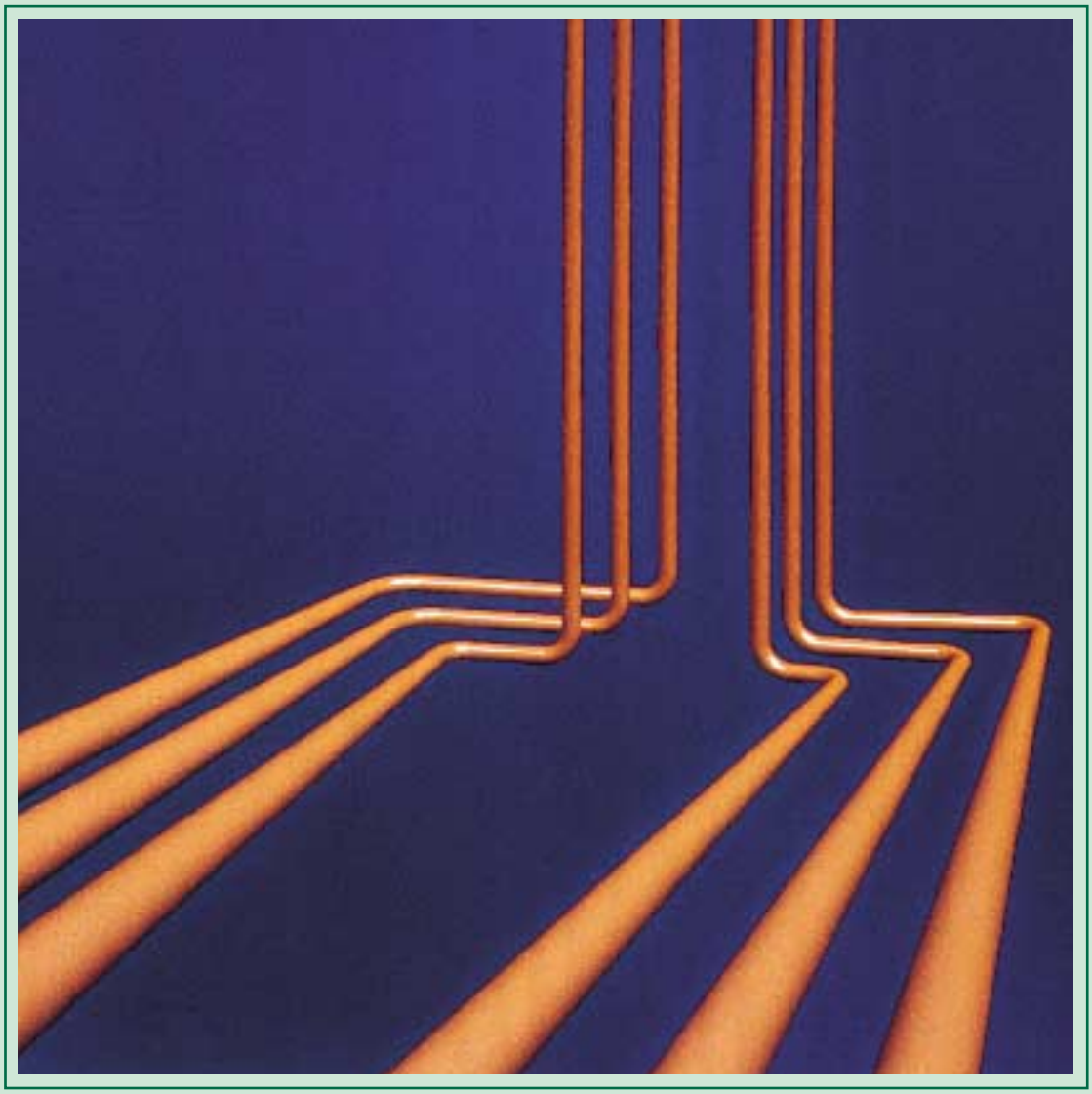
MARIO DONINELLI

LE RETI DI DISTRIBUZIONE



Quaderni Caleffi

MARIO DONINELLI

LE RETI DI DISTRIBUZIONE

Quaderni Caleffi

Da sempre, le scelte aziendali della Caleffi sono orientate non solo verso prodotti altamente qualificati, ma anche in direzione di un sistematico e diffuso lavoro di assistenza e di documentazione tecnica.
Finora, nel settore dell'informazione abbiamo dato risalto principalmente a due aspetti: quello legislativo e quello riguardante le caratteristiche tecniche dei nostri prodotti.

