente e le conseguenze economiche.

I danneggiamenti di tubazioni interrate riscontrati a seguito di fenomeni sismici sono attribuibili alle seguenti principali cause dirette:

- Movimenti permanenti del terreno, dovuti a frane, smottamenti, assestamenti, dislocazioni, apertura di faglie;
- Spostamenti relativi dovuti a caratteristicshe non uniformi del terreno lungo la tubazione (materiali e condizioni di compattazione differenti, effetti della liquefazione);
- Spostamenti relativi dovuti alla propagazione dell'onda sismica lungo la tubazione.

La prima causa è, in generale, la più pericolosa per l'integrità strutturale della tubazione; tuttavia è anche la causa rispetto alla quale hanno poca efficacia interventi tecnologici sui materiali ed i componenti della tubazioni o soluzioni particolari di posa in opera, in relazione alla grande entità degli spostamenti che ne derivano. Oltre a ciò si riconosce che i terremoti registrati in Italia raramente sono stati accompagnati da fratturi superficiali di entità rilevanti.

Nel caso delle tubazioni interrate, la valutazione dell'affidabilità sismica può prescindere dall'influenza degli effetti dinamici inerziali propri della tubazioni, a causa della condizione di vincolo determinata dal terreno compattato e dalle caratteristiche di smorzamento di quest'ultimo. Gli effetti inerziali della tubazioni hanno invece rilevan-

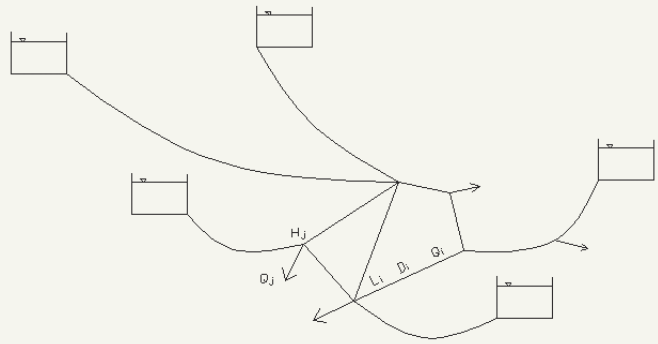
za nel caso di condotte non interrate, ma solo appoggiate al terreno, ciò che, però, è abbastanza raro nella pratica.

Il comportamento dinamico della tubazione interrata è, in definitiva, determinato da quello del terreno circostante e l'effetto complessivo dell'evento sismico è riconducibile a spostamenti relativi macroscopici di natura quasi-statica fra le sezioni della tubazione ed in particolare tra le sezioni di vincolo. Il moto relativo si traduce in sollecitazioni longitudinali e flessionali della tubazione che si combinano con quelle associate alla pressurizzazione della stessa. Il comportamento strutturale della tubazione è influenzato dalla presenza del terreno circostante anche perché da questo dipende la distribuzione dei carichi trasversali e longitudinali sulla tubazione. Inoltre l'azione di contenimento del terreno gioca un ruolo fondamentale sulle condizioni di stabilità delle tubazioni della tubazione sottoposta a compressione assiale.

Simulazioni degli effetti dinamici e statici su tubazioni in materiale plastico sono state eseguite soltanto per quanto riguarda il polietilene ad alta densità. In queste prove è stato evidenziato un comportamento simmetrico del materiale a trazione e compressione. I cicli di isteresi, nel campo di frequenze osservato, si è dimostrato indipendente dalla frequenza di oscillazione. Inoltre, i valori delle deformazioni misurate nel corso delle prove sismiche, si mantengono in generale molto bassi, indicando livelli di scarso rilievo nelle sezioni strumentate. In ogni caso, vale la constatazione, che non si sono verificate perdite di liquido della condotta in pressione, a testimonianza dell'integrità della tubazioni, dei singoli componenti e delle giunzioni saldate.

APPENDICE 2
Il problema di verifica

Questo problema riguarda la verifica di funzionamento della rete esistente e consiste essenzialmente nella determinazione delle portate che percorrono i singoli tratti di una rete.



Sia assegnato un qualsiasi sistema di condotte per il quale siano noti i seguenti elementi:

- Le quote (che si ammettono costanti) dei peli liberi nei serbatoi che alimentano il sistema o sono da essi alimentati;
- Le lunghezze L_i , i diametri D_i e le scabrezze degli m lati che formano il sistema, intendendosi per lato ciascun tronco di condotta a diametro costante;
- Le portate Q_i erogate agli n nodi della rete, intendendosi per nodo un qualunque punto ove confluiscono più di due condotte, oppure ove sussiste un cambiamento di diametro o di scabrezza, o una erogazione concentrata.

Ci si propone di individuare il funzionamento di tale rete, e cioè di determinare i valori delle m portate Q_i che percorrono i lati della rete, e degli n carichi H_j ai nodi.

Occorre preventivamente fissare un senso di percorrenza di ciascun lato (che sarà poi da controllare, ed eventualmente da cambiare in seguito al risultato dei calcoli). Per la soluzione del problema sono disponibili le seguenti relazioni:

- Per ciascun nodo l'equazione di continuità:

$$\sum Q_i - \sum Q_j = 0$$

essendo la sommatoria estesa a tutti i lati che convengono al nodo ed assegnando segno positivo alle portate Q_i entranti e segno negativo alle portate uscenti. Di tali equazioni se ne possono scrivere n, tante quante i nodi.

- Per ciascun lato l'equazione delle perdite lungo di esso:

$$H_j - H_{j-1} = L_i k_i Q_i^2 D_i^{-n_i} = \beta_i Q_i^2$$

essendo H_j e H_{j+1} i carichi agli estremi del lato: fra questi sono incogniti quelli ai nodi, mentre sono conosciuti quelli ai serbatoi. Di queste equazioni se ne possono scrivere m, tante quante sono i lati. Il parametro β è una costante che caratterizza ogni lato.

Il sistema delle $m+n$ equazioni definisce completamente il problema. Se i prefissati sensi di percorrenza dei lati non sono tutti corrispondenti al funzionamento reale, alcuni risultati saranno costituiti da valori immaginari: in tal caso risulta necessario ripetere il calcolo dopo aver modificato opportunamente i sensi di percorrenza.

Quando la rete di condotte è piuttosto complessa la soluzione del sistema della equazioni diventa molto laboriosa e risulta allora conveniente ricorrere all'impiego di mezzi informatici.

Per quanto riguarda il problema di verifica nei canali a pelo libero, la formula di Chezy:

$$Q = A_0 C_0 \sqrt{R_{0i}}$$

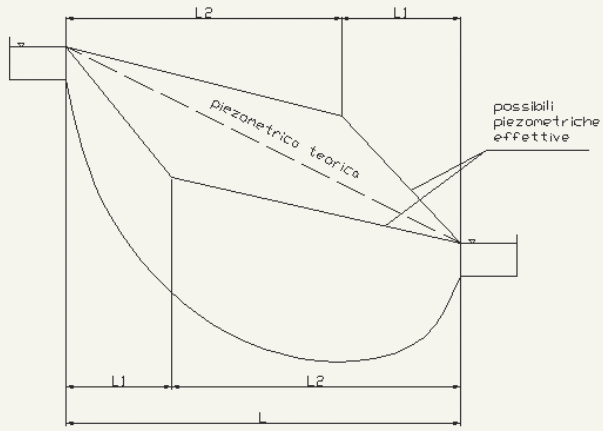
consente la risoluzione di tali problemi. Questi consistono, assegnato il canale, nel controllarne il funzionamento, cioè nello stabilire le portate che vi si possono muovere con determinate altezze di acqua h_0 , oppure le altezze necessarie per convogliare determinate portate.

Alla prima questione risponde senz'altro direttamente la formula di Chezy, dovendosi in essa ritenere A_0, R_0 e C_0 funzioni note di h_0 . La risposta alle seconda questione non è invece così immediata, non essendo h_0 esplicitabile dalla formula suddetta. Bisogna allora procedere per tentativi, oppure avvalendosi del grafico che rappresenta la formula di Chezy che viene detto scala delle portate.

APPENDICE 3
Il problema di progetto

Questo problema riguarda il dimensionamento e cioè l'individuazione dei diametri che occorre assegnare ai diversi tratti della rete in modo che essa possa svolgere un servizio prefissato.

Si consideri il caso semplice del dimensionamento di una condotta destinata a collegare due serbatoi.



Sono assegnati:

- Il dislivello Y tra i peli liberi nei due serbatoi;
- La lunghezza della condotta;
- La portata che dovrà essere convogliata, che per il dimensionamento sarà posta uguale alla massima prevedibile nel periodo di funzionamento;
- Il tipo di materiale prescelto per la realizzazione della condotta e quindi le sue caratteristiche idrauliche (la scabrezza). La scabrezza di una condotta va generalmente aumentando nel tempo e per questo nel dimensionamento si dovrà considerare il valore che presumibilmente la condotta assumerà al termine della sua durata.

Si determina dapprima un unico diametro teorico, facendo uso di una formula del tipo:

$$J = \frac{Y}{L} = k \frac{Q^2}{D^n}$$

che consente di esplicitare il diametro:

$$n \log D = \log k + 2 \log Q - \log J$$

Detto D_t il diametro così ottenuto, si sceglieranno nella serie commerciale, i due diametri D_1 e D_2 immediatamente inferiore e superiore a D_t e la condotta verrà costituita con due tronchi aventi tali diametri. Le lunghezze da assegnare ad essi risultano dal sistema:

$$L_1 + L_2 = L$$
$$J_1 L_1 + J_2 L_2 = Y$$

Se il sistema di condotte è più complesso, per determinare il diametro da assegnare alle condotte si utilizzerà un criterio economico, scegliendo la soluzione che comporta la minima spesa di impianto.

Se il sistema di condotte è soltanto a gravità l'onere annuo da considerare terrà conto dell'interesse e dell'ammortamento del capitale impiegato per la costruzione dell'impianto e del costo di manutenzione. Questi oneri vengono generalmente assunti pari ad una percentuale r del costo di impianto C_i.

Se invece nella rete sono inserite delle macchine che assorbono o cedono energia al liquido in movimento, gli oneri annui terranno conto anche degli oneri C_e corrispondenti alla mancata produzione oppure al maggior assorbimento di energia dovute alle perdite di carico nelle condotte. Si potrà quindi scrivere che gli oneri annui totali per un impianto sono:

$$C = rC_i + C_e$$

Per il problema di progetto nei canali a pelo libero, si può utilizzare la formula di Chezy:

$$Q = A_0 C_0 \sqrt{R_0 i}$$

la quale, però, da sola si dimostra essere subito insufficiente, essendo il problema stesso a priori indeterminato. Si tratta di stabilire le dimensioni da assegnare alla sezione trasversale del canale, affinché esso sia in grado di convogliare una portata prescritta; sono di norma dati la pendenza i, strettamente legata all'altimetria dei terreni che devono essere percorsi dal canale, e l'indice di scabrezza, che dipende dal tipo di parete che si intende adottare.

Per i canali, la sezione trapezia è quella ancora oggi la più largamente usata. Supponendo di assegnare una determinata pendenza alle pareti, in base a considerazioni sulla stabilità del terreno, è chiaro che una medesima area A_0 della sezione trasversale si può ottenere con diverse altezze h_0, facendo variare la larghezza della base inferiore del trapezio; ed a ognuna di queste altezze corrisponde un diverso valore di R_0 e quindi di C_0.

L'indeterminazione del problema può essere risolta ponendo ulteriori condizioni che possono essere:

- Di natura tecnica, per esempio riguardanti i valori preferibili per la velocità media della corrente;
- Di natura economica, cercando la soluzione di minor costo. Si può ipotizzare che il minimo costo si abbia quando è minimo il volume di scavo, cioè minima A_0 . La forma più conveniente è la semicircolare; fra quelle di forma trapezia con assegnata pendenza delle sponde, la più conveniente è quella circoscrittibile a una semi circonferenza. Si dovrà sempre considerare anche un franco, cioè la parte di canale che dovrà essere lasciata libera dalla corrente per evitare esondazioni e un eccessivo imbibimento dei terreni circostanti. Se il canale deve essere rivestito, il costo del rivestimento è spesso una componente importante del costo complessivo. Per questo, attualmente, si tende a fare il dimensionamento considerando i costi totali dell'opera idraulica da realizzare.

APPENDICE 4
Formulario

Teorema di Bernoulli

$$h_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = H = costante$$

h = posizione del punto rispetto al piano di riferimento;

$\frac{p}{\gamma}$ = carico statico;

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$ = energia cinetica.

Moto a pelo libero

Formula di Chezy:

$$V = \lambda \sqrt{R \cdot J}$$

λ = coefficiente di rugosità della parete del canale.

Formula di Kutter:

$$\lambda = \frac{23 + 0{,}00155 / J + 1 / n}{1 + (23 + 0{,}00155 / \mathrm{J}) \cdot \mathrm{n} / \sqrt{R}}$$

Il valore di n varia tra 0,008 per il PVC e 0,04 per tubazioni con pareti molto irregolari.

Moto nelle condotte in pressione

Formula di Darcy – Weisbach:

$$J = \lambda \frac{V^2}{2gD}$$

λ = coefficiente adimensionale d'attrito;
V = velocità media;
D = diametro della tubazione.

1. Regime laminare (Re<2000):
Formula di Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

2. Regime turbolento:
Formula di Manning-Strickler:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} \mathrm{j}^{1/2}$$

n dipende dal tipo di scabrezza.

Formula di Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2log\left[\frac{K}{3{,}71D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}}\right]$$

Formula di Prandtl-Colebrook (usata per le fognature):

$$V = -2\sqrt{2gI\,log}\left(\frac{K_a}{3{,}7iD} + \frac{2{,}51v}{D\sqrt{2gD_i}}\right)$$

Dimensionamento di una condotta in pressione

$$r \cdot C_c + C_E \cdot E_p = \min$$

r = tasso di ammortamento annuo del costo di costruzione, pari all'8%;

C_c = costo della condotta di adduzione e si può esprimere come:

$$C_c = \beta \cdot k \cdot (L_P \cdot D_P{}^{\alpha} + L_c \cdot D_c{}^{\alpha})$$

β = costo accessorio aggiuntivo che risulta essere pari 1.6 se D_c<400 mm oppure 1.8 se D_c>400 mm.;

k = costo unitario 310 €/$m^{1+\alpha}$;

α = 1,4.

C_E = costo medio dell'energia, che varia a seconda che si considerino le ore piene di maggior consumo o quelle vuote di minimo consumo .

E_P = l'energia di pompaggio:

$$EP = W_P \cdot n = \frac{9{,}8 \cdot Q \cdot n \cdot H_P}{\eta}$$

W_P = potenza della pompa;

n = numero di ore di funzionamento in un anno;

Q = portata relativa alle ore di funzionamento;

H_P =prevalenza della pompa =H_g+$i_P L_P$+$i_c L_c$;

H_g = dislivello geodetico;

i = cadente piezometrica = $\frac{\beta^* \cdot Q^2}{D^{5.33}}$;

η = rendimento della pompa = 0.7.

Diametro della condotta, sarà allora:

$$D_c = \left(\frac{9{,}8 \cdot n \cdot \beta^* \cdot C_E \cdot Q^3 \cdot 5.33}{\eta \cdot \alpha \cdot \beta \cdot r \cdot k}\right)^{\frac{1}{6.73}}$$

Dimensionamento di una rete acquedottistica

$$Q_{circ,i} = Q_{comp\ tratti\ a\ valle} + \frac{1}{2} Q_{comp,i}$$

$$D_{i,t} = \left[\frac{\alpha \cdot \beta \cdot \sum (Q_j^{1/3,165} \cdot L_j)}{Y} \right]^{1/5,33} \cdot Q_j^{1/3,165}$$

$D_{i,t}$ = diametro teorico del tratto i-esimo (m);

α = coefficiente correttivo in quanto si ipotizza che le portate siano concentrate ai nodi ed è pari a 1,1;

β = coefficiente di scabrezza per tubi usati;

Q_j = portata circolante nei tratti che costituiscono l'asta principale a cui appartiene il tronco i-esimo (m^3/s);

L_j = lunghezza dei tratti dell'asta principale della ramificazione (m);

Q_i = portata circolante nel tratto i-esimo (m^3/s);

Y = perdita di carico relativa al punto più disagiato, calcolabile come:

- Se si considera la ramificazione principale che parte dal serbatoio:

Y = (quota minima del serbatoio) – (quota geodetica del punto) – (altezza del carico).

- Per le altre ramificazioni invece:

Y = (carico punto di innesto nella ramificazione di ordine superiore) – (quota geodetica del punto) – (altezza del carico).

Altezza del carico = somma dell'altezza *a* dell'utilizzazione più alta della zona in esame, delle perdita interne della rete dei fabbricati e del carico aggiuntivo necessario affinché l'utilizzazione possa funzionare.

Carico minimo del punto di innesto dell'asta secondaria in esame sull'asta principale:

$$\Delta Y_i = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot Q^2}{d_{i,reale}^{5,33}} \cdot L_j$$

$$h_{i,min} = h_{i-1,min} - \Delta Y_i$$

Ancoraggi di condotte in pressione

Spinta:

$$F = \mathrm{K\ p\ S}$$

K=1 per le estremità e per i T a 90°;

K=1,414 per le curve a 90°;

K=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, è la sezione delle derivazione per i T ridotti in cm^2, è la differenza delle sezioni per le riduzioni in cm^2.

Reazione di spinta del terreno:

$$B = K_1 H S_1$$

Il coefficiente K_1 dipende dalla natura del terreno (vedi tabella 7.2).

H = profondità di interramento commisurata rispetto all'asse mediano del tubo in metri.

S_1 = sezione di appoggio Lxh in m^2, essendo L la lunghezza del massello di ancoraggio, h l'altezza del massello di ancoraggio.

Celerità di propagazione delle perturbazioni
Formula di Allievi:

$$a = \sqrt{\frac{g}{\left[\frac{1}{E_1} + \frac{D_e}{E_t e}\right]\gamma}}$$

a = celerità in m/s;
g = accelerazione di gravità in m^2/s;
E_1 = modulo elastico del liquido (per l'acqua $E_1=2{,}1.10^8$ kg/m^2);
D_e = diametro esterno del tubo in mm;
E_t = modulo elastico della tubazione (per il PVC $E_t=3.10^8$ kg/m^2);
γ è il peso specifico dell'acqua (1000 kg/m^3).

Nel caso particolare di acqua in una tubazione di PVC rigido, la celerità si può calcolare con la formula semplificata:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{\frac{6666}{p_n} + 15}}$$

in cui p_n è la pressione nominale della tubazione.

Fognature
Portata pluviale:

$$Q_P = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{0{,}36}$$

φ = coefficiente di afflusso in fognatura;
i = intensità di pioggia in mm/h;
A = area scolante.

La portata di un collettore di acque nere in litri/s è data:

$$Q_{R\,\max} = \frac{\alpha \cdot k_{h\,\max} \cdot d \cdot N}{86400}$$

$$Q_{R\,\min} = \frac{\alpha \cdot k_{h\,\min} \cdot d \cdot N}{86400}$$

dove:
α è un coefficiente di riduzione pari a 0,8, d è la dotazione idrica giornaliera per abitante, N è il numero di abitanti, k_h è il coefficiente per ottenere la portata oraria massima o minima.

$k_{h\,min} = 0{,}3 - 04k_{h\,max}$

Il significato del coefficiente k_h è spiegato nel primo paragrafo del capitolo sugli acquedotti.

Formula di Prandtl-Colebrook:

$$V = -2\sqrt{2gD_iJ}\cdot log\left(\frac{K}{3{,}71D_i} + \frac{2{,}51\nu}{D_i\sqrt{2gD_iJ}}\right)$$

D_i = diametro interno della tubazione in metri,

J = pendenza,

K = scabrezza assoluta della tubazione in metri (altezza media delle irregolarità della parete interna),

ν = viscosità cinematica.

Per le tubazioni di PVC appena uscite dalla fabbrica, il valore di K è pari a 0,007 mm. Nel calcolo della rete di drenaggio si consiglia l'utilizzo del valore K=0,025 mm in modo da tenere conto della diminuzione della sezione per depositi e incrostazioni, la modifica della scabrezza del tubo in esercizio, la presenza di giunzioni non ben allineate, l'ovalizzazazione del tubo, le modifiche di direzione e la presenza di immissioni laterali.

Modulo udometrico u che si misura in l/(s · ha):

$$u = \frac{2168 * n_0 * (\varphi_m * a_a)^{\frac{1}{n_0}}}{W^{\frac{1-n_0}{n_0}}}$$

$n_0 = 4/3\ n_a$
2168 n_0 = funzione di n_0 per i canali chiusi
φ_m = coefficiente di deflusso medio
W = somma, divisa per l'area di competenza cumulata da monte a valle della ramificazione, dei volumi:
$V1$ = volume dei piccoli invasi (pozzanghere, grondaie)
$V2$ = volume invasato da tutti i tronchi a monte
$V3$ = volume invasato dal tronco in esame

Quindi:
$W1 = V1/A$ che si pone generalmente pari a 80 m^3/ha
$W2 = V2/A$
$W3 = V3/A$

$$W1 = \frac{V1 + V2 + V3}{A}$$

In particolare la *portata pluviale* viene espressa mediante l'equazione:

$$Q_p = u * A$$

A = area di competenza di ogni singolo tronco e u = coefficiente udometrico.

Calcolo meccanico delle reti interrate

Carico del terreno (trincea stretta):

$$q_{t1} = C_{d1} \cdot \gamma \cdot B$$

$C_{d1} = \dfrac{1 - e^{-2k\,tan\theta \cdot H/B}}{2K\,tan\theta}$ è il coefficiente di carico per il riempimento in trincea stretta;

γ = peso specifico del terreno in kg/m^3;

$K = \tan^2\left(\dfrac{\pi}{4} - \dfrac{\phi}{2}\right)$ rapporto tra pressione orizzontale e verticale nel materiale di riempimento;

θ = l'angolo di attrito tra il materiale di riempimento e le pareti della trincea;

ϕ = l'angolo di attrito interno del materiale;

H = altezza del riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo in metri;

B = larghezza della trincea, misurata in corrispondenza della generatrice superiore del tubo in metri.

Carico del terreno (trincea infinita o terrapieno):

$$q_{t2} = C_{d2} \cdot \gamma \cdot H$$

C_{d2} = 1 perché la trincea è infinita;

H = altezza del riempimento misurata a partire dalla generatrice superiore del tubo.

Carico mobile:

$$q_m = \frac{3}{2\pi} \quad \frac{P}{(H + D/2)^2}\,\varphi$$

P = carico concentrato in kg costituito da una ruota o da una coppia di ruote, può essere di 3000 kg se rappresenta la situazione in cui sono previsti solo passaggi di autovetture o di autocarri da cantiere; oppure 6000 kg quando rispecchia la situazione in cui sono previsti solo passaggi di autovetture o di autocarri leggeri; oppure 9000 kg se rispecchia la situazione in cui sono previsti passaggi di autotreni pesanti.

D = diametro nominale del tubo;

H = altezza di riempimento misurata dalla generatrice superiore del tubo;

φ = coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto dinamico dei carichi.

Si assume uguale a 1+0,3/H (limitatamente ai mezzi stradali) oppure 1+0,6/H (limitatamente ai mezzi ferroviari), se il tubo flessibile non è inserito, come di norma, in un tubo d'acciaio.

Carico per acqua di falda:

$$q_f = \gamma_{H20} (H - H_1 + D / 2)$$

H = riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo,

H_1 = soggiacenza della falda dal piano campagna,

D è il diametro nominale esterno del tubo.