L'esser ben consapevoli che il continuo evolversi della tecnologia impiantistica richiede una documentazione sempre più completa ed efficace, ci ha indotto ad aprire un nuovo fronte: quello dei "QUADERNI CALEFFI": pubblicazioni impostate e sviluppate per essere tecnicamente rigorose, ma anche facili da leggere e pratiche da consultare.

Questo nuovo progetto editoriale ben evidenzia un principio per noi fondamentale: quello di conoscere e soddisfare le esigenze progettuali e realizzative degli operatori termotecnici.
La possibilità di offrire materiali di elevata qualità, nonché una valida informazione tecnica, ci consente di lavorare in sintonia con chi ci segue da anni e, come noi, è impegnato in un continuo processo migliorativo per portare la qualità dei suoi servizi ai livelli richiesti da un mercato particolarmente competitivo e selettivo.

Personalmente intendo ringraziare l'Autore e tutti coloro che hanno collaborato alla stesura di questo primo Quaderno Caleffi, per la chiarezza e semplicità con cui hanno saputo trattare anche gli argomenti più complessi.

Sarò inoltre grato a chi vorrà suggerirci miglioramenti, modifiche, o anche, più semplicemente, offrire il suo consiglio per affinare questa esperienza editoriale adeguandola sempre più ai bisogni concreti di un settore come il nostro, ancora così aperto all'innovazione e al perfezionamento.

Franco Caleffi
Presidente della CALEFFI S.p.A.

In questo libro ho cercato di presentare in modo organico la parte del mio schedario di lavoro che riguarda le reti di distribuzione. Ho cercato, cioè, di rivedere e mettere in ordine quell'insieme vario e composito - fatto di grafici, tabelle, formule, esempi e annotazioni - che da anni vado predisponendo e utilizzando a sussidio della mia duplice attività di progettista e di consulente.

Come progettista ho fatto largo uso - e lo faccio tuttora anche in tempo di computers - di grafici e di tabelle: perciò li ho qui riuniti ed allegati. Una ben selezionata raccolta di grafici e tabelle consente di lavorare con riferimenti sicuri e fa risparmiare tempo, in quanto evita dispersive consultazioni di testi e depliants. Inoltre, nella "trincea" operativa del cantiere, una raccolta di questo tipo è molto utile per effettuare rapide verifiche o per predisporre varianti.

Ho qui riportato anche numerose formule di calcolo. La loro conoscenza può essere d'aiuto a comprendere meglio la reale importanza dei parametri che concorrono a determinare una certa grandezza. Esse possono servire anche a verificare l'attendibilità di grafici e tabelle, o, ancora, ad elaborare programmi personali, dato che i calcolatori mal "digeriscono" le tabelle.

Come consulente ho lavorato principalmente alla formazione di tecnici specializzati nel settore termotecnico. In tale veste, ho via via elaborato definizioni, note ed esempi allo scopo di mettere a fuoco i problemi, di illustrare le tecniche di lavoro, di dare suggerimenti pratici, possibilmente con chiarezza, con concretezza, con rapidità.

Tutto questo materiale, in alcune parti integrato, in altre depurato e riorganizzato, è confluito nel presente manuale.
Lo scopo è quello di offrire agli operatori termotecnici un utile e agile strumento di lavoro, nato da una lunga esperienza sul campo, confidando che esso possa diventare un valido punto di riferimento, un vademecum amico, pronto a fornire le informazioni giuste nei momenti e nei modi in cui effettivamente servono.