Flessioni del tubo (formula di Splanger):

$$\Delta y = N_{\Delta y} \frac{QD^3}{\beta EI}$$

$$\Delta x = N_{\Delta x} \frac{QD^3}{\beta EI}$$

I = momento di inerzia del tubo;

E = modulo di elasticità del materiale costituente il tubo;

$N_{\Delta x}$ e $N_{\Delta y}$ = coefficienti variali in funzione di α (angolo di distribuzione del carico) e β (angolo di supporto del letto di posa) e riportati in figura 8.4.

Tenendo conto della variazione del PVC nel tempo:

$$\Delta x = \Delta y = \frac{0{,}125TQ}{\frac{E}{T}(s / D)^3 + 0{,}0915E_1}$$

T = 2 è il valore raccomandato.

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^4}{\alpha'} (H + 4)$$

H = altezza del riempimento a partire dalla generatrice superiore del tubo,

α' = fattore che dipende dalla compattazione del rinfianco del tubo e che è collegato alla prova Proctor.

APPENDICE 5

Diametri normalizzati / Spessori

	Spessore di parete nominale (UNI EN 1452-1)						
	Serie tubi S						
	S20	***S 16***	***S 12,5***	***S 10***	***S 8***	***S 6,3***	***S 5***
	Pressione nominale basata sul coefficiente di impiego (progetto) C=2,5						
DN		***PN 6***		***PN 10***		***PN 16***	***PN 20***
12							
1,5							
16							1,5
20						1,5	1,9
25						1,9	2,3
32				1,6		2,4	2,9
40		1,5		1,9		3,0	3,7
50		1,6		2,4		3,7	4,6
63		2,0		3,0		4,7	5,8
75		2,3		3,6		5,6	6,8
90		2,8		4,3		6,7	8,2

	Pressione nominale basata sul coefficiente di impiego (progetto) C=2,0			
	PN 6	***PN 10***	***PN 16***	***PN 20***
110	2,7	4,2	6,6	8,1
125	3,1	4,8	7,4	9,2
140	3,5	5,4	8,3	10,3
160	4,0	6,2	9,5	11,8
180	4,4	6,9	10,7	13,3
200	4,9	7,7	11,9	14,7
225	5,5	8,6	13,4	16,6
250	6,2	9,6	14,8	18,4
280	6,9	10,7	16,6	20,6
315	7,7	12,1	18,7	23,2
355	8,7	13,6	21,1	26,1
400	9,8	15,3	23,7	29,4
450	11,0	17,2	26,7	33,1
500	12,3	19,1	29,7	36,8
560	13,7	21,4		
630	15,4	24,1		
710	17,4	27,2		
800	19,6	30,6		
900	22,0			
1000	24,5			

Dimensioni in mm

Dimensione nominale DN/OD[1]	Diametro esterno nominale	SN 2 SDR 51[2]		SN 4 SDR 41		SN 8 SDR 34	
	d_n	e_{min}	$e_{m,max}$	e_{min}	$e_{m,max}$	e_{min}	$e_{m,max}$
110	110	-	-	3,2	3,8	3,2	3,8
125	125	-	-	3,2	3,8	3,7	4,3
160	160	3,2	3,8	4,0	4,6	4,7	5,4
200	200	3,9	4,5	4,9	5,6	5,9	6,7
250	250	4,9	5,6	6,2	7,1	7,3	8,3
315	315	6,2	7,1	7,7	8,7	9,2	10,4
(355)	355	7,0	7,9	8,7	9,8	10,4	11,7
400	400	7,9	8,9	9,8	11,0	11,7	13,1
(450)	450	8,8	9,9	11,0	12,3	13,2	14,8
500	500	9,8	11,0	12,3	13,8	14,6	16,3
630	630	12,3	13,8	15,4	17,2	18,4	20,5
(710)	710	13,9	15,5	17,4	19,4	-	-
800	800	15,7	17,5	19,6	21,8	-	-
(900)	900	17,6	19,6	22,0	24,4	-	-
1 000	1 000	19,6	21,8	24,5	27,2	-	-

1) Le dimensioni non preferenziali sono indicate tra parentesi.
2) SDR 51 è utilizzabile esclusivamente per applicazione nell'area "U".

Dimensioni secondo la norma UNI EN 1401

APPENDICE 6
Comportamento delle tubazioni di PVC agli agenti chimici

Resistenza chimica del PVC rigido (non plastificato), non sottoposto a sollecitazioni meccaniche, a fluidi diversi, a 20 e 60 °C

Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura 20°C	Temperatura 60°C
Acetato (ved. al nome dell'acetato)			
Acetica, aldeide	40%	NS	–
Acetica, aldeide	100%	NS	–
Acetica, anidride	100%	NS	NS
Acetico, acido	glaciale	NS	NS
Acetico, acido	25%	S	L
Acetico, acido	60%	S	L
Acetico, acido monocloro	Sol.	S	L
Aceto		S	S
Acetone	100%	NS	NS
Acido (ved. al nome dell'Acido)			
Acqua di mare		S	L
Acqua ossigenata	30%	S	S
Adipico, acido	Sol. sat.	S	L
Alcole (ved. al nome dell'alcole)			
Allilico, alcole	90%	L	NS
Alluminio cloruro	Sol. sat.	S	S
Alluminio solfato	Sol. sat.	S	S
Alluminio e potassio solfato	Sol. sat.	S	S
Amile acetato (I pentanol-acetato)	100%	NS	NS
Amilico, alcole (I pentanolo)	100%	S	L
Ammoniaca (gas secco)	100%	S	S
Ammoniaca (liquefatta)	100%	L	NS
Ammoniaca (soluzione)	Sol. dil.	S	L
Ammonio cloruro	Sol. sat.	S	S
Ammonio fluoruro	20%	S	L
Ammonio nitrato	Sol. sat.	S	S
Ammonio solfato	Sol. sat.	S	S
Anidride (ved. al nome dell'anidride)			
Anilina	100%	NS	NS
Anilina	Sol. sat.	NS	NS
Anilina cloridrato	Sol. sat.	NS	NS
Antimonio (III) cloruro	90%	S	S
Antrachinonsolfonico, acido	Sol.	S	L
Argento nitrato	Sol. sat.	S	L
Arsenico, acido	Sol. dil.	S	.
Arsenico, acido	Sol. sat.	S	L
Benzaldeide	0,1%	NS	NS
Benzene	100%	NS	NS
Benzina (idrocarburi alifatici)		S	S
Benzina (idrocarburi alifatici/benzene)	80/20	NS	NS
Benzoico, acido	Sol. sat.	L	NS
Birra		S	S
Borace	Sol. sat.	S	L
Borico, acido	Sol. dil.	S	L
Bromico, acido	10%	S	–
Bromidrico, acido	10%	S	L
Bromidrico, acido	50%	S	L
Bromo (liquido)	100%	NS	NS
Butadiene	100%	S	S
Butano	100%	S	
Butanolo (ved. Butilico-alcole)			
Butile acetato	100%	NS	NS
Butilfenolo	100%	NS	NS
Butilico, alcole	fino al 100%	S	L
Butirrico, acido	20%	S	L
Butirrico, acido	98%	NS	NS

segue

Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura 20°C	Temperatura 60°C
Calcio cloruro	Sol. sat.	S	S
Calcio nitrato	50%	S	S
Carbonica, anidride (secca)	100%	S	S
Carbonica, anidride (soluzione acquosa)	Sol. sat.	S	L
Carbonica, anidride (umida)		S	S
Carbonio, solfuro	100%	NS	NS
Carbonio, tetracloruro	100%	NS	NS
Cicloesanolo	100%	NS	NS
Cicloesanone	100%	NS	NS
Citrico, acido	Sol. sat.	S	S
Cloridrato (ved. al nome del cloridrato)			
Cloridrico, acido	20%	S	L
Cloridrico, acido	> 30%	S	S
Cloro (acqua di)	Sol. sat.	L	NS
Cloro (gas) secco	100%	L	NS
Clorosolfonico, acido	100%	L	NS
Cresilici (metil-benzoici), acidi	Sol. sat.	NS	NS
Cresolo	Sol. sat.	–	NS
Cromico, acido	1 a 50%	S	L
Crotonica, aldeide	100%	NS	NS
Destrina	Sol. sat.	S	L
Dicloroetano	100%	NS	NS
Diclorometano (ved. Metilene cloruro)			
Diglicolico, acido	18%	S	L
Dimetilammina	30%	S	–
Esadecanolo	100%	S	S
Etandiolo (ved. Glicole etilenico)			
Etanolo (ved. Etilico, alcole)			
Etile acetato	100%	NS	NS
Etile acrilato	100%	NS	NS
Etile, alcole	95%	S	L
Etile, etere	100%	NS	L
Fenilidrazina	100%	NS	NS
Fenilidrazina cloridrato	97%	NS	NS
Fenolo	90%	NS	NS
Ferro (III) cloruro	Sol. sat.	S	S
Fluoridrico, acido	40%	L	NS
Fluoridrico, acido	60%	L	NS
Fluoridrico, acido (gas)	100%	L	NS
Fluosilicico, acido	32%	S	S
Formaldeide	Sol. dil.	S	L
Formaldeide	40%	S	S
Formico, acido	1 a 50%	S	L
Fosfina	100%	S	S
Fosforico orto, acido	30%	S	L
Fosforico orto, acido	> 30%	S	S
Fosforo tricloruro	100%	NS	–
Furfurilico, alcole	100%	NS	NS
Glicerina	100%	S	S
Glicole etilenico	Conc. lav.	S	S
Glicolico, acido	30%	S	S
Glucosio	Sol. sat.	S	L
Idrogeno	100%	S	S
Idrogeno perossido (ved. Acqua ossigen.)			
Idrogeno solforato (gas)	100%	S	S

segue

Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura 20°C	Temperatura 60°C
Latte		S	S
Lattico, acido	10%	S	L
Lattico, acido	10 a 90%	L	NS
Lievito	Sol.	S	L
Magnesio cloruro	Sol. sat.	S	S
Magnesio solfato	Sol. sat.	S	S
Maleico, acido	Sol. sat.	S	L
Melassa	Conc. lav.	S	L
Metanolo (ved. Metilico, alcole)			
Metile metacrilato	100%	NS	NS
Metilene cloruro	100%	NS	NS
Metilico, alcole	100%	S	L
Nichel solfato	Sol. sat.	S	S
Nicotinico, acido	Conc. lav.	S	S
Nitrico, acido	fino a 45%	S	L
Nitrico, acido	50 a 98%	NS	NS
Oleico, acido	100%	S	S
Oleum	10 % di SO_3	NS	NS
Oli e grassi		S	S
Ossalico, acido	Sol. dil.	S	L
Ossalico, acido	Sol. sat.	S	S
Ossigeno	100%	S	S
Ozono	100%	NS	NS
Perclorico, acido	10%	S	L
Perclorico, acido	70%	L	NS
Picrico, acido	Sol. sat.	S	S
Piombo acetato	Sol. dil.	S	S
Piombo acetato	Sol. sat.	S	S
Piombo tetraetile	100%	S	–
Piridina	fino a 100%	NS	–
Potassa caustica (ved. Potassio idrossido)			
Potassio bicromato	40%	S	S
Potassio bromuro	Sol. sat.	S	S
Potassio cianuro	Sol.	S	S
Potassio cloruro	Sol. sat.	S	S
Potassio cromato	40%	S	S
Potassio ferricianuro	Sol. sat.	S	S
Potassio ferrocianuro	Sol. sat.	S	S
Potassio idrossido	Sol.	S	S

segue

Reagente o prodotto	Concentrazione	Temperatura 20°C	Temperatura 60°C
Potassio nitrato	Sol. sat.	S	S
Potassio permanganato	20%	S	S
Potassio persolfato	Sol. sat.	S	L
Propano gas liquefatto	100%	S	
Rame (II) cloruro	Sol. sat.	S	S
Rame (II) fluoruro	2%	S	S
Rame (II) solfato	Sol. sat.	S	S
Sapone	Sol.	S	L
Soda caustica (ved. Sodio idrossido)			–
Sodio benzoato	35%	S	L
Sodio bisolfito	Sol. sat.	S	S
Sodio clorato	Sol. sat.	S	S
Sodio cloruro	Sol. sat.	S	S
Sodio ferricianuro	Sol. sat.	S	S
Sodio ferrocianuro	Sol. sat.	S	S
Sodio idrossido	Sol.	S	S
Sodio ipoclorito al 13% di cloro	100%	S	L
Sodio solfito	Sol. sat.	S	L
Solforico, acido	40 a 90%	S	L
Solforico, acido	96%	L	NS
Solforosa anidride (liquida)	100%	L	NS
Solforosa anidride (secca)	100%	S	S
Solforoso, acido	Sol.	S	S
Stagno (II) cloruro	Sol. sat.	S	S
Sviluppatore fotografico	Conc. lav.	S	S
Tannico, acido	Sol.	S	S
Tartarico, acido	Sol.	S	S
Toluene	100%	NS	NS
Tricloroetilene	100%	NS	NS
Trimetilolpropano	fino al 10%	S	L
Urea	10%	S	L
Urina		S	L
Vinile acetato	100%	NS	NS
Vino		S	S
Xilene	100%	NS	NS
Zinco cloruro	Sol. sat.	S	S
Zucchero	Sol. sat.	S	S

Fluidi di cui è ritenuto possibile il trasporto, senza pressione, fino a 60°C per mezzo di tubi di PVC (non plastificato) che non subiscano sollecitazioni meccaniche

Reagente o prodotto	Concentrazione
Aceto	
Acqua ossigenata	30%
Alcanfino cloruro	Sol. sat.
Alcanfino solfato	Sol. sat.
Alluminio e potassio solfato	Sol. sat.
Ammoniaca (gas)	100%
Ammonio cloruro	Sol. sat.
Ammonio nitrato	Sol. sat.
Ammonio solfato	Sol. sat.
Antimonio (III) cloruro	90%
Benzina, idrocarburi alifatici	
Birra	
Butadiene	100%
Calcio cloruro	Sol. sat.
Calcio nitrato	50%
Carbonica anidride (secca)	100%
Carbonica anidride (umida)	
Cloridrico, acido	> 30%
Citrico, acido	Sol. sat.
Cloro	
Esadecanolo	100%
Ferro (III) cloruro	Sol. sat.
Fluoridrico, acido	32%
Formaldeide	40%
Fosfina	100%
Fosforico ortо, acido	> 30%
Glicerina	100%
Glicole etilenico	Conc. lav.
Glicolico, acido	30%
Idrogeno	100%
Idrogeno solforato (gas)	100%
Latte	
Magnesio cloruro	Sol. sat.
Magnesio solfato	Sol. sat.
Nichel solfato	Sol. sat.
Nicotinico, acido	Conc. lav.

Reagente o prodotto	Concentrazione
Oleico, acido	100%
Oli e grassi	
Ossalico acido	Sol. sat.
Ossigeno	100%
Ozono	100%
Picrico, acido	Sol. sat.
Piombo acetato	Sol. dil.
Piombo acetato	Sol. sat.
Potassa caustica (ved. Potassio idrossido)	
Potassio bicromato	40%
Potassio bromuro	Sol. sat.
Potassio cianuro	Sol.
Potassio cloruro	Sol. sat.
Potassio cromato	40%
Potassio ferricianuro	Sol. sat.
Potassio ferrocianuro	Sol. sat.
Potassio idrossido	Sol.
Potassio nitrato	Sol. sat.
Potassio permanganato	20°
Rame (II) cloruro	Sol. sat.
Rame (II) fluoruro	2%
Rame (II) solfato	Sol. sat.
Soda caustica (ved. Sodio idrossido)	
Sodio bisolfito	Sol. sat.
Sodio clorato	Sol. sat.
Sodio cloruro	Sol. sat.
Sodio ferricianuro	Sol. sat.
Sodio ferrocianuro	Sol. sat.
Sodio idrossido	Sol.
Solforosa anidride (secca)	100%
Solforoso, acido	Sol.
Stagno (II) cloruro	Sol. sat.
Sviluppatore fotografico	Conc. lav.
Tannico, acido	Sol.
Tartarico, acido	Sol.
Vino	
Zinco cloruro	Sol. sat.
Zucchero	Sol. sat.

segue

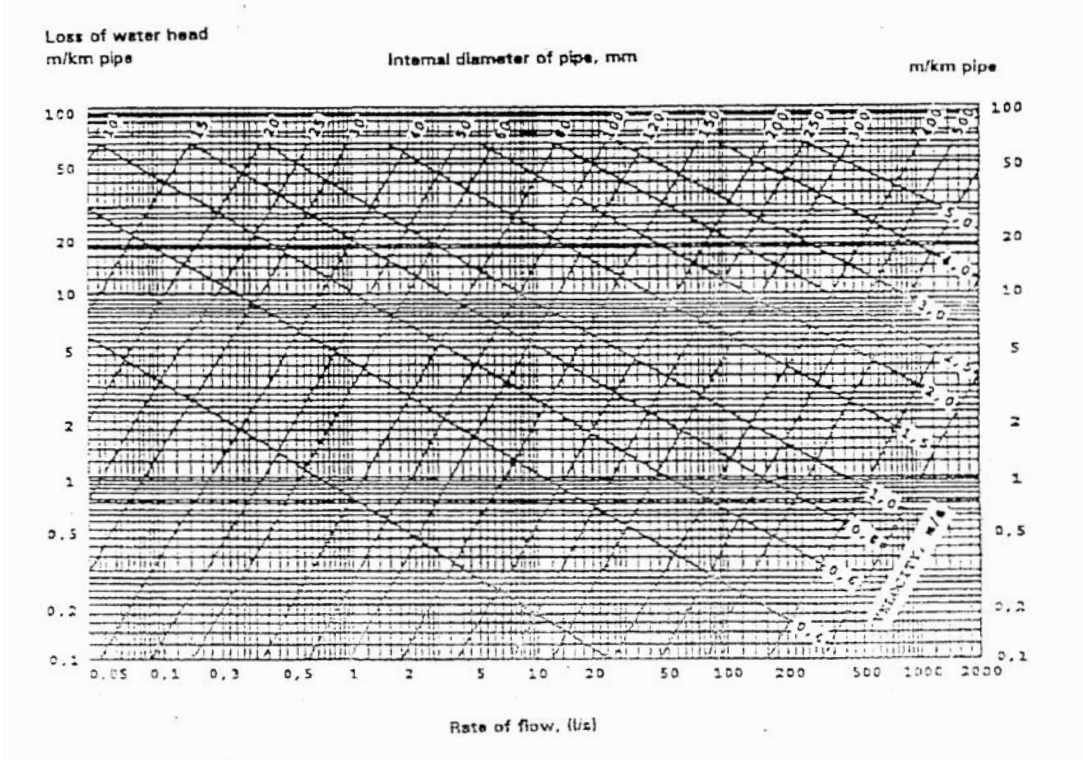
TABELLA 14
Fluidi di cui è ritenuto possibile il trasporto, senza pressione, fino a 20°C per mezzo di tubi di PVC rigido (non plastificato), che non subiscano sollecitazioni meccaniche

Reagente o prodotto	Concentrazione
Acetico, acido	25%
Acetico, acido	60%
Acetico monocloro, acido	Sol.
Acqua di mare	
Adipico, acido	Sol. sat.
Amilico, alcole	100%
Ammoniaca (soluzione)	Sol. dil.
Ammonio fluoruro	20%
Antrachinonsolfonico, acido	Sol.
Argento nitrato	Sol. sat.
Arsenico, acido	Sol. dil.
Arsenico, acido	Sol. sat.
Borace	Sol. sat.
Borico, acido	Sol. dil.
Bromico, acido	10%
Bromidrico, acido	10%
Bromidrico, acido	50%
Butano	100%
Butilico, alcole	fino a 100%
Butilico, acido	20%
Carbonica, anidride (soluzione acquosa)	Sol. sat.
Cloridrico, acido	20%
Cromico, acido	1 a 50%
Destrina	Sol. sat.
Diglicolico, acido	18%
Dimetillammina	30%
Etilico, alcole	95%
Formaldeide	Sol. dil.
Formico, acido	1 a 50%
Fosforico orto, acido	30%
Glucosio	Sol. sat.
Lattico, acido	10%
Lievito	Sol.
Maleico, acido	Sol. sat.
Melassa	Conc. lav.
Metilico, alcole	100%
Nitrico, acido	fino a 45%
Ossalico, acido	Sol. dil.
Perclorico, acido	10%
Piombo tetraetile	100%
Potassio persolfato	Sol. sat.
Propano (liquefatto)	100%
Sapone	Sol.
Sodio benzoato	35%
Sodio ipoclorito al 13% di cloro	100%
Sodio solfito	Sol. sat.
Solforico, acido	40 a 90%
Trimetilpropano	fino al 10%
Urea	10%
Urina	

TABELLA 15
Fluidi di cui non è ritenuto possibile il trasporto, per mezzo di tubi di PVC rigido (non plastificato)

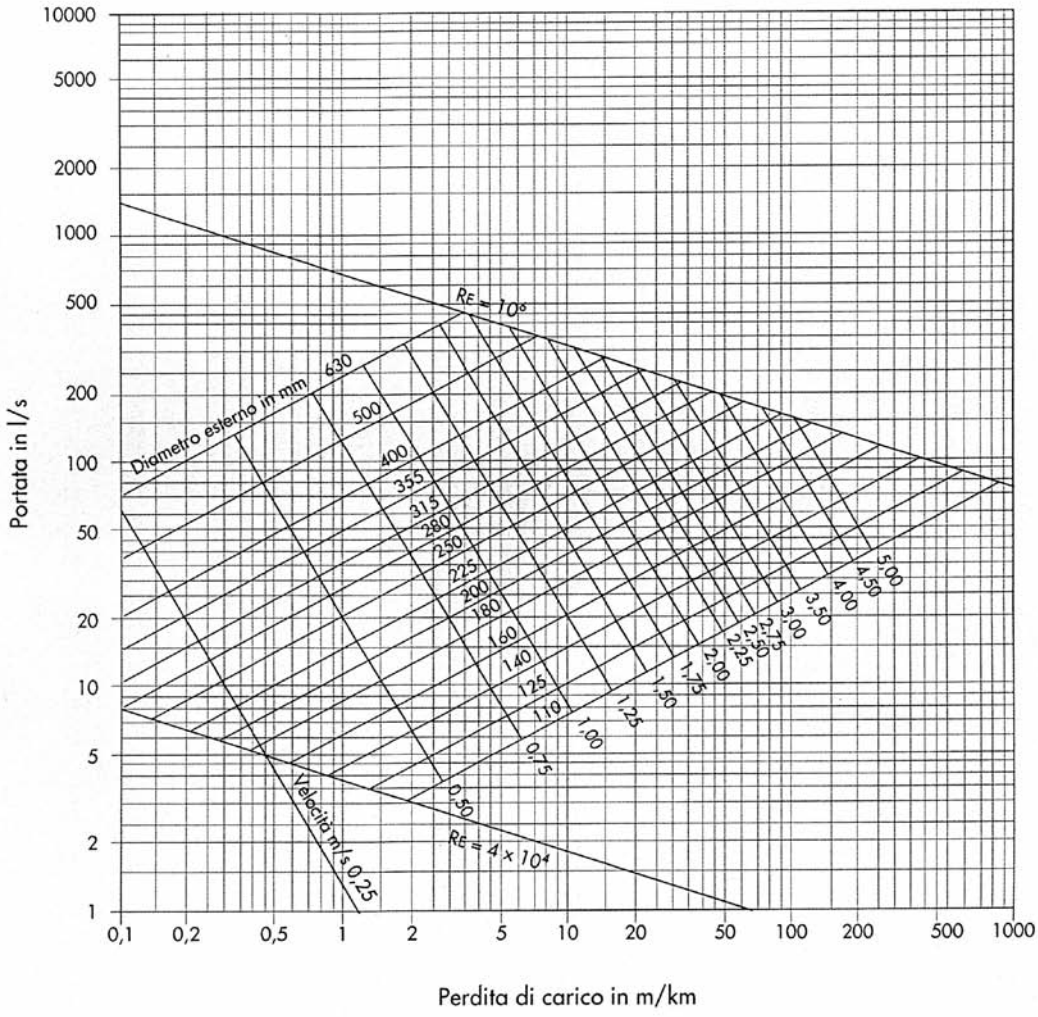
Reagente o prodotto	Concentrazione
Acetica, aldeide	40%
Acetica, aldeide	100%
Acetica, anidride	100%
Acetico, acido	glaciale
Acetone	100%
Allilico, alcole	96%
Amile acetato	100%
Ammoniaca, liquefatta	100%
Anilina	100%
Anilina	Sol. sat.
Anilina cloridrato	Sol. sat.
Benzaldeide	0,1%
Benzene	100%
Benzina (idrocarburi alifatici/benzene)	80/20
Benzoico, acido	Sol. sat.
Bromo	100%
Butile acetato	100%
Butilfenolo	100%
Butirrico, acido	98%
Carbonio solfuro	100%
Carbonio tetracloruro	100%
Cicloesanolo	100%
Cicloesanone	100%
Cloro (acqua di)	Sol. sat.
Cloro (gas) secco	100%
Clorsolfonico, acido	100%
Cresilici (metil-benzoici), acidi	Sol. sat.
Cresoli	Sol. sat.
Crotonica, aldeide	100%
Dicloroetano	100%
Etile acetato	100%
Etile acrilato	100%
Etilico etere	100%
Fenildrazina	100%
Fenildrazina cloridrato	97%
Fenolo	90%
Fluoridrico, acido	40%
Fluoridrico, acido	60%
Fluoridrico, acido (gas)	100%
Fosforo tricloruro	100%
Furfurieico, alcoic	100%
Lattico, acido	10 a 90%
Metacrilato di metile	100%
Metilene cloruro	100%
Nitrico, acido	50 a 98%
Oleum	10% di SO
Perclorico, acido	70%
Piridina	fino a 100%
Solforico, acido	96%
Solforosa anidride (liquida)	100%
Toluene	100%
Tricloroetilene	100%
Vinile acetato	100%
Xilene	100%