Desidero ringraziare per l'aiuto che mi hanno dato l'amico Paolo Barcellini e i collaboratori dello studio STC, Umberto Bianchini, Roger Brescianini, Alberto Perini.

Infine voglio esprimere la mia gratitudine alla Caleffi che ha condiviso la forma e lo stile di questa pubblicazione.

Mario Doninelli

AVVERTENZE

STRUTTURA GENERALE

Definizioni, grafici, tabelle, formule, esempi e consigli sono di seguito raccolti in voci (o schede) classificate in ordine alfabetico.

Ogni voce, pur essendo legata al contesto generale, è in pratica autosufficiente.
I collegamenti tra voce e voce sono indicati da appositi rinvii: ciascun rinvio è chiaramente evidenziato e compreso fra parentesi tonde.

Grafici, tabelle e formule hanno un numero d'ordine legato solo al contesto della voce in cui sono riportati.
Le voci di maggiori dimensioni, spesso introdotte da un breve indice ad albero, sono suddivise in capitoli e sottocapitoli.

SCHEMI E DISEGNI

Le voci sono completate da schemi e disegni che illustrano essenzialmente l'aspetto funzionale degli impianti, delle apparecchiature e dei particolari descritti.
Non sono allegati disegni tecnici esecutivi.

SEGNI, SIMBOLI E ABBREVIAZIONI

Segni e simboli (della matematica, della fisica, della chimica, ecc...) sono quelli di uso corrente.
Si è cercato di evitare il più possibile il ricorso ad abbreviazioni: quelle di cui si è fatto uso sono specificate caso per caso.

UNITA' DI MISURA

Non si è applicato in modo rigoroso il Sistema Internazionale. Spesso sono state preferite le unità di misura del sistema tecnico in quanto:

1. sono più immediate e comprensibili sul piano pratico;
2. sono le effettive unità di misura cui si fa riferimento nel linguaggio operativo dei tecnici e degli installatori.

ALFABETO GRECO

Grandezze fisiche, coefficienti numerici e costanti sono sovente rappresentati con lettere dell'alfabeto greco. Si è ritenuto utile pertanto riportare di seguito tali lettere e la relativa pronuncia.

Lettere dell'alfabeto greco					
Maiuscole	Minuscole	Nome	Maiuscole	Minuscole	Nome
Α	α	alfa	Ν	ν	ni o nu
Β	β	beta	Ξ	ξ	xi
Γ	γ	gamma	Ο	ο	omicron
Δ	δ	delta	Π	π	pi
Ε	ε	epsilon	Ρ	ρ	rho
Ζ	ζ	zeta	Σ	σ	sigma
Η	η	eta	Τ	τ	tau
Θ	θ	theta	Υ	υ	upsilon
Ι	ι	iota	Φ	φ	fi
Κ	κ	cappa	Χ	χ	chi
Λ	λ	lambda	Ψ	ψ	psi
Μ	μ	mi o mu	Ω	ω	omega

NOTE

INDICE GENERALE

CIRCUITO INVERSO pag. 1

COLLETTORI pag. 2

COLLETTORI DI ZONA 2
COLLETTORI PRINCIPALI 2

DILATAZIONE TERMICA pag. 5

CALCOLO DELLE DILATAZIONI TERMICHE LINEARI 6
• TAB. 1 - Coefficienti di dilatazione termica lineare 6
• DGR. 1 - Dilatazioni termiche dei tubi in acciaio 7
CONTROLLO DELLE DILATAZIONI TERMICHE 8
COMPENSATORI NATURALI 8
• DGR. 2 - Compensatori a U 9
• DGR. 3 - Compensatori a L 10
• DGR. 4 - Compensatori a Z 11
COMPENSATORI ARTIFICIALI 12
- COMPENSATORI A SOFFIETTO METALLICO 12
- COMPENSATORI IN GOMMA 13
- COMPENSATORI TELESCOPICI 13
- COMPENSATORI A TUBO FLESSIBILE 13