APPENDICE 7
Abachi e tabelle di dimensionamento acquedotti / tubi in pressione



Tubazioni in PVC-U MRS25 PN 10 UNI-EN 1452-2

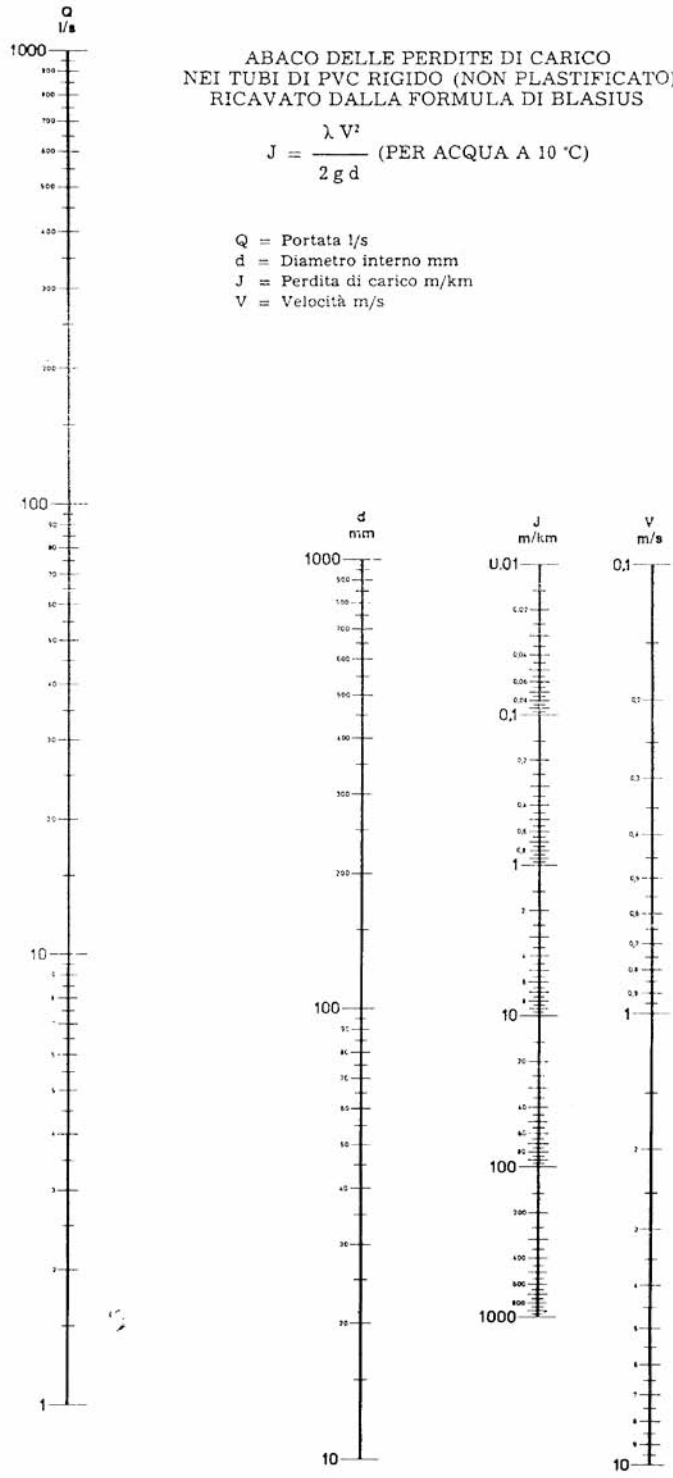
Abaco delle perdite di carico per acqua a 10°C



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

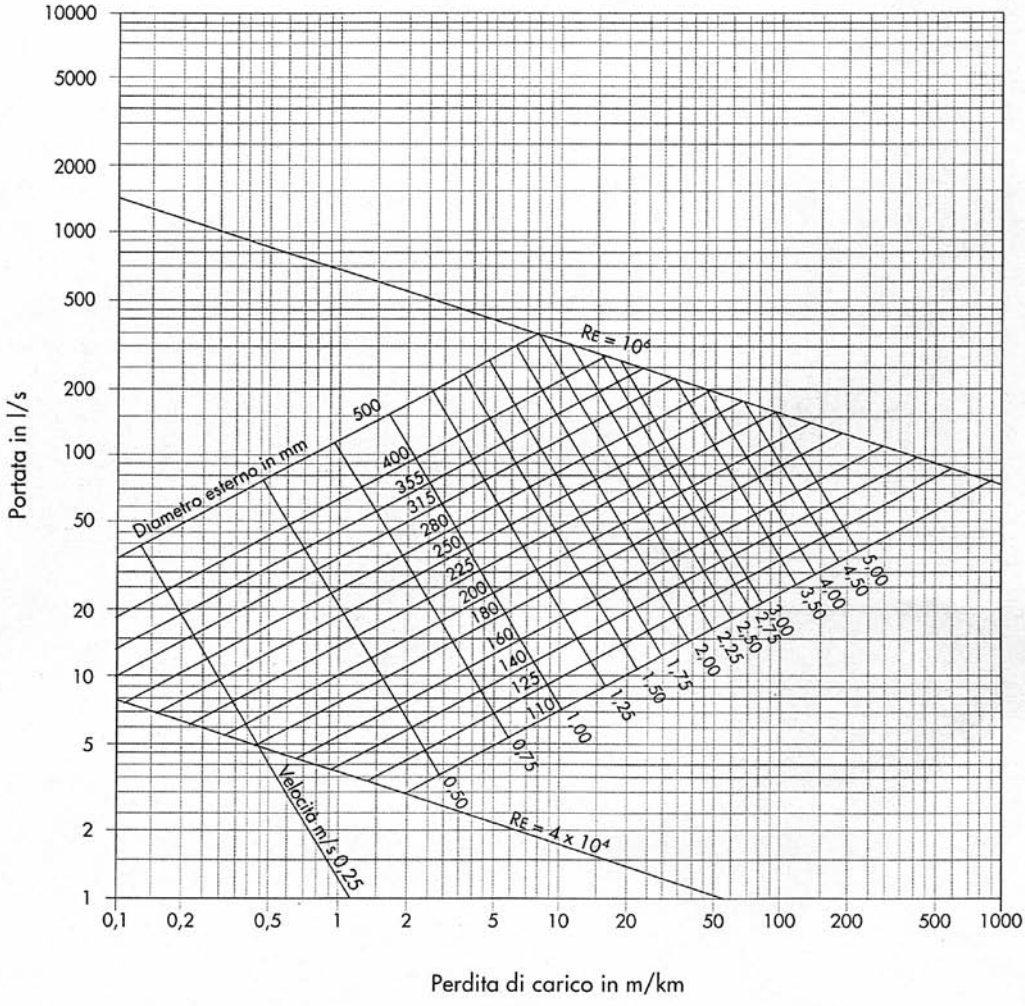
$$J = \frac{\lambda V^2}{2 g d} \text{ (PER ACQUA A 10 °C)}$$

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



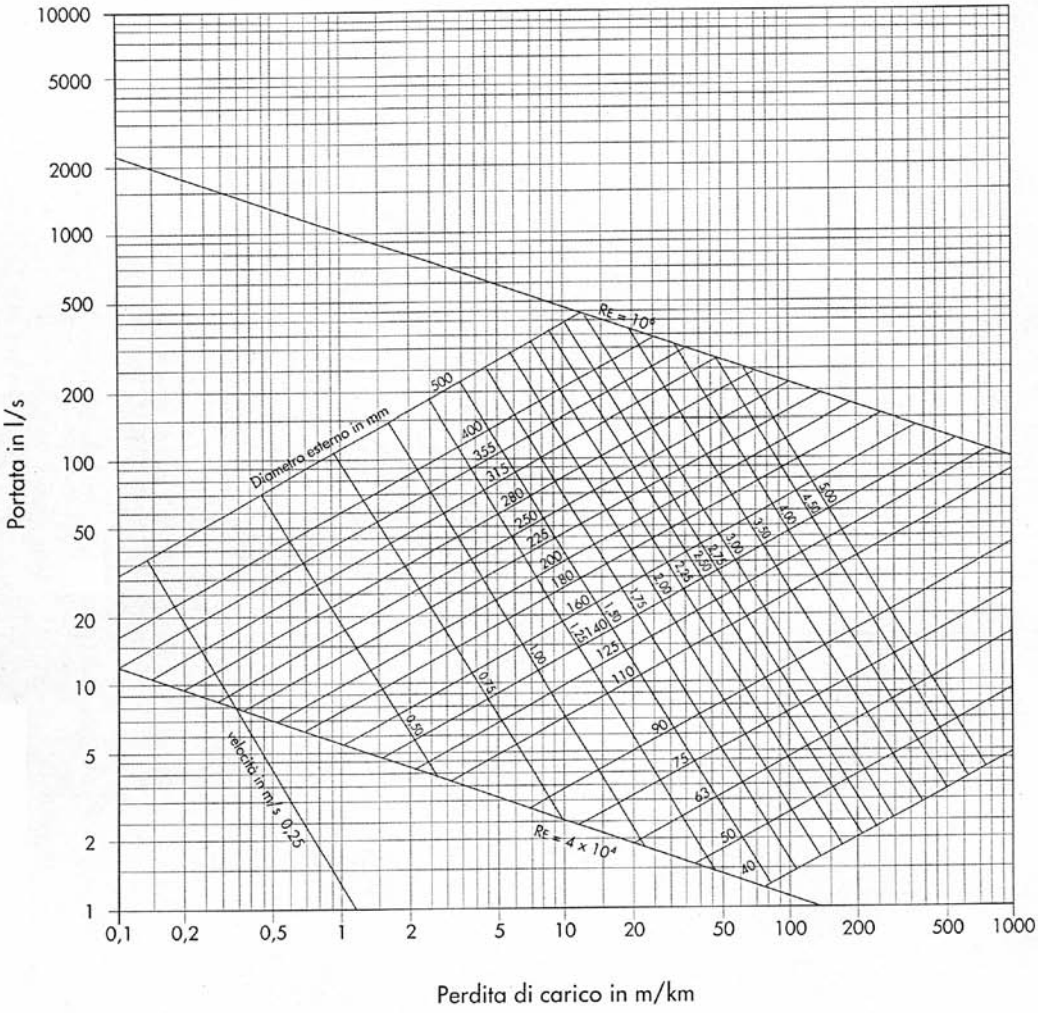
Tubazioni in PVC-U MRS25 PN 16 UNI-EN 1452-2

Abaco delle perdite di carico per acqua a 10°C

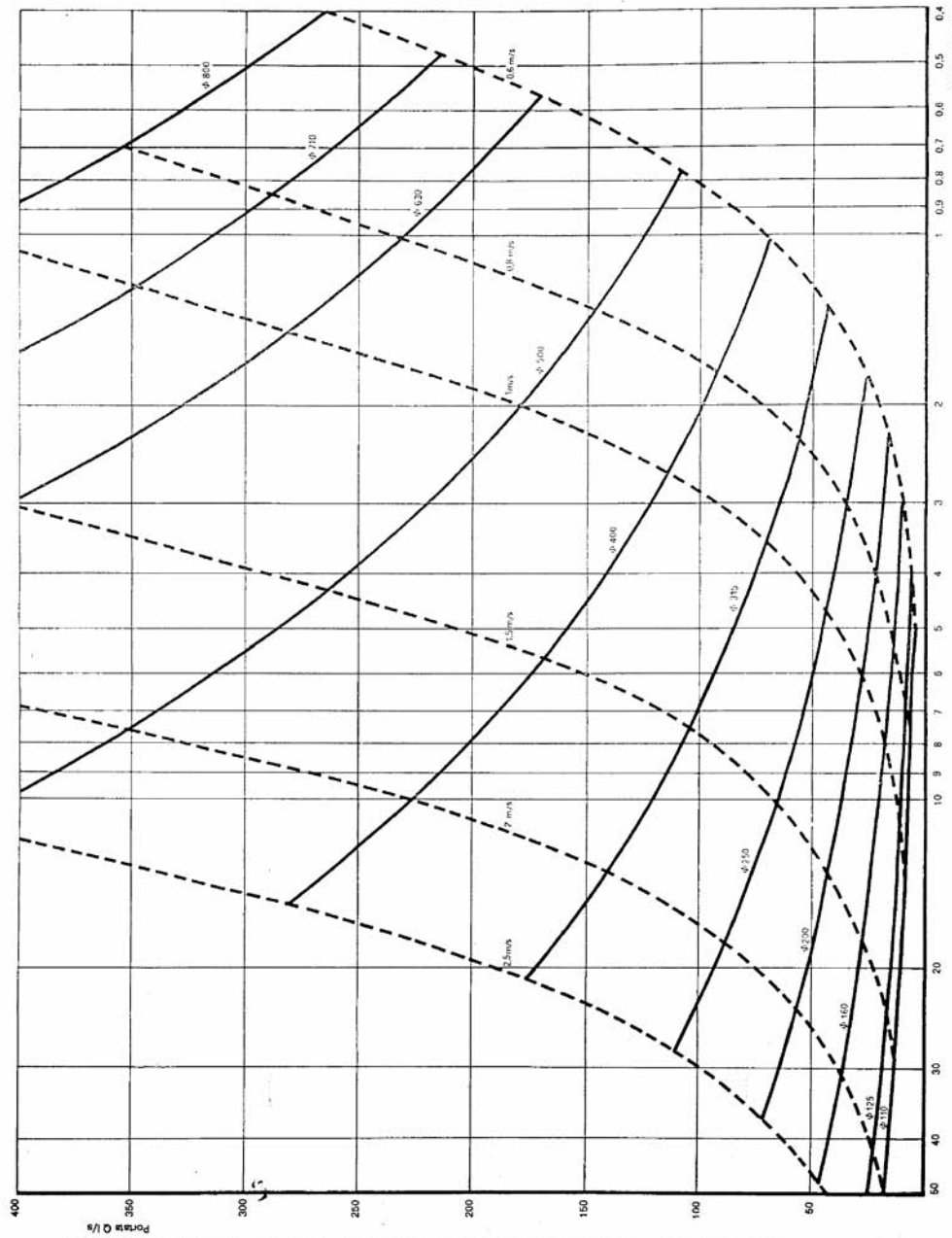


Tubazioni in PVC-U MRS25 PN 20 UNI-EN 1452-2

Abaco delle perdite di carico per acqua a 10°C



APPENDICE 8
Abachi e tabelle di dimensionamento fognature / condotte a pelo libero



PORTATE - PENDENZE - DIAMETRI - VELOCITÀ (Formula di Prandtl-Colebrook - UNI 303/1 e 303/2)

DN	160		200		250		315		400		500		630		710		800		900		1000		1200	
Di	150,0		187,6		234,4		295,4		375,0		469,0		591,2		660,0		751,1		844,0		944,0		1135,0	
J ‰	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
0,4	3,6	0,20	6,5	0,24	11,9	0,28	22,0	0,32	41,5	0,38	75,1	0,43	138,6	0,50	185,4	0,54	260,7	0,59	354,4	0,63	475,8	0,68	772,2	0,76
0,6	4,5	0,25	8,1	0,29	14,8	0,34	27,3	0,40	51,4	0,47	93,0	0,54	171,4	0,62	229,0	0,67	321,9	0,73	437,5	0,78	587,2	0,84	952,3	0,94
0,8	5,2	0,30	9,5	0,34	17,2	0,40	31,8	0,46	59,8	0,54	108,1	0,63	199,0	0,73	266,0	0,78	373,7	0,84	507,7	0,91	681,2	0,97	1104,4	1,09
1,0	5,9	0,33	10,7	0,39	19,3	0,45	35,7	0,52	67,2	0,61	121,4	0,70	223,4	0,81	298,5	0,87	419,4	0,95	569,6	1,02	764,1	1,09	1238,5	1,22
2,0	8,5	0,48	15,4	0,56	27,8	0,64	51,3	0,75	96,4	0,87	173,8	1,01	319,5	1,16	426,6	1,25	598,9	1,35	813,0	1,45	1090,1	1,56	1765,4	1,74
3,0	10,5	0,59	19,0	0,69	34,4	0,80	63,3	0,92	118,8	1,08	214,1	1,24	393,3	1,43	525,0	1,53	736,8	1,66	1000,0	1,79	1340,5	1,92	2170,1	2,14
4,0	12,2	0,69	22,1	0,80	39,9	0,92	73,4	1,07	137,7	1,25	248,1	1,44	455,6	1,66	608,0	1,78	853,2	1,93	1157,7	2,07	1551,7	2,22	2511,5	2,48
5,0	13,7	0,78	24,8	0,90	44,7	1,04	82,4	1,20	154,4	1,40	278,0	1,61	510,5	1,86	681,2	1,99	955,8	2,16	1296,8	2,32	1737,9	2,48	2812,3	2,78
6,0	15,1	0,85	27,3	0,99	49,1	1,14	90,5	1,32	169,5	1,53	305,2	1,77	560,2	2,04	747,4	2,18	1048,5	2,37	1422,5	2,54	1906,2	2,72	3084,3	3,05
7,0	16,3	0,92	29,5	1,07	53,2	1,23	97,9	1,43	183,4	1,66	330,1	1,91	605,8	2,21	808,3	2,36	1133,8	2,56	1538,1	2,75	2061,0	2,94	3334,5	3,30
8,0	17,5	0,99	31,6	1,14	57,0	1,32	104,8	1,53	196,4	1,78	353,3	2,05	648,3	2,36	865,0	2,53	1213,2	2,74	1645,8	2,94	2205,1	3,15	3567,3	3,53
9,0	18,6	1,05	33,6	1,22	60,5	1,40	111,3	1,62	208,5	1,89	375,1	2,17	688,3	2,51	918,2	2,68	1287,8	2,91	1746,9	3,12	2340,5	3,34	3786,1	3,74
10,0	19,6	1,11	35,5	1,28	63,9	1,48	117,5	1,71	220,0	1,99	395,7	2,29	726,1	2,64	968,6	2,83	1358,4	3,07	1842,5	3,29	2468,5	3,53	3993,0	3,95
11,0	20,6	1,17	37,2	1,35	67,1	1,55	123,3	1,80	230,9	2,09	415,4	2,40	762,0	2,78	1016,5	2,97	1425,5	3,22	1933,5	3,46	2590,3	3,70	4189,8	4,14
12,0	21,6	1,22	38,9	1,41	70,1	1,62	128,9	1,88	241,4	2,19	434,1	2,51	796,3	2,90	1062,2	3,10	1489,6	3,36	2020,4	3,61	2706,7	3,87	4377,8	4,33
13,0	22,5	1,27	40,6	1,47	73,0	1,69	134,3	1,96	251,4	2,28	452,1	2,62	829,3	3,02	1106,1	3,23	1551,2	3,50	2103,8	3,76	2818,3	4,03	4558,2	4,51
14,0	23,3	1,32	42,1	1,52	75,8	1,76	139,4	2,03	261,0	2,36	469,4	2,72	861,0	3,14	1148,4	3,36	1610,3	3,63	2184,0	3,90	2925,7	4,18	4731,7	4,68
15,0	24,2	1,37	43,7	1,58	78,6	1,82	144,4	2,11	270,3	2,45	486,1	2,81	891,6	3,25	1189,2	3,48	1667,5	3,76	2261,4	4,04	3029,3	4,33	4899,2	4,84
16,0	25,0	1,41	45,1	1,63	81,2	1,88	149,2	2,18	279,3	2,53	502,3	2,91	921,1	3,36	1228,6	3,59	1722,7	3,89	2336,3	4,18	3129,6	4,47	5061,1	5,00
17,0	25,8	1,46	46,5	1,68	83,7	1,94	153,9	2,25	288,1	2,61	517,9	3,00	949,8	3,46	1266,8	3,70	1776,3	4,01	2408,8	4,31	3226,7	4,61	5218,1	5,16
18,0	26,5	1,50	47,9	1,73	86,2	2,00	158,4	2,31	296,5	2,68	533,1	3,09	977,6	3,56	1303,9	3,81	1828,2	4,13	2479,3	4,43	3321,1	4,75	5370,6	5,31
19,0	27,3	1,54	49,3	1,78	88,6	2,05	162,9	2,38	304,8	2,76	547,9	3,17	1004,7	3,66	1340,0	3,92	1878,8	4,24	2547,8	4,55	3412,8	4,88	5518,8	5,45
20,0	28,0	1,58	50,6	1,83	91,0	2,11	167,2	2,44	312,8	2,83	562,3	3,26	1031,1	3,76	1375,2	4,02	1928,1	4,35	2614,6	4,67	3502,2	5,00	5663,2	5,60
21,0	28,7	1,62	51,8	1,88	93,2	2,16	171,3	2,50	320,6	2,90	576,4	3,34	1056,8	3,85	1409,4	4,12	1976,1	4,46	2679,7	4,79	3589,4	5,13	5804,1	5,74
22,0	29,4	1,66	53,1	1,92	95,5	2,21	175,4	2,56	328,3	2,97	590,1	3,42	1081,9	3,94	1442,9	4,22	2023,0	4,57	2743,3	4,90	3674,5	5,25	5941,6	5,87
23,0	30,1	1,70	54,3	1,96	97,6	2,26	179,4	2,62	335,7	3,04	603,5	3,49	1106,5	4,03	1475,6	4,31	2068,9	4,67	2805,4	5,01	3757,7	5,37	6076,0	6,01
24,0	30,7	1,74	55,5	2,01	99,8	2,31	183,4	2,68	343,1	3,11	616,6	3,57	1130,5	4,12	1507,7	4,41	2113,7	4,77	2866,2	5,12	3839,1	5,49	6207,6	6,14
25,0	31,4	1,78	56,6	2,05	101,9	2,36	187,2	2,73	350,2	3,17	629,5	3,64	1154,1	4,20	1539,0	4,50	2157,7	4,87	2925,8	5,23	3918,8	5,60	6336,4	6,26
26,0	32,0	1,81	57,8	2,09	103,9	2,41	190,9	2,79	357,2	3,23	642,1	3,72	1177,1	4,29	1569,8	4,59	2200,8	4,97	2984,2	5,33	3997,0	5,71	6462,7	6,39
27,0	32,6	1,85	58,9	2,13	105,9	2,45	194,6	2,84	364,1	3,30	654,5	3,79	1199,8	4,37	1599,9	4,68	2243,0	5,06	3041,4	5,44	4073,7	5,82	6586,6	6,51
28,0	33,3	1,88	60,0	2,17	107,9	2,50	198,2	2,89	370,9	3,36	666,6	3,86	1222,0	4,45	1629,5	4,76	2284,5	5,16	3097,7	5,54	4148,9	5,93	6708,2	6,63
29,0	33,9	1,92	61,1	2,21	109,8	2,55	201,8	2,94	377,5	3,42	678,5	3,93	1243,8	4,53	1658,6	4,85	2325,2	5,25	3152,9	5,64	4222,8	6,03	6827,6	6,75
30,0	34,4	1,95	62,2	2,25	111,8	2,59	205,3	3,00	384,0	3,48	690,2	4,00	1265,2	4,61	1687,2	4,93	2365,3	5,34	3207,2	5,73	4295,5	6,14	6945,0	6,86
32,0	35,6	2,01	64,2	2,32	115,5	2,68	212,1	3,10	396,8	3,59	713,1	4,13	1307,1	4,76	1743,0	5,09	2443,4	5,51	3313,1	5,92	4437,3	6,34	7174,1	7,09
34,0	36,7	2,08	66,2	2,40	119,1	2,76	218,7	3,19	409,1	3,70	735,2	4,26	1347,6	4,91	1797,0	5,25	2519,2	5,69	3415,7	6,11	4574,7	6,54	7396,2	7,31
36,0	37,8	2,14	68,2	2,47	122,6	2,84	225,1	3,29	421,1	3,81	756,7	4,38	1387,0	5,05	1849,5	5,41	2592,7	5,85	3515,4	6,28	4708,2	6,73	7611,8	7,52
38,0	38,8	2,20	70,1	2,54	126,0	2,92	231,4	3,38	432,8	3,92	777,7	4,50	1425,3	5,19	1900,6	5,56	2664,3	6,01	3612,3	6,46	4837,9	6,91	7821,5	7,73
40,0	39,9	2,26	71,9	2,60	129,3	3,00	237,5	3,46	444,1	4,02	798,0	4,62	1462,6	5,33	1950,3	5,70	2733,9	6,17	3706,7	6,63	4964,4	7,09	8025,7	7,93
44,0	41,9	2,37	75,5	2,73	135,7	3,14	249,2	3,64	466,0	4,22	837,3	4,85	1534,6	5,59	2046,2	5,98	2868,2	6,47	3888,8	6,95	5208,0	7,44	8419,5	8,32
48,0	43,7	2,48	78,9	2,85	141,8	3,29	260,4	3,80	486,9	4,41	874,8	5,06	1603,3	5,84	2137,8	6,25	2996,6	6,76	4062,7	7,26	5440,9	7,77	8795,6	8,69
52,0	45,6	2,58	82,2	2,97	147,6	3,42	271,1	3,96	507,0	4,59	910,9	5,27	1669,2	6,08	2225,6	6,51	3119,6	7,04	4229,5	7,56	5664,2	8,09	9156,5	9,05
56,0	47,3	2,68	85,3	3,09	153,3	3,55	281,5	4,11	526,3	4,77	945,5	5,47	1732,6	6,31	2310,1	6,75	3238,1	7,31	4390,0	7,85	5879,1	8,40	9503,7	9,39
60,0	49,0	2,77	88,3	3,20	158,7	3,68	291,4	4,25	544,9	4,93	978,9	5,67	1793,8	6,53	2391,7	6,99	3352,4	7,57	4544,9	8,12	6086,4	8,70	9838,7	9,72
70,0	53,0	3,00	95,5	3,45	171,6	3,98	315,0	4,60	588,9	5,33	1057,9	6,12	1938,4	7,06	2584,4	7,55	3622,4	8,18	4910,8	8,78	6576,3	9,40	10630,3	10,51
80,0	56,7	3,21	102,2	3,70	183,5	4,25	336,9	4,92	629,9	5,70	1131,4	6,55	2073,0	7,55	2763,8	8,08	3873,7	8,74	5251,5	9,39	7032,4	10,05	11367,1	11,23
90,0	60,1	3,40	108,4	3,92	194,8	4,51	357,5	5,22	668,4	6,05	1200,5	6,95	2199,4	8,01	2932,3	8,57	4109,8	9,28	5571,4	9,96	7460,7	10,66	12059,2	11,92
100,0	63,4	3,59	114,3	4,14	205,4	4,76	377,0	5,50	704,8	6,38	1265,8	7,33	2319,0	8,45	3091,7	9,04	4333,1	9,78	5874,0	10,50	7865,8	11,24	12713,7	12,57
120,0	69,6	3,94	125,4	4,54	225,2	5,22	413,3	6,03	772,4	6,99	1387,3	8,03	2541,4	9,26	3388,1	9,90	4748,4	10,72	6436,8	11,51	8619,3	12,32	13931,1	13,77
140,0	75,2	4,25	135,5	4,90	243,3	5,64	446,6	6,52	834,7	7,56	1499,0	8,68	2745,9	10,00	3660,7	10,70	5130,3	11,58	6954,4	12,43	9312,2	13,31	15050,7	14,88
160,0	80,4	4,55	144,9	5,24	260,3	6,03	477,6	6,97	892,6	8,08	1603,0	9,28	2936,3	10,70	3914,4	11,44	5485,8	12,38	7436,2	13,29	9957,2	14,23	16092,7	15,91

Tabella delle velocità medie (V = m/s), delle portate (Q = l/s) in funzione della pendenza J (m/km) dell'acqua per tubi di **PVC-U AlveHol con parete strutturata SN8 secondo prEN 13476** (Formula di Prandtl-Colebrook).

La parte strutturale è di tipo alveolare

DN	160		200		250		315		400		500		630		710		800		900		1000		1200	
Di	150,9		189,0		236,6		298,1		378,3		473,8		594,7		668,0		755,0		852,0		945,0		1139,0	
J ‰	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
0,4	3,6	0,20	6,7	0,24	12,2	0,28	22,6	0,32	42,5	0,38	77,2	0,44	140,8	0,51	191,4	0,55	264,3	0,59	363,3	0,64	477,2	0,68	779,4	0,76
0,6	4,5	0,25	8,3	0,30	15,1	0,34	28,0	0,40	52,6	0,47	95,5	0,54	174,0	0,63	236,4	0,67	326,4	0,73	448,5	0,79	588,8	0,84	961,1	0,94
0,8	5,3	0,30	9,7	0,35	17,6	0,40	32,6	0,47	61,2	0,54	111,0	0,63	202,1	0,73	274,5	0,78	378,8	0,85	520,4	0,91	683,1	0,97	1114,6	1,09
1,0	6,0	0,33	10,9	0,39	19,8	0,45	36,6	0,52	68,8	0,61	124,7	0,71	226,9	0,82	308,1	0,88	425,1	0,95	583,9	1,02	766,3	1,09	1250,0	1,23
2,0	8,6	0,48	15,7	0,56	28,5	0,65	52,6	0,75	98,6	0,88	178,5	1,01	324,5	1,17	440,3	1,26	607,1	1,36	833,3	1,46	1093,1	1,56	1781,7	1,75
3,0	10,7	0,60	19,4	0,69	35,2	0,80	64,9	0,93	121,6	1,08	219,9	1,25	399,4	1,44	541,9	1,55	746,9	1,67	1025,0	1,80	1344,2	1,92	2190,1	2,15
4,0	12,4	0,69	22,5	0,80	40,9	0,93	75,2	1,08	141,0	1,25	254,8	1,45	462,7	1,67	627,5	1,79	864,8	1,93	1186,7	2,08	1556,0	2,22	2534,6	2,49
5,0	13,9	0,78	25,3	0,90	45,9	1,04	84,4	1,21	158,0	1,41	285,6	1,62	518,5	1,87	703,1	2,01	968,8	2,16	1329,2	2,33	1742,7	2,48	2838,2	2,79
6,0	15,3	0,86	27,8	0,99	50,4	1,15	92,7	1,33	173,5	1,54	313,4	1,78	568,9	2,05	771,4	2,20	1062,8	2,37	1458,0	2,56	1911,5	2,73	3112,7	3,05
7,0	16,6	0,93	30,1	1,07	54,5	1,24	100,3	1,44	187,7	1,67	339,0	1,92	615,3	2,22	834,2	2,38	1149,3	2,57	1576,5	2,77	2066,7	2,95	3365,2	3,30
8,0	17,8	0,99	32,3	1,15	58,4	1,33	107,4	1,54	200,9	1,79	362,9	2,06	658,4	2,37	892,7	2,55	1229,8	2,75	1686,8	2,96	2211,2	3,15	3600,2	3,53
9,0	18,9	1,06	34,3	1,22	62,0	1,41	114,0	1,63	213,4	1,90	385,3	2,19	699,0	2,52	947,6	2,70	1305,4	2,92	1790,5	3,14	2346,9	3,35	3821,0	3,75
10,0	19,9	1,11	36,2	1,29	65,5	1,49	120,3	1,72	225,1	2,00	406,5	2,31	737,4	2,65	999,6	2,85	1376,9	3,08	1888,5	3,31	2475,3	3,53	4029,8	3,95
11,0	20,9	1,17	38,0	1,35	68,7	1,56	126,3	1,81	236,3	2,10	426,6	2,42	773,9	2,79	1049,0	2,99	1444,9	3,23	1981,7	3,48	2597,5	3,70	4228,4	4,15
12,0	21,9	1,22	39,7	1,42	71,9	1,63	132,0	1,89	247,0	2,20	445,9	2,53	808,7	2,91	1096,3	3,13	1509,9	3,37	2070,8	3,63	2714,2	3,87	4418,2	4,34
13,0	22,8	1,28	41,4	1,47	74,8	1,70	137,5	1,97	257,2	2,29	464,3	2,63	842,2	3,03	1141,6	3,26	1572,3	3,51	2156,2	3,78	2826,1	4,03	4600,2	4,51
14,0	23,7	1,33	43,0	1,53	77,7	1,77	142,8	2,05	267,1	2,38	482,1	2,73	874,4	3,15	1185,2	3,38	1632,3	3,65	2238,5	3,93	2933,8	4,18	4775,3	4,69
15,0	24,6	1,37	44,5	1,59	80,5	1,83	147,9	2,12	276,6	2,46	499,3	2,83	905,4	3,26	1227,2	3,50	1690,2	3,78	2317,8	4,07	3037,7	4,33	4944,3	4,85
16,0	25,4	1,42	46,0	1,64	83,2	1,89	152,9	2,19	285,8	2,54	515,9	2,93	935,5	3,37	1267,9	3,62	1746,2	3,90	2394,5	4,20	3138,2	4,47	5107,8	5,01
17,0	26,2	1,46	47,5	1,69	85,8	1,95	157,6	2,26	294,8	2,62	531,9	3,02	964,6	3,47	1307,3	3,73	1800,5	4,02	2468,9	4,33	3235,7	4,61	5266,2	5,17
18,0	27,0	1,51	48,9	1,74	88,4	2,01	162,3	2,33	303,4	2,70	547,6	3,11	992,9	3,57	1345,6	3,84	1853,2	4,14	2541,1	4,46	3330,3	4,75	5420,0	5,32
19,0	27,7	1,55	50,2	1,79	90,8	2,07	166,8	2,39	311,9	2,77	562,8	3,19	1020,4	3,67	1382,9	3,95	1904,4	4,25	2611,4	4,58	3422,3	4,88	5569,7	5,47
20,0	28,5	1,59	51,6	1,84	93,2	2,12	171,2	2,45	320,1	2,85	577,5	3,28	1047,1	3,77	1419,2	4,05	1954,3	4,37	2679,8	4,70	3511,9	5,01	5715,4	5,61
21,0	29,2	1,63	52,9	1,88	95,6	2,17	175,5	2,51	328,1	2,92	592,0	3,36	1073,3	3,86	1454,5	4,15	2003,0	4,47	2746,5	4,82	3599,3	5,13	5857,5	5,75
22,0	29,9	1,67	54,1	1,93	97,8	2,23	179,7	2,57	335,9	2,99	606,1	3,44	1098,8	3,96	1489,1	4,25	2050,6	4,58	2811,7	4,93	3684,6	5,25	5996,3	5,89
23,0	30,6	1,71	55,4	1,97	100,1	2,28	183,8	2,63	343,6	3,06	619,8	3,52	1123,7	4,05	1522,9	4,35	2097,1	4,68	2875,4	5,04	3768,1	5,37	6132,0	6,02
24,0	31,2	1,75	56,6	2,02	102,3	2,33	187,8	2,69	351,0	3,12	633,3	3,59	1148,1	4,13	1555,9	4,44	2142,5	4,79	2937,7	5,15	3849,7	5,49	6264,8	6,15
25,0	31,9	1,78	57,8	2,06	104,4	2,37	191,7	2,75	358,4	3,19	646,5	3,67	1172,0	4,22	1588,3	4,53	2187,1	4,89	2998,7	5,26	3929,7	5,60	6394,8	6,28
26,0	32,5	1,82	58,9	2,10	106,5	2,42	195,6	2,80	365,5	3,25	659,4	3,74	1195,4	4,30	1620,0	4,62	2230,7	4,98	3058,6	5,36	4008,0	5,71	6522,2	6,40
27,0	33,2	1,85	60,1	2,14	108,6	2,47	199,3	2,86	372,6	3,31	672,1	3,81	1218,4	4,39	1651,1	4,71	2273,6	5,08	3117,3	5,47	4084,9	5,82	6647,2	6,52
28,0	33,8	1,89	61,2	2,18	110,6	2,52	203,0	2,91	379,5	3,38	684,6	3,88	1241,0	4,47	1681,7	4,80	2315,6	5,17	3174,9	5,57	4160,4	5,93	6770,0	6,64
29,0	34,4	1,92	62,3	2,22	112,6	2,56	206,7	2,96	386,3	3,44	696,8	3,95	1263,1	4,55	1711,7	4,88	2356,9	5,26	3231,5	5,67	4234,5	6,04	6890,5	6,76
30,0	35,0	1,96	63,4	2,26	114,5	2,60	210,3	3,01	393,0	3,50	708,9	4,02	1284,9	4,63	1741,2	4,97	2397,5	5,36	3287,1	5,77	4307,4	6,14	7009,0	6,88
32,0	36,2	2,02	65,5	2,33	118,3	2,69	217,2	3,11	406,0	3,61	732,3	4,15	1327,4	4,78	1798,7	5,13	2476,7	5,53	3395,6	5,96	4449,6	6,34	7240,2	7,11
34,0	37,3	2,09	67,5	2,41	122,0	2,78	224,0	3,21	418,6	3,72	755,1	4,28	1368,6	4,93	1854,5	5,29	2553,5	5,70	3500,9	6,14	4587,4	6,54	7464,3	7,33
36,0	38,4	2,15	69,5	2,48	125,6	2,86	230,6	3,30	430,9	3,83	777,2	4,41	1408,6	5,07	1908,7	5,45	2628,0	5,87	3603,0	6,32	4721,2	6,73	7681,9	7,54
38,0	39,5	2,21	71,5	2,55	129,1	2,94	237,0	3,40	442,8	3,94	798,7	4,53	1447,5	5,21	1961,4	5,60	2700,5	6,03	3702,4	6,49	4851,3	6,92	7893,5	7,75
40,0	40,5	2,26	73,4	2,61	132,5	3,01	243,2	3,48	454,4	4,04	819,6	4,65	1485,4	5,35	2012,7	5,74	2771,2	6,19	3799,1	6,66	4978,1	7,10	8099,6	7,95
44,0	42,5	2,38	77,0	2,74	139,1	3,16	255,2	3,66	476,8	4,24	859,9	4,88	1558,4	5,61	2111,6	6,03	2907,3	6,49	3985,7	6,99	5222,4	7,45	8497,0	8,34
48,0	44,4	2,48	80,5	2,87	145,3	3,31	266,7	3,82	498,2	4,43	898,5	5,10	1628,2	5,86	2206,1	6,29	3037,4	6,78	4163,9	7,30	5455,9	7,78	8876,6	8,71
52,0	46,3	2,59	83,8	2,99	151,3	3,44	277,7	3,98	518,8	4,62	935,5	5,31	1695,1	6,10	2296,8	6,55	3162,1	7,06	4334,9	7,60	5679,8	8,10	9240,8	9,07
56,0	48,1	2,69	87,0	3,10	157,1	3,57	288,3	4,13	538,5	4,79	971,0	5,51	1759,6	6,33	2384,0	6,80	3282,2	7,33	4499,4	7,89	5895,3	8,41	9591,2	9,41
60,0	49,8	2,78	90,1	3,21	162,7	3,70	298,5	4,28	557,6	4,96	1005,4	5,70	1821,7	6,56	2468,2	7,04	3398,0	7,59	4658,1	8,17	6103,2	8,70	9929,3	9,74
70,0	53,8	3,01	97,4	3,47	175,8	4,00	322,6	4,62	602,6	5,36	1086,5	6,16	1968,6	7,09	2667,1	7,61	3671,7	8,20	5033,2	8,83	6594,5	9,40	10728,2	10,53
80,0	57,6	3,22	104,2	3,71	188,1	4,28	345,1	4,94	644,5	5,73	1162,0	6,59	2105,2	7,58	2852,2	8,14	3926,5	8,77	5382,3	9,44	7051,8	10,05	11471,8	11,26
90,0	61,1	3,42	110,6	3,94	199,6	4,54	366,2	5,25	683,9	6,08	1232,9	6,99	2233,6	8,04	3026,1	8,63	4165,7	9,30	5710,2	10,02	7481,3	10,67	12170,2	11,94
100,0	64,4	3,60	116,6	4,16	210,5	4,79	386,1	5,53	721,1	6,42	1300,0	7,37	2355,1	8,48	3190,5	9,10	4392,1	9,81	6020,3	10,56	7887,6	11,25	12830,7	12,59
120,0	70,7	3,95	127,8	4,56	230,8	5,25	423,2	6,06	790,4	7,03	1424,7	8,08	2580,9	9,29	3496,4	9,98	4813,0	10,75	6597,2	11,57	8643,1	12,32	14059,4	13,80
140,0	76,4	4,27	138,2	4,92	249,4	5,67	457,4	6,55	854,1	7,60	1539,5	8,73	2788,6	10,04	3777,7	10,78	5200,1	11,62	7127,6	12,50	9337,9	13,31	15189,2	14,91
160,0	81,7	4,57	147,8	5,27	266,7	6,07	489,2	7,01	913,3	8,13	1646,2	9,34	2981,9	10,74	4039,5	11,53	5560,4	12,42	7621,4	13,37	9984,7	14,24	16240,9	15,94

Tabella delle velocità medie (V = m/s), delle portate (Q = l/s) in funzione della pendenza J (m/km) dell'acqua per tubi di **PVC-U AlveHol con parete strutturata SN4 secondo prEN 13476** (Formula di Prandtl-Colebrook).