ELETTROPOMPE pag. 14

ELETTROPOMPE A TENUTA MECCANICA 16
CIRCOLATORI 17
CONFRONTO FRA POMPE A TENUTA MECCANICA E CIRCOLATORI 18
CURVA CARATTERISTICA DI UNA ELETTROPOMPA CENTRIFUGA 19
- ELETTROPOMPE IN SERIE 20
- ELETTROPOMPE IN PARALLELO 20
RENDIMENTO DI UNA ELETTROPOMPA CENTRIFUGA 21
• TAB. 1 - Rendimento medio delle elettropompe a tenuta meccanica 21
• TAB. 2 - Rendimento medio dei circolatori 21
POTENZA ASSORBITA DA UNA ELETTROPOMPA 22
NPSH 22
PUNTO DI FUNZIONAMENTO ELETTROPOMPA-CIRCUITO 22
SCELTA DI UNA ELETTROPOMPA 24
MESSA IN OPERA DELLE ELETTROPOMPE 24

ISOLAMENTO TERMICO DELLE TUBAZIONI pag. 25

FORMULE GENERALI DI CALCOLO 26
CALCOLO DELLE ADDUTTANZE UNITARIE 28
- CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ADDUTTANZA INTERNA 28
- CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ADDUTTANZA ESTERNA 28
- VALORI TABULATI DELLE ADDUTTANZE UNITARIE 30
• TAB. 1 - Adduttanza unitaria esterna (acqua surriscaldata a 140°C) 30
• TAB. 2 - Adduttanza unitaria esterna (acqua surriscaldata a 120°C) 31
• TAB. 3 - Adduttanza unitaria esterna (acqua a 80°C) 31
• TAB. 4 - Adduttanza unitaria esterna (acqua a 60°C) 32
• TAB. 5 - Adduttanza unitaria esterna (acqua a 40°C) 32
• TAB. 6 - Adduttanza unitaria esterna (acqua a 10°C) 33
• TAB. 7 - Adduttanza unitaria esterna (acqua glicolata a 0°C) 33
MATERIALI ISOLANTI PER TUBAZIONI 35
- MATERIALI A BASE DI GOMMA SINTETICA 35
- MATERIALI A BASE DI SCHIUME POLIURETANICHE 36
- MATERIALI FIBROSI IN LANA DI ROCCIA O DI VETRO 36
POSA IN OPERA DEI MATERIALI ISOLANTI 36
• TAB. 8 - Superficie esterna riferita ad un metro di tubo isolato (tubi in pollici) 37
• TAB. 9 - Superficie esterna riferita ad un metro di tubo isolato (tubi in mm) 38

LIQUIDO ANTIGELO pag. 39

• TAB. 1 - Soluzioni antigelo acqua-glicole etilico 39

MASSA VOLUMICA pag. 40

• TAB. 1 - Massa volumica dell'acqua in relazione al variare della temperatura 40
• TAB. 2 - Massa volumica dei materiali per tubazioni 40

PERDITE DI CARICO CONTINUE pag. 41

FORMULA GENERALE DI CALCOLO 42
PERDITE DI CARICO CONTINUE NEL MOTO LAMINARE 43
PERDITE DI CARICO CONTINUE NEL MOTO TURBOLENTO 45
- TUBI A BASSA RUGOSITA' 46
- TUBI A MEDIA RUGOSITA' 48
- TUBI A ELEVATA RUGOSITA' 50
• TAB. 1 - Fattori di correzione per tubi ad elevata rugosità 50

PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE pag. 51

METODO DIRETTO 52
- TAB. 1 - Valori del coefficiente di perdita localizzata ξ 54
- TAB. 2 - Perdite di carico localizzate in mm c.a. per ξ variabile da 1 a 15 56
- TAB. 3 - Fattori di conversione per temperature dell'acqua diverse da 80°C 58