La parte strutturale è di tipo alveolare

DN	500		630		710		800		900		1000		1200	
Di	475,1		596,2		674,0		758,0		858,0		948,0		1143,0	
J ‰	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V
0,4	77,8	0,44	141,7	0,51	195,9	0,55	267,0	0,59	370,1	0,64	481,1	0,68	786,6	0,77
0,6	96,2	0,54	175,2	0,63	242,1	0,68	329,8	0,73	456,8	0,79	593,7	0,84	970,0	0,95
0,8	111,8	0,63	203,5	0,73	281,1	0,79	382,8	0,85	530,1	0,92	688,8	0,98	1124,9	1,10
1,0	125,6	0,71	228,5	0,82	315,5	0,88	429,6	0,95	594,8	1,03	772,7	1,09	1261,5	1,23
2,0	179,8	1,01	326,6	1,17	450,7	1,26	613,4	1,36	848,8	1,47	1102,2	1,56	1798,1	1,75
3,0	221,5	1,25	402,1	1,44	554,7	1,55	754,7	1,67	1044,0	1,81	1355,4	1,92	2210,3	2,15
4,0	256,6	1,45	465,8	1,67	642,4	1,80	873,9	1,94	1208,7	2,09	1569,0	2,22	2558,0	2,49
5,0	287,6	1,62	521,9	1,87	719,7	2,02	978,9	2,17	1353,8	2,34	1757,2	2,49	2864,3	2,79
6,0	315,7	1,78	572,7	2,05	789,7	2,21	1073,9	2,38	1485,0	2,57	1927,4	2,73	3141,4	3,06
7,0	341,5	1,93	619,3	2,22	854,0	2,39	1161,3	2,57	1605,7	2,78	2083,9	2,95	3396,1	3,31
8,0	365,5	2,06	662,8	2,37	913,8	2,56	1242,6	2,75	1718,1	2,97	2229,6	3,16	3633,3	3,54
9,0	388,1	2,19	703,6	2,52	970,1	2,72	1319,0	2,92	1823,6	3,15	2366,5	3,35	3856,1	3,76
10,0	409,4	2,31	742,3	2,66	1023,3	2,87	1391,3	3,08	1923,4	3,33	2495,9	3,54	4066,8	3,96
11,0	429,7	2,42	779,0	2,79	1073,9	3,01	1460,0	3,24	2018,4	3,49	2619,0	3,71	4267,2	4,16
12,0	449,1	2,53	814,1	2,92	1122,2	3,15	1525,7	3,38	2109,1	3,65	2736,7	3,88	4458,7	4,35
13,0	467,7	2,64	847,8	3,04	1168,6	3,28	1588,7	3,52	2196,1	3,80	2849,6	4,04	4642,4	4,52
14,0	485,6	2,74	880,2	3,15	1213,2	3,40	1649,3	3,65	2279,9	3,94	2958,2	4,19	4819,2	4,70
15,0	502,9	2,84	911,4	3,26	1256,3	3,52	1707,8	3,78	2360,7	4,08	3063,0	4,34	4989,7	4,86
16,0	519,6	2,93	941,7	3,37	1297,9	3,64	1764,4	3,91	2438,8	4,22	3164,3	4,48	5154,7	5,02
17,0	535,8	3,02	971,0	3,48	1338,3	3,75	1819,2	4,03	2514,6	4,35	3262,5	4,62	5314,6	5,18
18,0	551,5	3,11	999,4	3,58	1377,5	3,86	1872,5	4,15	2588,1	4,48	3357,9	4,76	5469,8	5,33
19,0	566,8	3,20	1027,1	3,68	1415,6	3,97	1924,2	4,26	2659,7	4,60	3450,7	4,89	5620,8	5,48
20,0	581,7	3,28	1054,1	3,78	1452,7	4,07	1974,7	4,38	2729,3	4,72	3541,1	5,02	5767,9	5,62
21,0	596,2	3,36	1080,4	3,87	1488,9	4,17	2023,9	4,48	2797,3	4,84	3629,2	5,14	5911,3	5,76
22,0	610,4	3,44	1106,0	3,96	1524,3	4,27	2071,9	4,59	2863,7	4,95	3715,2	5,26	6051,4	5,90
23,0	624,3	3,52	1131,1	4,05	1558,9	4,37	2118,9	4,70	2928,5	5,07	3799,4	5,38	6188,3	6,03
24,0	637,9	3,60	1155,7	4,14	1592,7	4,46	2164,8	4,80	2992,0	5,17	3881,7	5,50	6322,3	6,16
25,0	651,2	3,67	1179,8	4,23	1625,8	4,56	2209,9	4,90	3054,2	5,28	3962,3	5,61	6453,5	6,29
26,0	664,2	3,75	1203,3	4,31	1658,3	4,65	2254,0	4,99	3115,1	5,39	4041,3	5,73	6582,1	6,41
27,0	677,0	3,82	1226,5	4,39	1690,2	4,74	2297,2	5,09	3174,9	5,49	4118,8	5,84	6708,3	6,54
28,0	689,5	3,89	1249,2	4,47	1721,4	4,82	2339,7	5,18	3233,6	5,59	4194,9	5,94	6832,1	6,66
29,0	701,9	3,96	1271,5	4,55	1752,2	4,91	2381,5	5,28	3291,2	5,69	4269,7	6,05	6953,8	6,78
30,0	714,0	4,03	1293,4	4,63	1782,4	5,00	2422,5	5,37	3347,9	5,79	4343,2	6,15	7073,3	6,89
32,0	737,6	4,16	1336,2	4,79	1841,3	5,16	2502,5	5,55	3458,4	5,98	4486,5	6,36	7306,7	7,12
34,0	760,5	4,29	1377,6	4,93	1898,4	5,32	2580,1	5,72	3565,6	6,17	4625,5	6,55	7532,8	7,34
36,0	782,8	4,42	1417,9	5,08	1953,8	5,48	2655,4	5,88	3669,6	6,35	4760,4	6,74	7752,4	7,56
38,0	804,4	4,54	1457,1	5,22	2007,7	5,63	2728,6	6,05	3770,8	6,52	4891,6	6,93	7966,0	7,76
40,0	825,5	4,66	1495,2	5,36	2060,3	5,77	2800,0	6,20	3869,3	6,69	5019,4	7,11	8174,0	7,97
44,0	866,1	4,89	1568,7	5,62	2161,5	6,06	2937,5	6,51	4059,3	7,02	5265,8	7,46	8575,0	8,36
48,0	904,9	5,10	1639,0	5,87	2258,3	6,33	3069,0	6,80	4240,9	7,33	5501,2	7,79	8958,1	8,73
52,0	942,2	5,31	1706,3	6,11	2351,1	6,59	3195,0	7,08	4415,0	7,64	5727,0	8,11	9325,6	9,09
56,0	978,0	5,52	1771,2	6,34	2440,4	6,84	3316,3	7,35	4582,5	7,93	5944,3	8,42	9679,2	9,43
60,0	1012,6	5,71	1833,7	6,57	2526,5	7,08	3433,3	7,61	4744,2	8,21	6153,9	8,72	10020,4	9,77
70,0	1094,3	6,17	1981,6	7,10	2730,1	7,65	3709,9	8,22	5126,2	8,87	6649,3	9,42	10826,6	10,55
80,0	1170,3	6,60	2119,1	7,59	2919,6	8,18	3967,3	8,79	5481,7	9,48	7110,3	10,07	11577,0	11,28
90,0	1241,8	7,00	2248,4	8,05	3097,6	8,68	4209,1	9,33	5815,7	10,06	7543,4	10,69	12281,8	11,97
100,0	1309,3	7,39	2370,6	8,49	3265,9	9,15	4437,8	9,83	6131,6	10,60	7953,0	11,27	12948,4	12,62
120,0	1435,0	8,09	2598,0	9,31	3579,0	10,03	4863,1	10,78	6719,0	11,62	8714,8	12,35	14188,3	13,83
140,0	1550,5	8,75	2807,0	10,05	3866,9	10,84	5254,2	11,64	7259,3	12,56	9415,4	13,34	15328,5	14,94
160,0	1658,1	9,35	3001,6	10,75	4134,9	11,59	5618,3	12,45	7762,1	13,43	10067,5	14,26	16389,8	15,97

Tabella delle velocità medie (V = m/s), delle portate (Q = l/s) in funzione della pendenza J (m/km) dell'acqua per tubi di **PVC-U AlveHol con parete strutturata SN2 secondo prEN 13476** (Formula di Prandtl-Colebrook).

La parte strutturale è di tipo alveolare

Qp/Q	h/Di	Vp/V
0,001	0,023	0,17
0,002	0,032	0,21
0,003	0,038	0,24
0,004	0,044	0,26
0,005	0,049	0,28
0,006	0,053	0,29
0,007	0,057	0,30
0,008	0,061	0,32
0,009	0,065	0,33
0,010	0,068	0,34
0,011	0,071	0,35
0,012	0,074	0,36
0,013	0,077	0,37
0,014	0,080	0,38
0,015	0,083	0,38
0,016	0,086	0,39
0,017	0,088	0,39
0,018	0,091	0,40
0,019	0,093	0,41
0,020	0,095	0,41
0,021	0,098	0,42
0,022	0,100	0,42
0,023	0,102	0,43
0,024	0,104	0,43
0,025	0,106	0,44
0,026	0,108	0,45
0,027	0,110	0,45
0,028	0,112	0,45
0,029	0,114	0,46
0,030	0,116	0,46
0,031	0,118	0,47
0,032	0,120	0,47
0,033	0,122	0,48
0,034	0,123	0,48
0,035	0,125	0,48
0,036	0,127	0,49
0,037	0,129	0,49
0,038	0,130	0,50
0,039	0,132	0,50
0,040	0,134	0,50
0,041	0,135	0,51
0,042	0,137	0,51
0,043	0,138	0,51
0,044	0,140	0,52
0,045	0,141	0,52
0,046	0,143	0,52
0,047	0,145	0,53
0,048	0,146	0,53
0,049	0,148	0,53
0,050	0,149	0,54
0,051	0,151	0,54
0,052	0,152	0,54
0,053	0,153	0,55
0,054	0,155	0,55
0,055	0,156	0,55
0,056	0,158	0,55
0,057	0,159	0,56
0,058	0,160	0,56
0,059	0,162	0,56
0,060	0,163	0,57
0,061	0,164	0,57
0,062	0,166	0,57
0,063	0,167	0,57
0,064	0,168	0,58
0,065	0,170	0,58
0,066	0,171	0,58
0,067	0,172	0,58
0,068	0,174	0,59
0,069	0,175	0,59
0,070	0,176	0,59
0,071	0,177	0,59
0,072	0,179	0,59
0,073	0,180	0,60
0,074	0,181	0,60
0,075	0,182	0,60
0,076	0,183	0,60
0,077	0,185	0,61
0,078	0,186	0,61
0,079	0,187	0,61
0,080	0,188	0,61
0,081	0,189	0,62
0,082	0,191	0,62
0,083	0,192	0,62
0,084	0,193	0,62
0,085	0,194	0,62
0,086	0,195	0,63
0,087	0,196	0,63
0,088	0,197	0,63
0,089	0,199	0,63
0,090	0,200	1,05
0,091	0,201	0,64
0,092	0,202	0,64
0,093	0,203	0,64
0,094	0,204	0,64
0,095	0,205	0,64
0,096	0,206	0,65
0,097	0,207	0,65
0,098	0,208	0,65
0,099	0,210	0,65
0,100	0,211	0,65
0,105	0,216	0,66
0,110	0,221	0,67
0,115	0,226	0,68
0,120	0,231	0,69
0,125	0,236	0,69
0,130	0,241	0,70
0,135	0,245	0,71
0,140	0,250	0,72
0,145	0,254	0,72
0,150	0,259	0,73

Coefficiente di adeguamento in caso di riempimenti parziali.

Q_p: portata di riempimento parziale; Q: portata di riempimento totale; h: altezza del riempimento;
V_p: velocità relativa al riempimento parziale; V: velocità relativa al riempimento totale; D_i: diametro interno

Qp/Q	h/Di	Vp/V
0,155	0,263	0,74
0,160	0,268	0,74
0,165	0,272	0,75
0,170	0,276	0,76
0,175	0,281	0,76
0,180	0,285	0,77
0,185	0,289	0,77
0,190	0,293	0,78
0,195	0,297	0,78
0,200	0,301	0,79
0,210	0,309	0,80
0,220	0,316	0,81
0,230	0,324	0,82
0,240	0,331	0,83
0,250	0,339	0,84
0,260	0,346	0,85
0,270	0,353	0,86
0,280	0,360	0,86
0,290	0,367	0,87
0,300	0,374	0,88
0,310	0,381	0,89
0,320	0,387	0,89
0,330	0,394	0,90
0,340	0,401	0,91
0,350	0,407	0,92
0,360	0,414	0,92
0,370	0,420	0,93
0,380	0,426	0,93
0,390	0,433	0,94
0,400	0,439	0,95
0,410	0,445	0,95
0,420	0,451	0,96
0,430	0,458	0,96
0,440	0,464	0,97
0,450	0,470	0,97
0,460	0,476	0,98
0,470	0,482	0,99
0,480	0,488	0,99
0,490	0,494	1,00
0,500	0,500	1,00
0,510	0,506	1,00
0,520	0,512	1,01
0,530	0,519	1,02
0,540	0,525	1,02
0,550	0,531	1,02
0,560	0,537	1,03
0,570	0,543	1,03
0,580	0,550	1,03
0,590	0,560	1,04
0,600	0,562	1,04
0,610	0,568	1,04
0,620	0,575	1,05
0,630	0,581	1,05
0,640	0,587	1,05
0,650	0,594	0,63

Qp/Q	h/Di	Vp/V
0,660	0,600	1,06
0,670	0,607	1,06
0,680	0,613	1,06
0,690	0,620	1,06
0,700	0,626	1,06
0,710	0,633	1,06
0,720	0,646	1,07
0,730	0,646	1,07
0,740	0,653	1,07
0,750	0,660	1,07
0,760	0,667	1,07
0,770	0,675	1,07
0,780	0,682	1,07
0,790	0,689	1,07
0,800	0,697	1,07
0,805	0,701	1,08
0,810	0,705	1,08
0,815	0,709	1,08
0,820	0,713	1,08
0,825	0,717	1,08
0,830	0,721	1,08
0,835	0,725	1,08
0,840	0,729	1,07
0,845	0,734	1,07
0,850	0,738	1,07
0,855	0,742	1,07
0,860	0,747	1,07
0,865	0,751	1,07
0,870	0,756	1,07
0,875	0,761	1,07
0,880	0,766	1,07
0,885	0,770	1,07
0,890	0,775	1,07
0,895	0,781	1,07
0,900	0,786	1,07
0,905	0,791	1,07
0,910	0,797	1,07
0,915	0,802	1,06
0,920	0,808	1,06
0,925	0,814	1,06
0,930	0,821	1,06
0,935	0,827	1,06
0,940	0,834	1,05
0,945	0,841	1,05
0,950	0,849	1,05
0,955	0,856	1,05
0,960	0,865	1,04
0,965	0,874	1,04
0,970	0,883	1,04
0,975	0,894	1,03
0,980	0,905	1,03
0,985	0,919	1,02
0,990	0,935	1,02
0,995	0,955	1,01
1,000	1,000	1,00

APPENDICE 9
Stoccaggio e posa in opera

Raccomandazioni per la movimentazione e lo stoccaggio nei magazzini

I tubi in PVC rigido possono essere spediti e consegnati in imballi contenitivi in legno.

Le singole dimensioni degli imballi possono essere richieste ai nostri uffici spedizione.

A partire dal diametro 630 mm compreso, i tubi non sono imballati.

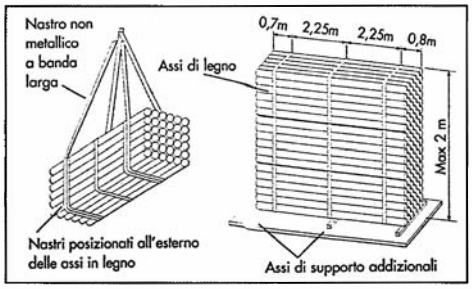


Fig. 32 - Movimentazione e stoccaggio.

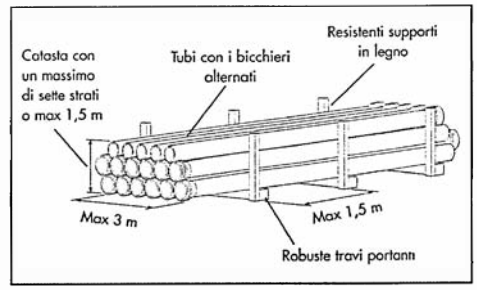


Fig. 33 - Accatastamento in magazzino.

Raccomandazioni per la movimentazione e lo stoccaggio in cantiere

Scarico e movimentazione

Per lo scarico dei mezzi di trasporto, i tubi devono essere sollevati nella zona centrale con un bilancino di ampiezza adeguata.

Se queste operazioni vengono effettuate manualmente, è necessario evitare di far strisciare i tubi sulle sponde del mezzo di trasporto o comunque su mezzi duri e aguzzi.

Si raccomanda di non trascinare i tubi sul terreno.

Accatastamento

Il piano di appoggio dovrà essere livellato ed esente da asperità e sopratutto da pietre appuntite.

L'altezza di accatastamento per i tubi in barre non deve essere superiore a 1 metro qualunque ne sia il diametro.

Nel caso i tubi di grossi diametri (oltre 500 mm) si consiglia di armare internamente le estremità dei tubi onde evitare eccessive ovalizzazioni.

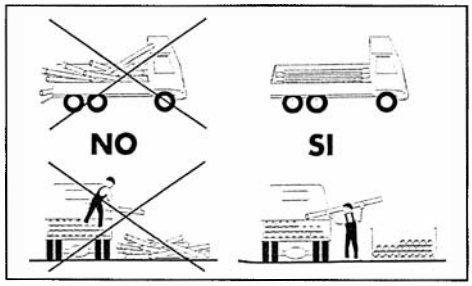


Fig. 34 - Trasporto e scarico.

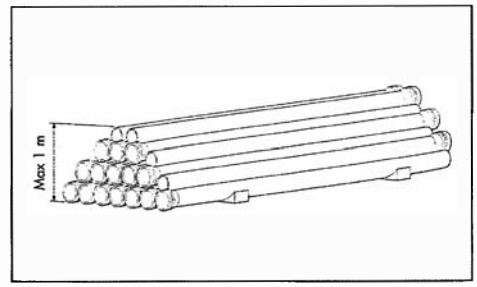


Fig. 35 - Accatastamento dei tubi in cantiere.

Tipo di terreno	Gruppo di terreno					Da usarsi come terreno da rinterro
	#	Nome tipico	Simbolo	Tratti caratteristici	Esempi	
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, mescola di ghiaia e sabbia	[GW]	Linea di granulazione continua, pezzatura a più zone		
		Mescola di ghiaia e sabbia poco vagliata	(GI) [GP]	Linea di granulazione a scalini, una o più zone di pezzatura assenti		
	2	Sabbia mono dispersa	(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, mescola di ghiaia e sabbia	[SW]	Linea di granulazione continua, pezzatura a più zone	Sabbia morenica, sabbia da terrapieni, sabbia da spiaggia	
		Mescola di ghiaia e sabbia poco vagliata	[SI] (SP)	Linea di granulazione a scalini, una o più zone di pezzatura assenti		
	3	Ghiaia con limo, miscela poco vagliata 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, miscela poco vagliata di ghiaia, limo e sabbia	[GC] (GT)	Linea di granulazione larga/intermittente con argilla finemente granulata		
		Sabbia con limo, miscele poco vagliate di sabbia e limo	[SM] (SU)	Linea di granulazione larga/intermittente con argilla finemente granulata	Sabbia liquida, terriccio, sabbia di 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 poco a niente plasticità	Loess, terriccio	SI
		Argilla inorganica, argilla particolarmente platica	[CL] (TA) (TL) (TM)	Da media a molto alta stabilità, da bassa a nulla reazione, da bassa a media plasticità	Marna alluvionale, argilla	
Organico	5	Terreno granulato misto con mistura di humus e calcare	[OK]	Mescolanza 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 mescolanze 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	

Tab. 21 - Classificazione dei terreni. - I simboli usati provengono da due fonti. Quelli tra parentesi quadre [...] dalla norma inglese BS 5930. Quelli tra parentesi tonde (...) dalla norma tedesca DIN 18196.

Raccomandazioni per la corretta posa in cantiere

Una posa corretta e l'uso di prodotti idonei e di accertata qualità garantiscono sicurezza e durata nel tempo dell'opera.

Le normative di riferimento oggi disponibili offrono ampie guide all'installazione di condotte in resina:

ENV 1452-6 Condotte di PVC-U per adduzione acqua.
Parte 6: Guida all'installazione;

ENV 1046 Condotte in resina
Sistemi per il convogliamento di acqua o per lo scarico all'esterno dei fabbricati.
Pratiche per l'installazione interrata o aerea.

Prescrizioni per la posa

a) Rinfianco effettuato manualmente fino a metà del diametro del tubo e compattato camminando con i piedi (fig.36);
b) riempimento fino alla generatrice superiore del tubo, effettuato manualmente e di nuovo compattato con i piedi (fig. 37);
c) può essere aggiunto uno strato di 150 mm compattato a macchina, purché non direttamente sulla generatrice superiore del tubo (fig. 38);
d) il rinfianco ed il reinterro fino a 150 mm sopra la generatrice superiore del tubo, possono essere effettuati in un'unica soluzione quando viene usato materiale come sabbia o terra sciolta e vagliata (fig. 39);
e) il materiale di risulta per il restante reinterro può essere utilizzato compattato in strati di spessore non maggiore di 250 mm, purché non compattati direttamente sopra il tubo fino al raggiungimento di 300 mm di altezza dalla generatrice superiore del tubo (fig. 40);
f) il rimanente reinterro può essere completato e compattato in strati a seconda dei requisiti di finitura della superficie (fig. 41).

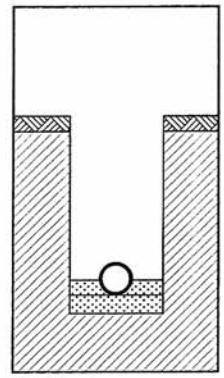


Fig. 36

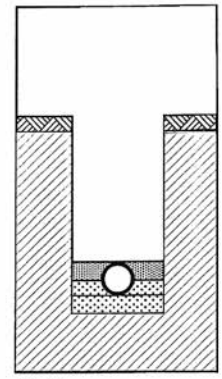


Fig. 37

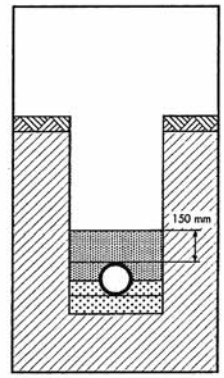


Fig. 38

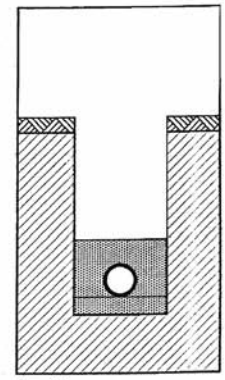


Fig. 39

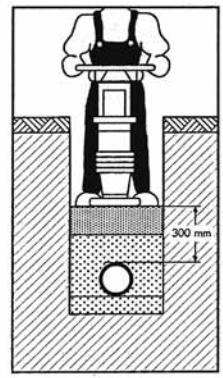


Fig. 40

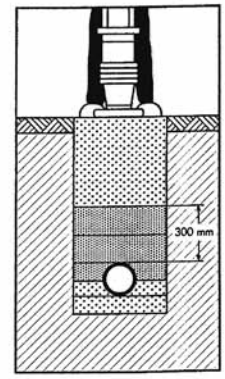
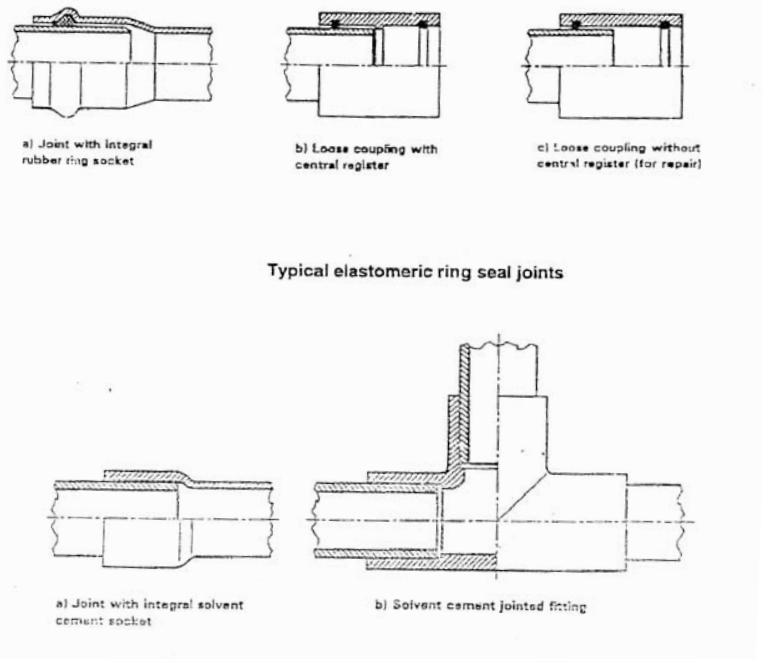
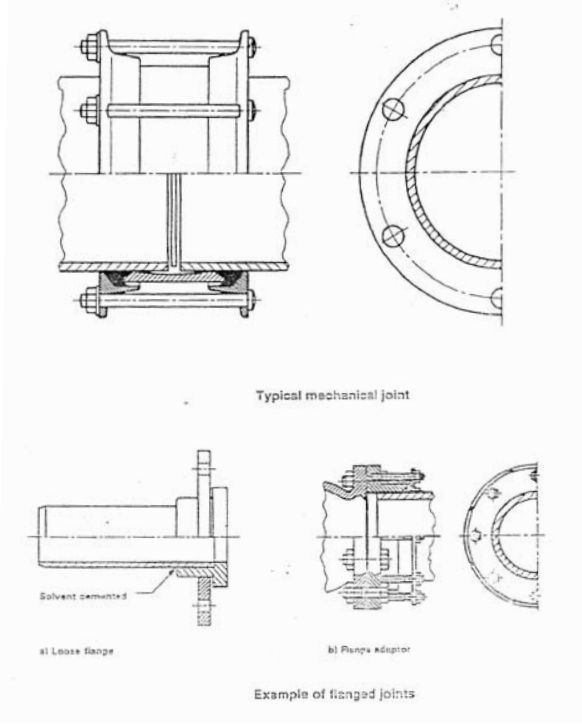
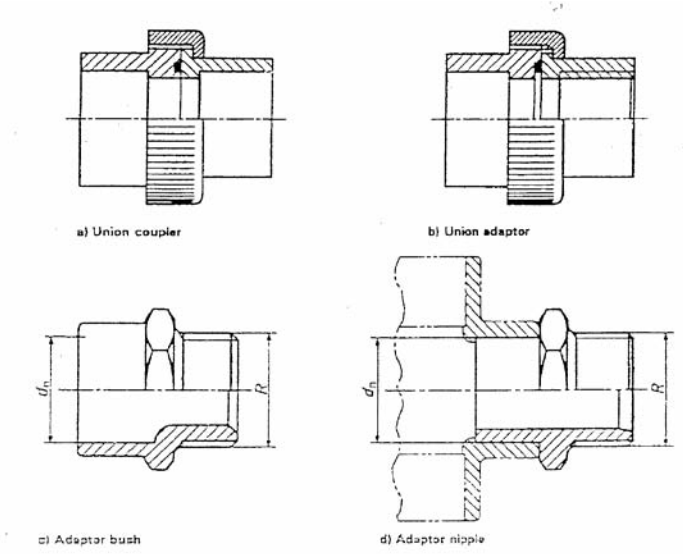


Fig. 41

APPENDICE 10
Raccordi, ancoraggi, sforzi sulle curve







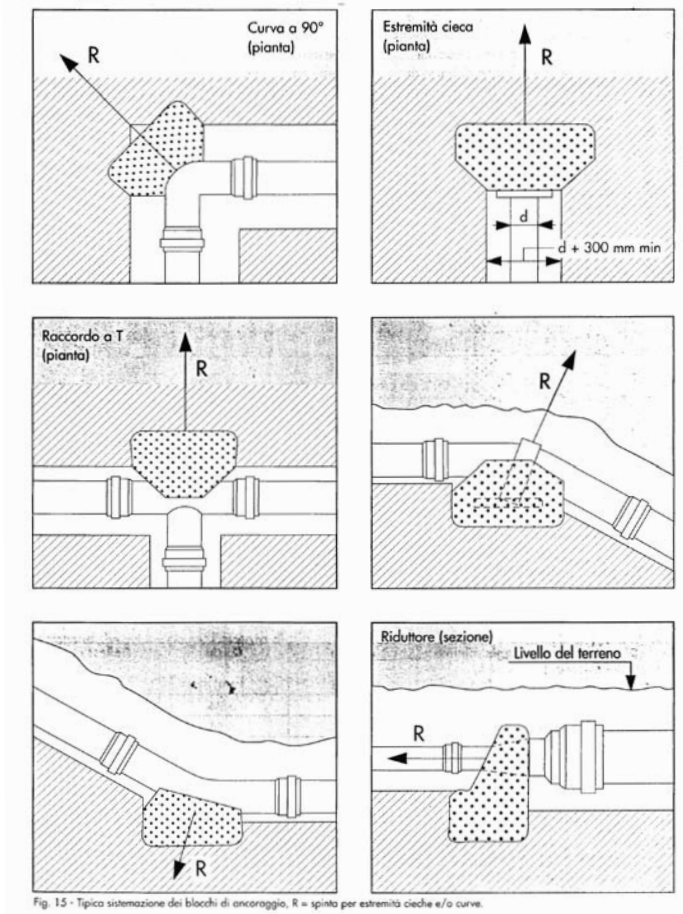


Fig. 15 - Tipica sistemazione dei blocchi di ancoraggio, R = spinta per estremità cieche e/o curve.

Diametro nominale da (mm)	Spinta sull'estremità cieca kN/bar*	Spinta radiale sulle curve a vari angoli kN/bar*			
		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

* Le cifre nel prospetto sono per bar di pressione interna. 1 bar = 10^5 N/m² = 0,1 MPa.

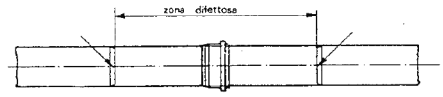
Forze di spinta per estremità cieche e curve.

APPENDICE 11
Riparazione e innesto nuove linee

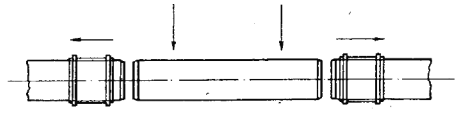
Riparazione di una tubazione

Per riparare una tubazione difettosa, si utilizzano due manicotti scorrevoli seguendo lo schema di seguito indicato.

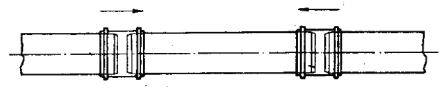
Riparazione di una tubazione



– Identificare tutta la lunghezza del tubo difettosa ed asportarla.
– Tagliare netto e smussare le estremità dei due tubi che restano in opera.



– Introdurre nelle due estremità i manicotti scorrevoli di riparazione.
– Si interpone, su un letto di posa correttamente preparato, uno spezzone di tubo di lunghezza appropriata.

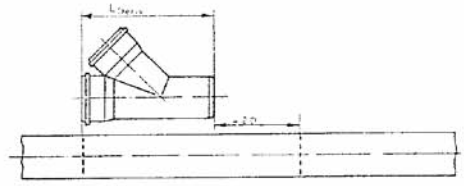


– Far scorrere i manicotti nella loro posizione finale.
– Reinterrare con cura in modo da avere gli stessi valori dell'indice Proctor della vecchia tubazione.

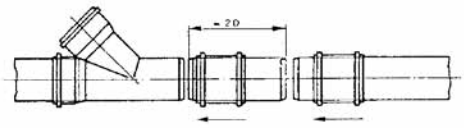
Innesto di nuove linee

Qualora si renda necessario effettuare un innesto nella tubazione di PVC già posta in opera, si può procedere secondo uno dei metodi di seguito illustrati.

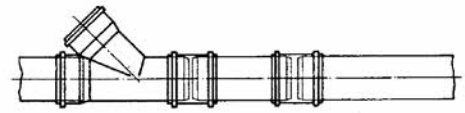
Utilizzo di una derivazione e di due manicotti scorrevoli



– Tagliare la tubazione esistente per un tratto sufficientemente lungo (L_{Deriv} + 2 D)

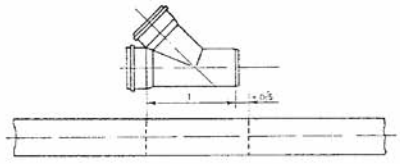


– Inserire la derivazione in un troncone.
– Misurare la distanza fra l'estremità della derivazione e l'altro troncone.
– Tagliare un pezzo di tubo di uguale lunghezza.
– Inserire un manicotto sul troncone e un manicotto sul pezzo di tubo.

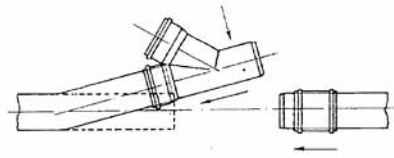


– Inserire il pezzo di tubo nella tubazione e far scorrere i due manicotti in modo da ottenere la tenuta.

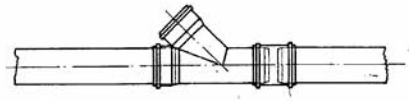
Utilizzo di una derivazione e di un manicotto scorrevole (caso in cui la tubazione si può leggermente sollevare)



– Tagliare il tubo per la lunghezza indicata in figura + D/5

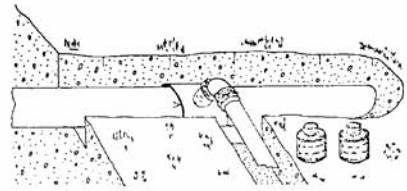


– Sollevare un troncone di tubo (quello a monte), ed inserire in questo la derivazione.
– Inserire nell'altro troncone il manicotto.

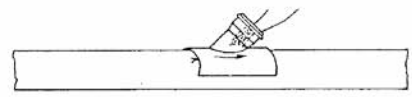


– Far scorrere il manicotto in modo da ottenere la tenuta.

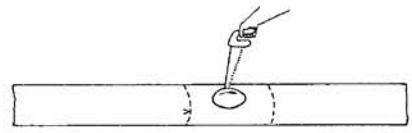
Utilizzo di una derivazione a sella (clip)



– Effettuare un montaggio in bianco con il tubo di derivazione e gli altri raccordi.
– Trovare la posizione della clip.



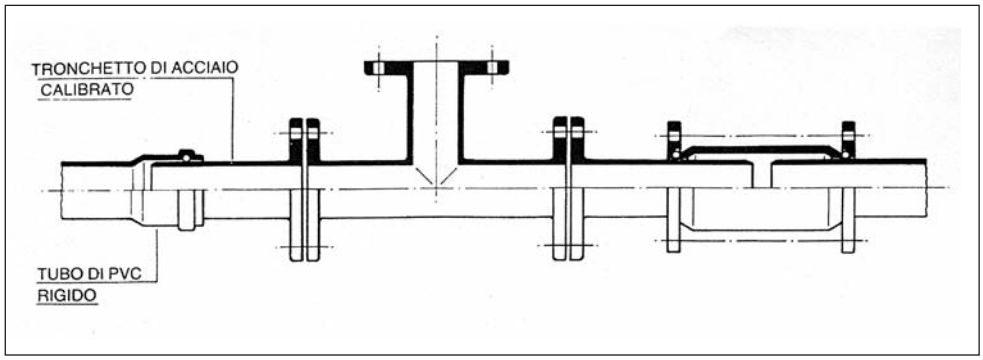
– Smontare il tubo di derivazione e la curva.
– Disegnare con matita grassa sul tubo il contorno interno da tagliare.



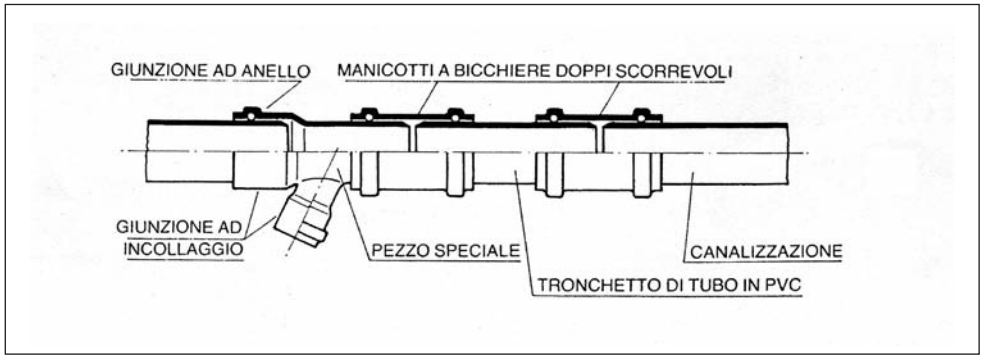
– Fare un foro e, partendo da questo, fare un'apertura leggermente più grande del tracciato.
– Sbavare accuratamente i bordi con lima a denti fini.

– Pulire con solvente-sgrassante.
– Sottolineare con la matita i due riferimenti segnati sul tubo.
– Incollare l'interno della clip e porre la clip seguendo i riferimenti (non oltre un minuto dopo l'incollaggio).
– Levare la colla eccedente.
– Montare la curva ed il tubo solo dopo 10 minuti.
– Per ottenere una eccellente tenuta chiudere e stringere forte con un legaccio subito dopo la posa della clip.

Allacciamento con raccordi e pezzi speciali



Allacciamento non previsto in una canalizzazione già posata



Appendice 12
Riferimenti alle caratteristiche dei materiali alternativi

12.1 Il polietilene

12.1.1 Il materiale e le sue caratteristiche

Il polietilene venne scoperto nel 1933 in Gran Bretagna ed è un polimero termoplastico sintetizzato con prodotti ottenuti durante il cracking del petrolio grezzo, specificatamente si ottiene dalla polimerizzazione dell'etilene. In tabella 12.1 si riportano le principali caratteristiche meccaniche e chimico fisiche del materiale.

Tabella 12.1 - *Caratteristiche meccaniche, chimiche e fisiche del polietilene.*

Caratteristica	*Valore*
Carico di snervamento a trazione	24 MPa
Carico di rottura a trazione (50 mm/min)	33 MPa
Allungamento a snervamento (50 mm/min)	7%
Allungamento a rottura	>700%
Modulo elastico a trazione	1000 MPa
Modulo elastico a flessione	1050 MPa
Densità a 20°C	>0,930 g/cm^3
Indice di fluidità (190°C, 5kg)	0,3-1,6 g/10'
Stabilità termica	> 20 min
Durezza Shore D	61
Punto di rammollimento Vicat	127 °C

Gli eventi atmosferici, in particolare i raggi UV a onde corte della luce solare, con intervento dell'ossigeno atmosferico, possono intaccare, in seguito ad una prolungata permanenza all'aperto, i tubi in polietilene, come avviene per la maggior parte delle sostanze naturali e delle materie plastiche. I tubi in polietilene, per questo, vengono prodotti con l'aggiunta di nerofumo e stabilizzanti che proteggono il materiale polietilene durante la lavorazione e rallentano l'invecchiamento del corrispondente manufatto proteggendolo essenzialmente dagli attacchi foto-termo-ossidegradativi.

Il polietilene, pur essendo infiammabile, non produce gas corrosivi o residui, ma solo CO_2, CO e acqua.

Questo materiale presenta inoltre una elevata resistenza all'abrasione, quindi è adatto a lavori che necessitano il convogliamento di materiali abrasivi come fanghi o la dragatura di sabbia e ghiaia, vengono riportati in tabella 12.2 i tempi di resistenza all'abrasione risultanti da prove effettuate secondo il metodo dell'Università di Darmstadt per diversi materiali utilizzati normalmente nel settore.

Tabella 12.2

Cemento	*Acciaio*	*Gres*	*PVC*	*PE*
20 h	24 h	60 h	50 h	100 h

Il polietilene ha un elevato coefficiente di dilatazione lineare ($2.10^{-4}C^{-1}$) e quindi si deve tenere conto di questo nel caso si installino tubazioni non interrate; le tubazioni in polietilene corrugate per fognatura riescono a ridurre, grazie alla corrugazione, del 50% la dilatazione lineare.

La temperatura di infragilimento del polietilene risulta intorno ai –118°C e pertanto l'utilizzo a basse temperature non costituisce particolare problema per i manufatti in polietilene.

12.1.2 Campi di applicazione

- Adduzione di acqua potabile in pressione;
- Fognature e scarichi non in pressione (mediante tubazioni lisce e corrugate);
- Drenaggio e captazione biogas mediante tubi corrugati a parete strutturata;
- Cavidotti realizzati mediante tubi corrugati a parete strutturata;
- Sistemi di fognatura in forte pendenza mediante tubi corrugati. Tali tubazioni hanno macroscabrezza artificiali, ottenute per ondulazione della parete interna, atte a produrre perdita di energia del fluido. Questo applicazione permette l'eliminazione o la riduzione dei pozzetti di salto.
- Guaine protettive di tubi gas realizzate mediante tubi corrugati autoestinguenti a singola parete.

12.1.3 Posa in opera

Il letto di scavo per le tubazioni deve essere sempre costituito da materiale di granulometria abbastanza fine, in modo che non ci siano spigoli vivi a contatto con il manufatto in polietilene. Si consiglia inoltre di eseguire uno scavo di larghezza circa 1,5 volte il diametro della tubazione. I tubi corrugati, per la loro elevata resistenza circonfererenziale, possono essere utilizzati anche per grandi profondità di posa e anche su terreni in cui il carico mobile sia elevato. Il riempimento dello scavo deve avvenire per strati di circa 30 cm e deve arrivare ad un indice Proctor del 90-95%. Fino a 30 cm al di sopra del tubo è buona norma utilizzare materiale fine.

I tubi vengono generalmente giuntati secondo questi tre procedimenti:

- giunzione a bicchiere (con una guarnizione);
- giunzione a manicotto (con due guarnizioni);
- mediante saldatura testa a testa realizzate mediante fusione controllata e normalizzata mediante fusione controllata e normalizzata.

Sono inoltre disponibili guarnizioni per innesto di tubi e/o raccordi, il cui utilizzo garantisce un rapido e sicuro intervento in cantiere, anche successivamente alla posa della condotta principale.

12.2 Il polipropilene

12.2.1 Il materiale e le sue caratteristiche

Il polipropilene isotattico viene scoperto nel 1954 da Giulio Natta, Nobel per la chimica nel 1963. È un polimero vinilico, simile al polietilene solo che ha un gruppo metilico per ogni unità vinilica della catena principale. Il polipropilene si ottiene dalla polimerizzazione del propilene, utilizzando catalizzatori tipo di Ziegler-Natta e più recentemente catalizzatori metalloceni; viene utilizzato per componenti per auto, tubazioni, arredamento, casalinghi, film per imballaggi e tubi termoidraulici per impianti di riscaldamento. Il polipropilene è un polimero molto versatile. Ha la temperatura di fusione intorno ai 160°C.

Il polipropilene può avere diversi gradi di tattilità; la maggior parte del polipropilene usato è isotattico e questo significa che i gruppi metilici hanno la stessa configurazione, (si trovano sullo stesso lato) alla catena polimerica spaziale rispetto il polipropilene atattico invece presenta i gruppo metilici sistemati come disposizione spaziale a caso lungo la catena principale.

Utilizzando particolari catalizzatori metalloceni si possono ottenere tutta una serie di copolimeri a blocchi che contengono blocchi di polipropilene isotattico e blocchi di polipropilene-comonomero atattici nella stessa catena polimerica. Grazie a questa disposizione a blocchi nella catena, con presenza anche di comonomeri si ottengono una gamma estesa di prodotti con diverse caratteristiche fisico-meccaniche.

Il polipropilene puro ha grado di cristallinità tra il 60 % e il 70% e densità di 0,90-0,91 g/cm^3; presenta maggiore rigidità, durezza e resistenza meccanica rispetto al polietilene, ma una minor resistenza all'urto. Le sue caratteristiche dielettriche sono buone e indipendenti dalla frequenza e possiede una buona carica elettrostatica.

Il PP puro tende ad ossidarsi e quindi necessita come il polietilene di una stabilizzazione specifica per proteggerlo durante la lavorazione e durante la vita in opera dei manufatti.

È resistente ai sali inorganici, acidi deboli inorganici e soluzioni alcaline, alcool ed alcuni oli. Non resiste ai forti agenti ossidanti e agli idrocarburi alogenati; rigonfia se posto a contatto con idrocarburi alifatici e aromatici (benzina e benzolo) soprattutto alla alte temperature.

Le tubazioni realizzate con polipropilene e utilizzate per l'adduzione di acqua calda consentono un risparmio di energia che va da 10% al 20%, rispetto alle corrispondenti tubazioni metalliche grazie alle minori dispersioni termiche.

I tubi e i raccordi in polipropilene sono realizzati in formulazione autoestinguente ottenuta additivando al polipropilene particolari sostanze che lo adeguano come comportamento alle norme antincendio vigenti.

La durata della tubazioni in polipropilene è in funzione delle sollecitazioni meccaniche e termiche; negli impianti di scarico, queste sollecitazioni sono minime e la durata in condizioni normali è praticamente illimitata.

Le tubazioni in polipropilene non devono essere installate o immagazzinate dove possono subire l'azione diretta dei raggi ultravioletti; Questi raggi, infatti, generano nel materiale un qualche effetto di invecchiamento, che può causare una qualche perdita delle caratteristiche chimiche e fisiche inizialmente possedute.

I tubi e i raccordi in polipropilene sono di colore grigio e stabilizzati alla luce.

Tabella 12.4 - *Caratteristiche meccaniche, chimiche e fisiche del polipropilene.*

Caratteristica	*Valore*
Densità a 23°C	0,91 g/cm^3
Modulo elastico a flessione	1300 MPa
Carico di snervamento	33 MPa
Allungamento allo snervamento	10%
Resilienza IZOD C.I. 23°C	100 J/m
Durezza Rockwell	85
Intervallo di fusione del cristallo	160-165 °C
Punto di rammollimento Vicat 49 N	90°C
Conducibilità termica	0,25 W/mK
Coefficiente di dilatazione termica lineare	10^{-4} K^{-1}
Valore di autoestinguenza	≤ 12 s

12.2.2 Campi di applicazione

- Scarichi domestici;
- Tubi e raccordi per convogliamento di acqua potabile e liquidi alimentari;
- Tubazioni per impianti di riscaldamento;
- Tubi e raccordi per distribuzione di acqua calda e fredda in impianti idrosanitari e di condizionamento;
- Tubi e raccordi per impianti industriali;
- Tubi e raccordi per trasporto di aria compressa e sostanze chimiche.

12.2.3 Manipolazione dei tubi

È indispensabile evitare che i fasci di tubo o le singole barre subiscano, durante gli spostamenti, l'immagazzinaggio e l'utilizzo in cantiere, eccessive sollecitazioni esterne, come scuotimenti, urti, martellate ed azioni simili.

Questo comportamento, valido in ogni situazione, è tanto più necessario quanto minore è la temperatura ambiente; la bassa temperatura contribuisce infatti ad irrigidire il materiale, diminuendone perciò il comportamento elastico in risposta a sollecitazioni esterne.

L'eventuale contatto con corpi a spigolo vivo (scaglie di mattoni ad esempio) provoca, sulla superficie esterna dei tubi degli intagli che possono in seguito essere il punto di innesco di rotture. È quindi necessario impedire che ciò possa avvenire, sia in fase di immagazzinaggio che di installazione, evitando comunque di utilizzare tubi che presentino scalfitture o incisioni. Per quanto riguarda la posa in opera, qualora si vogliano eseguire delle curve con raggi di curvatura molto ampi si può procedere a freddo; per raggi prossimi, ma non inferiori a 8 volte la misura del diame-

tro del tubo in lavorazione, è opportuno riscaldare il tubo con acqua calda evitando l'uso della fiamma.

Il taglio dei tubi deve avvenire con strumenti appositi che evitano la presenza di bave e permettano l'esecuzione di un taglio perpendicolare al tubo.

Le parti da saldare devono sempre essere ben pulite e il termostato del polifusore deve indicare che lo stesso è in temperatura. Sia durante che dopo la saldatura si deve evitare di sottoporre a torsione le parti giuntate.

Appendice 13
Norme correlate ai materiali alternativi

13.1 Sistemi di tubazioni per l'adduzione d'acqua (Polietilene PE): Norma UNI EN 12201

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

13.1.1 Premessa

La norma Italiana UNI EN 12201 è la traduzione in italiano della norma Europea EN 12201. La norma UNI EN 12201 è stata emessa dall'UNI (Ente Nazionale di Unificazione) come recepimento in Italia della norma EN 12201.

- Parte 1: Generalità – Marzo 2003
- Parte 2: Tubi – Marzo 2003
- Parte 3: Raccordi – Marzo 2003
- Parte 4: valvole ed attrezzature ausiliarie – Giugno 2001
- Parte 5: Idoneità all'impiego del sistema – Marzo 2003
- Parte 6: Guida per l'istallazione (sperimentale) – _____
- Parte 7: Guida per la valutazione della conformità (sperimentale) – Giugno 2002

Scopo e campo di applicazione:

La norma specifica gli aspetti generali dei sistemi di tubazioni di polietilene (PE) nel campo dell'adduzione dell'acqua potabile o da potabilizzare ed utilizzabili per gli impieghi seguenti:

- condotte a pressione operativa massima di 25 bar;
- trasporto di acqua a temperatura da 20°C a 40 °C;
- sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) destinata al consumo umano e per usi generali.

Riferimenti legislativi:

Decreto n.174 del 6 aprile 2004 del ministero della Salute: Regolamento concernente i materiali e gli oggetti che possono essere utilizzati negli impianti fissi di captazione, trattamento, adduzione e distribuzione delle acque destinate al consumo umano

Decreto Ministeriale del 21.03.73 e successivi aggiornamenti: manufatti plastici destinati a venire in contatto con le sostanze alimentari o d'uso personale (trasporto di fluidi alimentari quali ad esempio latte, vino, succhi di frutta ecc.); tubazioni stabilizzate al calcio/zinco (Ca Zn).

Altri riferimenti:

UNI EN 1622: Determinazione della soglia di odore e sapore (proprietà organolettiche).

13.1.2 La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi, raccordi e valvole) deve essere una composizione (compound) di polietilene (PE) cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione; tutti gli additivi dovranno essere dispersi in modo omogeneo.

Non è ammesso l'uso di materiale rilavorabile proprio del fabbricante prodotto durante la produzione o proveniente da campioni utilizzati per le prove di laboratorio, ma proveniente da origini diverse.

Il materiale deve essere valutato secondo la norma ISO/TR 9080 al fine di determinare la resistenza alla pressione a lungo termine (M.R.S.); tale prova (che è in realtà una serie di prove di resistenza alla pressione interna effettuate a diversi valori di temperatura, sollecitazione e durata) intende verificare la capacità della materia prima (compound) di produrre tubazioni con una vita utile in esercizio di almeno cinquanta anni alla temperatura di 20°C.

N.B. Le presenti tubazioni hanno anche caratteristiche conformi a quelle prescritte dalla norma UNI 10953 – sistemi di tubazioni per la conduzione di fluidi industriali (ad es. condotte antincendio). Si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento per la resistenza chimica dei manufatti (vedere ad esmpio UNI ISO TR 7474)

La gamma dimensionale (UNI EN 12201-2/EN 12201-2):

La norma prevede tubazioni con giunzione a bicchiere, a serraggio meccanico, per saldatura testa/testa o ad elettrofusione e giunzioni frangiate..

Le classi dimensionali delle tubazioni sono (vedere anche premessa nazionale nella parte 2 della UNI EN 12201):

- SDR 7,4 dal DN 20 al DN 450
- SDR 11 dal DN 20 al DN 630
- SDR 17 dal DN 50 al DN 1000
- SDR 26 dal DN 160 al DN 1600

Accorpabili nei seguenti gruppi di diametri:

- gruppo 1 dal DN 20 mm al DN 75
- gruppo 2 dal DN 90 mm al DN 250
- gruppo 3 dal DN 315 mm al DN 710
- gruppo 4 ≥ DN 710 mm

ai fini del campionamento per la verifica della conformità ai requisiti di norma (pr CEN/TS parte 7).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su un lotto di componenti che devono essere completate in modo soddisfacente prima che il lotto sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma pag 21/2.

NP = Non previsto

Caratteristiche del materiale (UNI EN 12201-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Prova	Metodo di prova	TT	AT	PVT	BRT
Densità	ISO 1133	NP	X	NP	X
Contenuto di nerofumo	ISO 6964	NP	X	NP	X
Dispersione del pigmento	ISO 18553	NP	X	NP	X
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	NP	X
Contenuto di volatili	EN 12099	NP	X	NP	X
Umidità	EN 12118	NP	X	NP	X
Indice di fluidità	EN ISO 1133	NP	X	NP	X
M.R.S.	ISO TR 9080	X	X	X	NP
Propagazione lenta della frattura	EN ISO 13479	X	X	X	NP
Propagazione rapida della frattura	ISO 13477	X	X	X	NP
Compatibilità alla fusione	ISO 13953	NP	X	NP	NP
Resistenza all'invecchiamento	EN 1056	NP	X	NP	NP

Caratteristiche dei tubi (UNI EN 12201-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Aspetto	UNI EN 12201	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 12201	X	X	NP	X
Dimensioni	EN ISO 3126	X	X	NP	X
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	X	X	X	X
Allungamento % a rottura	EN ISO 6259		X	NP	X
Indice di fluidità	EN ISO 1133	X	X	NP	X
Resistenza alla pressione interna					
100h a 20°C (TT – AT)					
165h a 80°C (BRT -					
1000h a 80°C (TT – PVT – AT))	UNI EN 921	X	X	X	X
Marchiatura	EN 12201-2	NP	X	NP	X

Caratteristiche dei raccordi (UNI EN EN 12201- 3)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Aspetto	UNI EN 12201	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 12201	X	X	NP	X
Dimensioni	EN ISO 3126	X	X	NP	X
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	X
Resistenza all'urto	EN 1716	X	X	NP	NP
Tenuta dei giunti sotto curvatura	EN 12100	X	X	NP	NP
Resistenza allo sfilamento	EN 712	X	X	NP	NP
Resistenza elettrica	UNI EN 12201	NP	NP	NP	X
Resistenza della coesione	ISO 13953 - 13954 – 13955 - 13956	X	NP	NP	NP
Indice di fluidità	EN ISO 1133		X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna					
100h a 20°C (TT – AT)					
165h a 80°C (BRT – PVT)					
1000h a 80°C (TT – AT)	UNI EN 921	X	X	X	X
Marchiatura	UNI EN 12201-3	NP	X	NP	X

Caratteristiche delle valvole (UNI EN 12201- 4)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Aspetto	UNI EN 12201	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 12201	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 12201	X	X	NP	X
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	NP	NP
Forza di manovra	EN 28233	X	X	NP	X
Resistenza alla chiusura	EN 28233	X	X	X	NP
Tenuta dei giunti sotto curvatura	EN 12100	X	X	X	NP
Resistenza del meccanismo di attuazione	EN 28233	NP	X	NP	X
Tenuta sotto curvatura del meccanismo di chiusura	EN 1680	NP	X	NP	NP
Resistenza all'urto	EN 1705	X	NP	X	NP
Tenuta e facilità di manovra dopo la resistenza alla pressione interna sotto carico	EN 1680	X	X	X	NP
Indice di fluidità	EN ISO 1133	NP	X	NP	X
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	X
Resistenza alla pressione interna					
100h a 20°C (TT)					
165h a 80°C (BRT)					
1000h a 80°C (PVT - TT)	UNI EN 921	X	NP	X	X
Marchiatura	UNI EN 12201-3	NP	X	NP	NP

Idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 12201-5)

Prova	*Metodo di prova*
Prova a pressione	UNI EN 921
Resistenza della coesione	ISO 13953 - 13954 – 13955 - 13956
Tenuta alla pressione idrostatica	EN 715
Tenuta alla pressione idrostatica del giunto sotto curvatura	EN 713
Tenuta alla pressione esterna	EN 917
Resistenza a pressione esterna	EN 911
Resistenza allo sfilamento	EN 712
Tenuta alla pressione idrostatica	EN 715

La guida per l'installazione

La pubblicazione n.10 dell'Istituto italiano dei Plastici, unitamente al progetto di norma uniplast 973, fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi, raccordi, valvole ed attrezzature ausiliarie in polietilene (PE) quando utilizzati nei sistemi di tubazioni per l'adduzione d'acqua sotto pressione.

Le raccomandazioni intendono fornire una guida pratica per i migliori metodi di progettazione e di installazione di sistemi di tubazioni per l'adduzione dell'acqua ed utilizzabili per gli impieghi seguenti:

- condotte principali e diramazioni interrate;
- trasporto di acqua sopra terra sia all'esterno che all'interno dei fabbricati;

sotto pressione a circa 20°C (acqua fredda) destinata al consumo umano e per usi generali. Esistono fattori di derating anche per il PE che può essere utilizzato per convogliare fluidi fino a 40°C con pressioni di esercizio ammissibili calcolate con tali fattori di riduzione applicati alla PN.

Sono inoltre fornite raccomandazioni per la connessione ai raccordi, valvole ed attrezzature ausiliarie fatte con materiali diversi dal PE.

A titolo informativo, come utile strumento per la posa in opera delle condotte in PE, si può fare riferimento anche alla raccomandazione IIP n° 10 sulla installazione delle tubazioni in polietilene nella costruzione di acquedotti o, genericamente, per reti in pressione.

13.2 Confronto delle caratteristiche previste per le tubazioni per fluidi in pressione nei diversi materiali

Il presente confronto tra le varie norme di riferimento intende fornire esclusivamente informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per lo stesso campo di applicazione; per informazioni di dettaglio sulle frequenze di prova per tipologia di materiale si rimanda comunque alla specifiche norme di riferimento in vigore.

13.2.1 Materia prima

Prova	*PVC-U UNI EN 1452*	*PE UNI EN 12201*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*
Materiale dell'anello di tenuta	EN 681	
Minimum Strenght Required (MRS)*	ISO/TR 9080	ISO/TR 9080
Massa volumica	ISO 1133	ISO 1133
Contenuto di cloruro di vinile monomero (VCM)	ISO 6401	
Effetto sulla qualità dell'acqua	Disposizioni di legge	Disposizioni di legge
Materiale adesivo	Disposizioni di legge e ISO 7387-1	
Contenuto di nerofumo		ISO 6964
Dispersione del pigmento		ISO 18553
Stabilità termica (O.I.T.)		UNI EN 728
Contenuto di volatili		UNI EN 12099
Umidità		UNI EN 12118
Indice di fluidità		EN ISO 1133
M.R.S.		ISO TR 9080
Propagazione lenta della frattura		UNI EN ISO 13479
Propagazione rapida della frattura		ISO 13477
Compatibilità alla fusione		ISO 13953
Resistenza all'invecchiamento		UNI EN 1056

* = Se esiste una lunga esperienza con il materiale/composizione (compound) tra l'organismo di certificazione e il fabbricante e/o sugli effetti di una proposta di variazione nel materiale/composizione non oltre i limiti previsti dalla parte 7 della norma al prospetto 7, non è necessario l'MRS; in questo caso vengono determinate cinque prove a 20°C e 60°C da 1000h a 5000h che devono collocarsi sulla o al di sopra della curva caratteristica a lungo termine del limite inferiore di confidenza stabilita prima della variazione del materiale/mescola.

13.2.2 Tubi, raccordi, valvole ed altri componenti

Prova	*PVC-U UNI EN 1452*	*PE EN UNI 12201*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*
Aspetto	UNI EN 1452-2	UNI EN 12201
Colore	UNI EN 1452-2	UNI EN 12201
Dimensioni	UNI EN 1452-2	UNI EN 12201 ed EN ISO 3126
Resistenza alla pressione interna	UNI EN 921	UNI EN 921
Resistenza a pressione per tubi con bicchiere intero		
Temperatura di rammollimento (Vicat)	UNI EN 727	
Ritiro longitudinale	UNI EN 743	
Effetti del calore	UNI EN 763	
Grado di gelificazione	UNI EN 580	
Resistenza all'urto	UNI EN 744	UNI EN 1716
Prova di schiacciamento	EN 802	
Stabilità termica (O.I.T.)		EN 728
Allungamento % a rottura		EN ISO 6259
Indice di fluidità		EN ISO 1133
Tenuta dei giunti sotto curvatura		EN 12100
Resistenza allo sfilamento		EN 712
Resistenza elettrica		UNI EN 12201
Resistenza della coesione		ISO 13953 - 13954 - 13955 - 13956
Forza di manovra		EN 28233
Resistenza alla chiusura		EN 28233
Tenuta dei giunti sotto curvatura		EN 12100
Resistenza del meccanismo di attuazione	EN 28233	
Tenuta sotto curvatura del meccanismo di chiusura	EN 1680	
Tenuta e facilità di manovra dopo la resistenza alla pressione interna sotto carico	EN 1680	
Marcatura	UNI EN 1452-2	UNI EN 12201

13.2.3 Idoneità del sistema

Prova	*PVC-U UNI EN 1452*	*PE UNI EN 12201*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*
Tenuta dei manicotti a doppio bicchiere con trasmissione di carico a 20°C	EN ISO 13783	
Proprietà funzionali delle valvole	EN 28233	
Prove di tenuta a breve termine degli assemblaggi	EN 917 metodo BX	
Prova di tenuta a lungo termine degli assemblaggi	EN 28659	
Prova a pressione a breve termine per la tenuta degli assiemi	EN ISO 13845	
Prova a breve termine con pressione negativa per la tenuta degli assiemi	EN ISO 13844	
Tenuta alla pressione idrostatica a lungo termine	EN 1336	
Prova a pressione		UNI EN 921
Resistenza della coesione		ISO 13953 - 13954 – 13955 - 13956
Tenuta alla pressione idrostatica		EN 715
Tenuta alla pressione idrostatica del giunto sotto curvatura		EN 713
Tenuta alla pressione esterna		EN 917
Resistenza a pressione esterna		EN 911
Resistenza allo sfilamento		EN 712
Tenuta alla pressione idrostatica		EN 715

13.3 Norma UNI EN 1451 - Tubi in Polipropilene (PP)

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Specificazioni per i tubi, i raccordi ed il sistema – Marzo 2001
- Parte 2: Guida per la valutazione della conformità (sperimentale) – Novembre 2002
- Parte 3: Guida per l'istallazione (sperimentale)

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica i requisiti per i tubi, i raccordi ed il sistema di tubazioni di polipropilene (PP) nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici o all'esterno fissati al muro (codice dell'area di applicazione "B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD".

La presente norma si applica ai tubi ed ai raccordi di PP, alle giunzioni ed alle giunzioni con componenti di altri materiali plastici destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

13.3.1 La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi e raccordi) deve essere costituita da materiale di base polipropilene (omopolimero o copolimero) cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Il materiale deve essere valutato secondo la norma EN 921 al fine di determinare la resistenza alla pressione a lungo termine per 140h e 1000h.

La gamma dimensionale (UNI ENV 1451-2):

La norma prevede tubazioni ad estremità liscia, a giunzione elastomerica (con guarnizioni conformi alla norma EN 681), per giunti per fusione testa-testa, per giunti ad elettrofusione e per giunti meccanici.

Le classi dimensionali delle tubazioni sono accorpabili nei seguenti:

- serie di spessori di parete
  S 20 dal DN 32 al DN 200
  S 16 dal DN 32 al DN 315
  S 14 dal DN 32 al DN 160
- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 32 al DN 63
  gruppo 2 dal DN 75 al DN 180
  gruppo 3 dal DN 200 al DN 315
- gruppi di figure (raccordi)
  gruppo 1: curve
  gruppo 2: derivazioni
  gruppo 3: altri tipi di raccordi

ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (ENV parte 2).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP= Non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale (UNI EN 1451-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	X	X	X	NP
Resistenza alla pressione interna a 140h e 1000h	EN 921	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1451-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1451-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1451-1 ed EN 496	X	X	NP	X
Resistenza all'urto	EN 744	X	X	X	X
Rigidità anulare	EN ISO 9969	NP	X	X	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	X	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1451-1	X	X	NP	X

Nota: Per il codice di area di applicazione BD, il tubo deve avere una rigidità nominale di SN 4.

Caratteristiche dei raccordi e del materiale (UNI EN 1451-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	X	X	X	NP
Resistenza alla pressione interna a 140h e 1000h	EN 921	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1451-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1451-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1451-1 ed EN 496	X	X	NP	X
Effetto del calore	EN 763	NP	X	NP	NP
Tenuta all'acqua	EN 1053	NP	X	NP	NP
Marcatura	UNI EN 1451-1	NP	X	NP	X

Nota: Per il codice di area di applicazione BD, il raccordo deve avere una rigidità nominale di SN 4.

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 1451-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Tenuta all'acqua	EN 1053	X	X	NP	NP
Tenuta all'aria	EN 1054	X	X	NP	NP
Tenuta dei giunti di giunzioni elastomeriche	EN 1277	X	X	X	NP
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	X	NP
Tenuta a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	X	NP

La guida per l'installazione (prENV 1451-3)

Il progetto di norma prENV 1451 parte 3 (sperimentale) unitamente alla norma UNI ENV 13801 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi e raccordi in polietilene nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici o all'esterno fissati al muro (codice dell'area di applicazione "B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD") e destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

13.4 Sistemi di tubazioni per condotte di scarico all'interno dei fabbricati - Polietilene PE

Norma UNI EN 1519

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un estratto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Specificazioni per i tubi, i raccordi ed il sistema – Marzo 2001
- Parte 2: Guida per la valutazione della conformità (sperimentale) – Novembre 2002
- Parte 3: Guida per l'istallazione (sperimentale)

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica i requisiti per i tubi, i raccordi ed il sistema di tubazioni di polietilene (PE) nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici o all'esterno fissati al muro (codice dell'area di applicazione "B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD".

La presente norma si applica ai tubi ed ai raccordi di PE, alle giunzioni ed alle giunzioni con componenti di altri materiali plastici destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

13.4.1 La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi e raccordi) deve essere costituita da materiale di base polietilene cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Il materiale deve essere valutato secondo la norma EN 921 al fine di determinare la resistenza alla pressione a lungo termine per 165h.

La gamma dimensionale definita per il campionamento (UNI ENV 1519-2):

La norma prevede tubazioni ad estremità liscia, a giunzione elastomerica (con guarnizioni conformi alla norma EN 681), per giunti per fusione testa-testa, per giunti ad elettrofusione e per giunti meccanici dal DN 32 al DN 315.

Le classi dimensionali delle tubazioni sono accorpabili nei seguenti:

- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 32 al DN 63
  gruppo 2 dal DN 75 al DN 180
  gruppo 3 dal DN 200 al DN 315
- gruppi di figure (raccordi)
  gruppo 1: curve
  gruppo 2: derivazioni
  gruppo 3: altri tipi di raccordi

ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (ENV parte 2).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

Caratteristiche dei tubi e del materiale (UNI EN 1519-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	X	X	X	NP
Resistenza alla pressione interna a 165h	EN 921	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1519-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1519-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1519-1 ed EN 496	X	X	NP	X
Rigidità anulare	EN ISO 9969	NP	X	X	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	X	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1519-1	X	X	NP	X

Nota: Per il codice di area di applicazione BD, il tubo deve avere una rigidità nominale di SN 4.

Caratteristiche dei raccordi e del materiale (UNI EN 1519-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	X	X	X	NP
Resistenza alla pressione interna a 165h	EN 921	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1519-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1519-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1519-1 ed EN 496	X	X	NP	X
Effetto del calore	EN 763	NP	X	NP	NP
Tenuta all'acqua	EN 1053	NP	X	NP	NP
Marcatura	UNI EN 1519-1	X	X	NP	X

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 1519-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Tenuta all'acqua	EN 1053	X	X	NP	NP
Tenuta all'aria	EN 1054	X	X	NP	NP
Tenuta dei giunti di giunzioni elastomeriche	EN 1277	X	X	X	NP
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	X	NP
Tenuta a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	X	NP

La guida per l'installazione (prENV 1519-3)

Il progetto di norma prENV 1519 parte 3 (sperimentale) unitamente alla norma ENV 13801 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi e raccordi in polietilene nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici o all'esterno fissati al muro (codice dell'area di applicazione "B") che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "BD") e destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

A titolo informativo, come utile strumento per la posa in opera delle condotte in PE, si può fare riferimento anche alla raccomandazione IIP n° 12 sulla installazione di tubazioni di PE per condotte di scarico nei fabbricati civili ed industriali.

13.5 Confronto delle caratteristiche previste per le tubazioni per condotte di scarico all'interno dei fabbricati

Il presente confronto tra le varie norme di riferimento intende fornire esclusivamente informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per lo stesso campo di applicazione; per informazioni di dettaglio sulle frequenze di prova per tipologia di materiale si rimanda comunque alla specifiche norme di riferimento in vigore.

13.5.1 Materia prima

Prova	*PVC UNI EN 1329*	*PVC UNI 1453*	*PE UNI EN 1519*	*PP UNI EN 1451*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Contenuto di PVC	EN 1905	EN 1905	NP	NP
Indice di fluidità	NP	NP	ISO 1133	ISO 1133
Stabilità termica (O.I.T.)	NP	NP	EN 728	EN 728
Resistenza alla pressione interna	EN 921 (1000h a 60°C)	EN 921 (1000h a 60°C)	EN 921 (165h-80°C)	EN 921 (140h-80°C e 1000h-95°C)

13.5.2 Tubi e raccordi

Prova	*PVC UNI EN 1329*	*PVC UNI EN 1453*	*PE EN 1519*	*PP UNI EN 1451*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Resistenza alla pressione interna	EN 921 (1000h a 60°C)		EN 921 (165h-80°C)	EN 921 (140h-80°C e 1000h-95°C)
Aspetto	UNI EN 1329-1	UNI 1453	UNI EN 1519-1	UNI EN 1451-1
Colore	UNI EN 1329-1	UNI 1453	UNI EN 1519-1	UNI EN 1451-1
Dimensioni	UNI EN 1329-1 ed EN 496	UNI 1453 ed EN ISO 3126	UNI EN 1519-1 ed EN 496	UNI EN 1451-1 ed EN 496
Indice di fluidità	NP	NP	ISO 1133	ISO 1133
Prova	PVC UNI EN 1329	PVC UNI 1453	PE EN 1519	PP UNI EN 1451
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Resistenza all'urto	EN 744 (a 0°C)	EN 744 (a 0°C)	NP	EN 744 (a 0°C per PP-C e 23°C per PP-H)
Prova di caduta	EN 12061 (a 0°C)	EN 12061 (a 0°C)	NP	NP
Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	EN 727	NP	NP
Rigidità anulare	NP		EN ISO 9969	EN ISO 9969
Ritiro longitudinale	EN 743	EN 743	EN 743	EN 743
Effetto del calore	EN 763	EN 763	EN 763	EN 763
Grado di gelificazione	EN 580	EN 580	NP	NP
Tenuta all'acqua	EN 1053	EN 1053	EN 1053	EN 1053
Marcatura	UNI EN 1329-1	UNI EN 1329-1 e UNI 1453	UNI EN 1519-1	UNI EN 1519-1

13.5.3 Idoneità del sistema

Prova	*PVC UNI EN 1329*	*PVC UNI EN 1453*	*PE UNI EN 1519*	*PP UNI EN 1451*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Tenuta all'acqua	EN 1053	EN 1053	EN 1053	EN 1053
Tenuta all'aria	EN 1054	EN 1054	EN 1054	EN 1054
Tenuta dei giunti di giunzioni elastomeriche	EN 1277	EN 1277	EN 1277	EN 1277
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	EN 1055	EN 1055	EN 1055
Tenuta a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	EN 1989	EN 1989	EN 1989

13.6 Norma UNI EN 1852 - Tubi in Polipropilene (PP)

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Generalità
- Parte 2: Tubi
- Parte 3: Raccordi
- Parte 4: valvole ed attrezzature ausiliarie
- Parte 5: Idoneità all'impiego del sistema
- Parte 6: Guida per l'istallazione (sperimentale)
- Parte 7: Guida per la valutazione della conformità (sperimentale)

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica i requisiti per i tubi, i raccordi ed il sistema di tubazioni di polipropilene nel campo degli scarichi interrati e delle fognature non in pressione nelle seguenti applicazioni:

- all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- sia interrati entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "D") che all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- per le tubazioni idonee per entrambe le applicazioni viene assunto il codice "UD".

13.6.1 La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi e raccordi) deve essere una composizione di:

- polipropilene omopolimero (PP-H)
- polipropilene a blocchi (PP-B)
- polipropilene copolimero random (PP-R)

cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Il materiale deve essere valutato secondo la norma UNI EN 921 al fine di determinare la resistenza alla pressione a lungo termine per 140h e 1000h.

La gamma dimensionale (UNI ENV 1852-2):

La norma prevede tubazioni a giunzione elastomerica, con guarnizioni conformi alla norma EN 681 e a giunzione con anello di ritenuta.

- S 16 dal DN 110 al DN 2000
- S 14 dal DN 110 al DN 2000
- S 11,2 dal DN 110 al DN 1600

Accorpabili nei seguenti:
- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 110 mm al DN 200
  gruppo 2 dal DN 250 mm al DN 500
  gruppo 3 dal DN 710 mm al DN 2000
- gruppi di figure (raccordi)
  gruppo 1: curve
  gruppo 2: derivazioni
  gruppo 3: altri tipi di raccordi

ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (ENV parte 2).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP = non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale (UNI EN 1852-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Resistenza alla pressione interna a 140h e 1000h	EN 921	X	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1852-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1852-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1852-1 ed EN 496	X	X	NP	X
Resistenza all'urto a 0°C	EN 744	X	X	NP	X
Rigidità anulare	EN 29696	X	X	X	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	X	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1852-1	X	X	NP	X

Caratteristiche dei raccordi e del materiale (UNI EN 1852-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Resistenza alla pressione interna a 140h e 1000h	EN 921	X	X	X	NP
Aspetto	UNI EN 1852-1	X	X	NP	X
Colore	UNI EN 1852-1	X	X	NP	X
Dimensioni	UNI EN 1852-1 ed EN 496	X	X	NP	X
Resistenza meccanica o felessibilità	EN 12256	NP	X	X	NP
Prova di caduta a 0°C	EN 12061	X	X	X	NP
Effetto del calore	EN 763	X	X	NP	X
Tenuta all'acqua	EN 1053	NP	X	NP	X
Marcatura	UNI EN 1852-1	NP	X	NP	NP

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema (UNI EN 1852-1- e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*TT*	*AT*	*PVT*	*BRT*
Tenuta dei giunti con guarnizione elastomerica	EN 1277	X	X	X	NP
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	X	NP
Prestazioni a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	X	NP

La guida per l'installazione (ENV 1852-3)

La norma ENV 1852 parte 3 (sperimentale) unitamente alle norme prENV 1046:2000 e prENV 1610:1997 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi e raccordi in polipropilene quando utilizzati nei sistemi di tubazioni per scarichi interrati e fognature non in pressione nelle seguenti applicazioni:

- all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- sia interrati entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "D") che all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- per le tubazioni idonee per entrambe le applicazioni viene assunto il codice "UD".

13.7 Sistemi di tubazioni a parete strutturata per fognatura e scarichi interrati non in pressione: Tubazioni in PVC-U – PP – PE – Progetto di Norma prEN 13476 (UNI 10968)

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Specificazioni per i tubi, i raccordi ed il sistema – Settembre 2002
- Parte 2: Guida per la valutazione della conformità (standard tecnico) – Settembre 2002
- Parte 3: Guida per l'istallazione (standard tecnico) – Settembre 2002

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica i requisiti per i tubi, i raccordi ed il sistema di tubazioni di poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polietilene (PE) e polipropilene (PP) a parete strutturata nel campo degli scarichi interrati e delle fognature non in pressione nelle seguenti applicazioni:

- all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- sia interrati entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "D") che all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- per le tubazioni idonee per entrambe le applicazioni viene assunto il codice "UD".

13.7.1 La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi e raccordi) deve essere una composizione (compound) di:

- poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U);
- polietilene (PP);
- polipropilene (PP),
- cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Il materiale deve essere valutato secondo la norma UNI EN 921 al fine di determinare la resistenza alla pressione a lungo termine per:

- 1000h a 60°C (PVC-U);
- 140h a 80°C e 1000h a 95°C (PP);
- 165h e 1000h a 80°C (PE).

La gamma dimensionale (prEN 13476-1):

La norma prevede tubazioni a giunzione elastomerica, con guarnizioni conformi alla norma EN 681, a giunzione ad incollaggio, con giunzioni fuse o saldate, accorpabili nei seguenti:

- gruppi di diametri ai fini del campionamento:
  gruppo 1 DN/OD dal DN 110 mm al DN 200; DN /ID dal DN 100 al DN 180;
  gruppo 2 DN/OD > DN 200 mm al DN 500; DN /ID > DN 180 al DN 560;
  gruppo 3 DN/OD > DN 500 mm al DN 1200; DN /ID > DN 560 al DN 1200
- gruppi di figure (raccordi) ai fini del campionamento:
  gruppo 1: curve
  gruppo 2: derivazioni
  gruppo 3: altri tipi di raccordi
- gruppi di diametri DN commerciali:

- SN 2 dal DN 500 al DN 1200
- SN 4 dal DN 110 al DN 1200
- SN 8 dal DN 110 al DN1200
- SN 16 dal DN 110 al DN 1200

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma.

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP = Non previsto

Caratteristiche del materiale (prEN 13476-1 e UNI 10968)

Prova	*Metodo di prova*	*PVC*	*PP*	*PE*
Resistenza alla pressione interna a 1000h (PVC-U, PP, PE)	EN 921	X	X	X
Contenuto di PVC	EN 1905	X	X	X
Indice di fluidità	ISO 1133	NP	X	X
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X
Massa volumica	ISO 1183	NP	NP	X

* = Secondo appendice del prEN 13476-1

Caratteristiche dei tubi (prCEN/TS 13476-2 (UNI 10968))

Prova	*Metodo di prova*	*Materiale*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	PP-PE	NP	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna	EN 921	Tutti	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	PP-PE	X	X	NP	NP
Massa volumica	ISO 1183	Tutti	X	X	NP	NP
Aspetto	PrEN 13476-1 e UNI 10968	Tutti	X	X	NP	X
Colore	PrEN 13476-1 e UNI 10968	Tutti	X	X	NP	X
Dimensioni	EN ISO 3126	Tutti	X	X	NP	X
Grado Vicat	EN 727	PVC	X	X	NP	NP
Grado di gelificazione	EN 580	PVC	X	X	NP	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	Tutti	X	X	NP	X
Comportamento a caldo	ISO 12091	Tutti	X	X	NP	X
Resistenza all'urto	EN 744	Tutti	X	X	NP	X
Flessibilità anulare	EN 1446	Tutti	X	X	NP	X
Rigidità anulare	EN ISO 9969	Tutti	X	X	NP	X
Rapporto di deformazione plastica	EN ISO 9967	Tutti	X	X	NP	NP
Resistenza a trazione della linea di giunzione	EN 1979	Tutti	X	X	NP	X
Marchiatura	PrEN 13476 e UNI 10968	Tutti	X	X	NP	X

Caratteristiche dei raccordi [prEN 13476-2 (UNI 10968)]

Prova	*Metodo di prova*	*Materiale*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	PP-PE	NP	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna	EN 921	Tutti	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	PP-PE	X	X	NP	NP
Massa volumica	ISO 1183	Tutti	X	X	NP	NP
Aspetto	PrEN 13476-1 e UNI 10968	Tutti	X	X	NP	X
Colore	PrEN 13476-1 e UNI 10968	Tutti	X	X	NP	X
Dimensioni	EN ISO 3126	Tutti	X	X	NP	X
Grado Vicat	EN 727	PVC	X	X	NP	NP
Comportamento a caldo	EN 763	Tutti	X	X	X	X

Prova	*Metodo di prova*	*Materiale*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Resistenza all'urto	EN 12061	Tutti	X	X	NP	NP
Flessibilità o resistenza meccanica	EN 12256	Tutti	X	X	X	NP
Rigidità anulare	ISO 13967	Tutti	X	X	NP	NP
Tenuta all'acqua	EN 1053	Tutti	NP	NP	NP	X
Marchiatura	PrEN 13476 e UNI 10968	Tutti	X	X	NP	NP

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema [prEN 13476 (UNI 10968)-1- e 2]

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Tenuta dei giunti con guarnizione elastomerica	EN 1277	X	X	X	NP
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	X	NP
Resistenza ai cicli ad elevata temperatura combinati con carico esterno	EN 1437	X	X	NP	NP
Prestazioni a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	X	NP
Resistenza a trazione per i giunti saldati	EN 1979	X	X	X	NP

La guida per l'installazione (ENV 13476 (UNI 10968)-3)

La norma prCEN/TS 13476 parte 3 unitamente alle norme prENV 1046:2000 e prENV 1610:1997 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubazioni a parete strutturata in poli cloruro di vinile non plastificato (PVC-U), polietilene (PE) e polipropilene (PP) a parete strutturata nel campo degli scarichi interrati e delle fognature non in pressione nelle seguenti applicazioni:

- all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- sia interrati entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "D") che all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- per le tubazioni idonee per entrambe le applicazioni viene assunto il codice "UD".

13.7 Sistemi di tubazioni per condotte di scarico interrate non in pressione: progetto di Norma prEN 12666 - Tubi in Polipropilene (PP)

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettaglio si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

- Parte 1: Specificazioni per i tubi, i raccordi ed il sistema
- Parte 2: Guida per la valutazione della conformità (sperimentale)
- Parte 3: Guida per l'istallazione (sperimentale)

Scopo e campo di applicazione:

la norma specifica i requisiti per i tubi, i raccordi ed il sistema di tubazioni di polietilene (PE) nel campo degli scarichi interrati e delle fognature non in pressione nelle seguenti applicazioni:

- all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- sia interrati entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "D") che all'esterno della struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U");
- per le tubazioni idonee per entrambe le applicazioni viene assunto il codice "UD".

13.7.1 La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni (tubi e raccordi) deve essere costituita da materiale di base polietilene cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

Il materiale deve essere valutato secondo la norma EN 921 al fine di determinare la resistenza alla pressione a lungo termine per 1h a 20°C e 165h e 1000h a 80°C.

La gamma dimensionale (prENV 12666-2):

La norma prevede tubazioni ad estremità liscia, a giunzione elastomerica (con guar-

nizioni conformi alla norma EN 681), per giunti per fusione testa-testa, per giunti ad elettrofusione e per giunti meccanici.

Le classi dimensionali delle tubazioni sono accorpabili nei seguenti:
serie di spessori di parete

- S 16 dal DN 250 al DN 1600
- S 12,5 dal DN 110 al DN 1600
- S 10 dal DN 110 al DN 1200

- gruppi di diametri
  gruppo 1 dal DN 110 al DN 200
  gruppo 2 dal DN 250 al DN 500
  gruppo 3 dal DN 630 al DN 1000
  gruppo 4 dal DN 1200 al DN 1600
- gruppi di figure (raccordi)
  gruppo 1: curve
  gruppo 2: derivazioni
  gruppo 3: altri tipi di raccordi

ai fini della verifica della conformità ai requisiti di norma (ENV parte 2).

Le prove:

TT (prove di tipo) = Prove effettuate per verificare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio siano adatti a soddisfare i requisiti forniti nella norma

AT (prove di verifica) = Prove effettuate dall'organismo di certificazione o per suo conto per confermare che il materiale, i componenti, il giunto o l'assemblaggio restino conformi ai requisiti forniti nella norma e per fornire informazioni necessarie a valutare l'efficacia del sistema qualità.

BRT (prove di rilascio del lotto) = Prove effettuate dal fabbricante su una partita di componenti che deve essere completata in modo soddisfacente prima che la partita sia messa in spedizione.

PVT (prove di verifica del processo) = Prove effettuate dal fabbricante sui materiali, componenti, giunti o assemblaggi a intervalli specificati per confermare che il processo continua ad essere in grado di produrre componenti conformi ai requisiti riportati nella norma.

NP = Non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale (prEN 12666-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	X	X	X	NP
Resistenza alla pressione interna a 1h – 165h e 1000h	EN 921	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	NP
Aspetto	prEN 12666-1	X	X	NP	X
Colore	prEN 12666-1	X	X	NP	X
Dimensioni	prEN 12666-1 ed EN ISO 3126	X	X	NP	X
Rigidità anulare	EN ISO 9969	X	X	X	NP
Ritiro longitudinale	EN 743	X	X	NP	X
Marcatura	prEN 12666-1	X	X	NP	X

Caratteristiche dei raccordi e del materiale (prEN 12666-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Indice di fluidità	ISO 1133	X	X	X	NP
Resistenza alla pressione interna a 1h – 165h e 1000h	EN 921	X	X	X	NP
Stabilità termica (O.I.T.)	EN 728	NP	X	X	NP
Aspetto	prEN 12666-1	X	X	NP	X
Colore	prEN 12666-1	X	X	NP	X
Dimensioni	prEN 12666-1 ed EN ISO 3126	X	X	NP	X
Effetto del calore	EN 763	X	X	X	NP
Flessibilità o resistenza meccanica	EN 12256	NP	X	X	NP
Tenuta all'acqua	EN 1053	NP	X	NP	NP
Marcatura	prEN 12666-1	X	X	NP	X

Caratteristiche di idoneità all'impiego del sistema (prEN 12666-1 e 2)

Prova	*Metodo di prova*	*AT*	*TT*	*PVT*	*BRT*
Tenuta dei giunti con guarnizione elastomerica	EN 1277	X	X	NP	NP
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	X	X	NP	NP
Prestazioni a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	X	X	NP	NP

La guida per l'installazione (prENV 12666-3)

Il progetto di norma prENV 12666 parte 3 (sperimentale) unitamente alle norme ENV 1046:2000 e UNI EN 1610:1997 fornisce pratiche raccomandazioni per l'installazione di tubi e raccordi in polietilene nel campo degli scarichi (alta e bassa temperatura) sia all'interno della struttura degli edifici o all'esterno fissati al muro (codice dell'area di applicazione "U) che nel sottosuolo entro la struttura dell'edificio (codice dell'area di applicazione "U") e destinati all'utilizzo per gli scopi seguenti:

- tubazioni di scarico per deflusso delle acque di scarico domestiche (a bassa ed alta temperatura);
- tubi di ventilazione collegati agli scarichi;
- scarichi di acque piovane all'interno della struttura dell'edificio.

A titolo informativo, come utile strumento per la posa in opera delle condotte in PE, si può fare riferimento anche alla raccomandazione IIP n° 11 sulla installazione di tubazioni di PE per condotte di scarico interrate, subacquee e industriali non in pressione (secondo UNI 7613).

13.8 Confronto delle caratteristiche previste per le tubazioni per scarichi interrati non in pressione

Il presente confronto tra le varie norme di riferimento intende fornire esclusivamente informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per lo stesso campo di applicazione; per informazioni di dettaglio sulle frequenze di prova per tipologia di materiale si rimanda comunque alla specifiche norme di riferimento in vigore.

13.8.1 Materia prima

Prova	*PVC UNI EN 1401*	*PE prEN 12666*	*PE UNI 7613*	*PP EN 1852*	*prEN 13476 e UNI 10986*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Contenuto di PVC	EN 1905	NP	NP	NP	Appendice al prEN 13476 e INI 10986
Resistenza alla pressione interna	EN 921 (a 1000h)	EN 921 (165h-80°C	NP	EN 921 (a 140h e 1000h)	EN 921 (a 165h, 140h e 1000h)
Indice di fluidità	NP	ISO 1133	NP	NP	ISO 1133
Stabilità termica (O.I.T.)	NP	EN 728	NP	NP	EN 728
Massa volumica	NP		NP	NP	ISO 1183

13.8.2 Tubi e raccordi

Prova	*PVC UNI EN 1401*	*PE prEN 12666*	*PE UNI 7613*	*PP EN 1852*	*prEN 13476 e UNI 10986*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Resistenza alla pressione interna	EN 921 (a 1000h)	EN 921 (a 1h – 165h e 1000h)	UNI 7615 (a 1h – 170h)	EN 921 (a 140h e 1000h)	EN 921 (a 165, 140h e 1000h)
Aspetto	UNI EN 1401-1	prEN 12666	UNI 7615	PREN 13476 ed UNI 10986	PREN 13476 ed UNI 10986
Colore	UNI EN 1401-1	pPrEN 12666	UNI 7615	PREN 13476 ed UNI 10986	PREN 13476 ed UNI 10986
Dimensioni	UNI EN 1401-1 ed EN 496	pPrEN 12666 ed EN ISO 3126	UNI 7615	PREN 13476 ed UNI 10986 ed EN 496	PREN 13476 ed UNI 10986 ed EN ISO 3126
Indice di fluidità	NP	ISO 1133	NP	NP	ISO 1133
Stabilità termica (O.I.T.)	NP	EN 728	NP	NP	EN 728
Massa volumica	NP	NP	NP	NP	ISO 1183
Contenuto di nerofumo	NP	NP	UNI 7615	NP	NP

Prova	*PVC UNI EN 1401*	*PE prEN 12666*	*PE UNI 7613*	*PP EN 1852*	*prEN 13476 e UNI 10986*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Resistenza all'urto a 0°C	EN 744		NP	EN 744	EN 744
Resistenza meccanica o felessibilità	EN 12256	EN 12256	NP	EN 12256	EN 12256
Rigidità anulare	NP	EN ISO 9969	NP	EN 29696	EN ISO 9969
Rigidità	NP	NP	NP	NP	EN ISO 13967
Flessibilità anulare	NP	NP	NP	NP	EN 1446
Prova di caduta a 0°C	EN 12061	NP	NP	EN 12061	NP
Temperatura di rammollimento (Vicat)	EN 727	NP	NP	NP	EN 727

Prova	*PVC UNI EN 1401*	*PE prEN 12666*	*PE UNI 7613*	*PP EN 1852*	*prEN 13476 e UNI 10986*
	Metodo di prova	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*	*Metodo di prova*
Ritiro longitudinale	EN 743	EN 743	UNI 7615	EN 743	EN 743
Prova in stufa	NP	NP	NP	NP	ISO 12091
Effetto del calore	EN 763	EN 763	NP	EN 763	EN 763
Grado di gelificazione	EN 580		NP	NP	EN 580
Tenuta all'acqua	EN 1053	EN 1053	NP	EN 1053	EN 1055
Tenuta idraulica dei giunti	NP	NP	UNI 7615	NP	NP
Resistenza a trazione della linea di giunzione	NP	NP	NP	NP	EN 1979
Rapporto di deformazione plastica	NP	NP	NP	NP	EN ISO 9969
Marcatura	UNI EN 1401-1	prEN 12666	UNI 7613	PREN 13476 ed UNI 10986	PREN 13476 ed UNI 10986

13.8.3 Idoneità del sistema

Tenuta dei giunti con guarnizione elastomerica	EN 1277	EN 1277	NP	EN 1277	EN 1277
Prova a trazione della saldatura	NP	NP	NP	NP	EN 1979
Cicli ad elevata temperatura	EN 1055	EN 1055	NP	EN 1055	EN 1055
Resistenza ai cicli termici ad alta temperatura combinati con carico esterno	NP	NP	NP	NP	EN 1437
Prestazioni a lungo termine delle guarnizioni in TPE	EN 1989	EN 1989	NP	EN 1989	EN 1989

13.9 Norma UNI EN ISO 15874

La presente scheda riassuntiva intende fornire esclusivamente un sunto delle informazioni di carattere generale sulle varie tipologie e metodologie di prova previste per l'applicazione in oggetto; per informazioni dettagliate sulle tipologie e frequenze di prova o comunque per informazioni di dettagli si rimanda comunque alle specifiche norme di riferimento in vigore.

Scopo e campo di applicazione:

La norma specifica i requisiti per i tubi estrusi con polipropilene (omopolimero e copolimero) opportunamente stabilizzato, nel campo delle condotte alimentari e non anche in presenza di liquidi aggressivi.

13.9.1 La materia prima

Il materiale con cui sono costruite le tubazioni deve essere costituita da materiale di base polipropilene opportunamente stabilizzato cui sono aggiunte le sostanze necessarie per facilitarne la produzione.

La gamma dimensionale:

La norma prevede tubazioni ad estremità liscia, per giunti per fusione testa-testa e per giunti ad elettrofusione dal DN 10 al DN 1400 per le classi di pressione PN 2,5-4-6-10 e 16.

Le prove:

PA (prove di accettazione) = destinate a seguire con continuità il rispetto di alcuni parametri fondamentali dei prodotti; devono poter essere effettuate in modo facile e rapido per poter correggere nel minor tempo possibile la produzione.

PT (prove di tipo) = Destinate a garantire che il prodotto resti conforme alle sue caratteristiche iniziali; devono essere effettuate ogni qual volta intervenga una variazione della materia prima o dopo della formulazione del processo di produzione.

PS (prove di sistema o di comportamento) = destinate a garantire, quando richiesto dall'utilizzatore, l'attitudine alle condizioni di impiego di parti componenti, singolarmente prese o montate assieme in un sistema, o a garantire un sistema nel suo complesso.

NP = non previsto

Caratteristiche dei tubi e del materiale

Prova	*Metodo di prova*	*PA*	*PT*	*PS*
Massa volumica	*	NP	NP	NP
Carico di snervamento	*	NP	NP	NP
Allungamento a snervamento	*	NP	NP	NP
Modulo di elasticità	*	NP	NP	NP
Resistenza elettrica superficiale	*	NP	NP	NP
Indice di fluidità	*	NP	NP	NP
Conduttività termica	*	NP	NP	NP
Coefficiente di dilatazione termica	*	NP	NP	NP
Aspetto	*	X	NP	NP
Colore	*	X	NP	NP
Dimensioni	*	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna a 1h	*	X	NP	NP
Resistenza alla pressione interna a 1000h	*	NP	X	NP

Prova	*Metodo di prova*	*PA*	*PT*	*PS*
Tensioni interne	*	X	NP	NP
Tenuta idraulica dei giunti	*	X	NP	NP
Marcatura	*	X	NP	NP

* = Caratteristiche fornite dalla norma solo a titolo di riferimento generale per la materia prima

Bibliografia

1. AA.VV., Sistemi di Fognatura - Manuale di progettazione, ed. Hoepli;
2. Acquedotti e Fognature, Le nuove condotte in PVC, 2003;
3. Appunti del Corso di Infrastrutture idrauliche, Prof. P. Mosca, Politecnico di Torino, A.A. 2002-03;
4. Citrini D., Noseda G., Idraulica, Casa editrice ambrosiana Milano;
5. Franchioni G., Tubazioni a prova di terremoto, Seleplast, 12, 1990;
6. Ghetti A., Idraulica, Edizioni libreria Cortina Padova, 1998;
7. Il rispetto dell'ambiente, AIPE
8. Installazione delle fognature di PVC, I.I.P., 2002;
9. Installazione di acquedotti di PVC, I.I.P., 1977;
10. Manuale tecnico dei tubi in polietilene;
11. Manuale tecnico – scarichi a incollaggio in PVC, 2004;
12. Manual tecnico conducciones de PVC (ASE Tub);
13. Monte A., Elementi di impianti industriali, vol.II;
14. Norme UNI EN 1452-1, 1452-2, 1452-6;
15. Norme UNI EN 1401-1, 1401-2, 1402-3;
16. Paolini, Impianti industriali meccanici;
17. Perucca E., Camporeale C., Ridolfi, L.(2005), Nonlinear analysis of the geometry of meandering rivers, Geophysical Research Letters 32, L03402, doi: 10.1029/2004GL021966;
18. Pipeline construction using plastic pipe systems, NPG;
19. Pipe materials selection manual, Water authorities association, Water mains, UK Editions, 1998;
20. Scopriamo insieme il PVC, Edizioni Tecniche Assoplast, 1988;
21. STR PVC, Syndacat des tubes et raccords PVC;
22. S. Tornicasa, Disegno di impianti e sistemi industriali, CLUT;
23. Vademecum per il Sistema Sicuro degli scarichi;
24. G. Vidotto, Mercato italiano e qualità dei tubi e raccordi in material plastica utilizzati per il trasporto di gas e acque, I.I.P.

Finito di stampare nel mese di XXXXXXXXXX 2011

PVC FORUM ITALIA
CENTRO DI INFORMAZIONE SUL PVC

www.tubipvc.it

WWW.PVCFORUM.IT