METODO DELLE PORTATE NOMINALI 59
- PORTATA NOMINALE PER D.D.P. = 1 bar 59
- PORTATA NOMINALE PER D.D.P. = 0,01 bar 60

METODO DELLE LUNGHEZZE EQUIVALENTI 61
CORRELAZIONE FRA I DIVERSI METODI DI CALCOLO 62

PERDITE DI CARICO TOTALI pag. 66

PORTATA DI BILANCIAMENTO pag. 67

RUGOSITÀ pag. 72

- TAB. 1 - Valori di rugosità relativi a tubazioni commerciali 72

TUBI IN ACCIAIO pag. 73

TUBI SENZA SALDATURA 73
TUBI SALDATI ELETTRICAMENTE 74
TUBI SALDATI FRETZ MOON 74
- TAB. 1 - Caratteristiche dei tubi in acciaio, diam. pollici 75
- TAB. 2 - Caratteristiche dei tubi in acciaio, diam. in mm 76
- TAB. 3 - Perdite di carico continue, diam. pollici, T. acqua = 10°C 77
- TAB. 4 - Perdite di carico continue, diam. pollici, T. acqua = 50°C 78
- TAB. 5 - Perdite di carico continue, diam. pollici, T. acqua = 80°C 79
- TAB. 6 - Perdite di carico continue, diam. mm, T. acqua = 10°C 80
- TAB. 7 - Perdite di carico continue, diam. mm, T. acqua = 50°C 82
- TAB. 8 - Perdite di carico continue, diam. mm, T. acqua = 80°C 84

TUBI IN ACCIAIO DOLCE pag. 86

• TAB. 1 - Caratteristiche dei tubi in acciaio dolce 86
• TAB. 2 - Perdite di carico continue, T. acqua = 10°C 87
• TAB. 3 - Perdite di carico continue, T. acqua = 50°C 88
• TAB. 4 - Perdite di carico continue, T. acqua = 80°C 89

TUBI IN MATERIALE PLASTICO pag. 90

• TAB. 1 - Campi di impiego e di idoneità dei principali materiali plastici per tubi..... 90
TUBI IN POLIETILENE RETICOLATO 91
• TAB. 2 - Caratteristiche dei tubi in PEX (10 atm, 95°C) 92
• TAB. 3 - Caratteristiche dei tubi in PEX (6 atm, 95°C) 92
• TAB. 4 - Perdite di carico continue, tubi PEX, T. acqua = 10°C 93
• TAB. 5 - Perdite di carico continue, tubi PEX, T. acqua = 50°C 94
• TAB. 6 - Perdite di carico continue, tubi PEX, T. acqua = 80°C 95
TUBI IN POLIETILENE AD ALTA DENSITA' 96
• TAB. 7 - Caratteristiche dei tubi in PEad PN 6 97
• TAB. 8 - Caratteristiche dei tubi in PEad PN 10 97
• TAB. 9 - Caratteristiche dei tubi in PEad PN 16 98
• TAB. 10 - Perdite di carico continue, tubi PEad PN 6, T. acqua = 10°C 99
• TAB. 11 - Perdite di carico continue, tubi PEad PN 10, T. acqua = 10°C 100
• TAB. 12 - Perdite di carico continue, tubi PEad PN 16, T. acqua = 10°C 101

TUBI IN RAME pag. 102

• TAB. 1 - Caratteristiche dei tubi in rame 104
• TAB. 2 - Perdite di carico continue, T. acqua = 10°C 105
• TAB. 3 - Perdite di carico continue, T. acqua = 50°C 106
• TAB. 4 - Perdite di carico continue, T. acqua = 80°C 107

VALVOLE DI INTERCETTAZIONE pag. 108

VALVOLE A SARACINESCA 108
VALVOLE A DISCO E A TAPPO 109
VALVOLE A MASCHIO 110
VALVOLE A SFERA 111
VALVOLE A FARFALLA 112

VALVOLE A RITEGNO pag. 113

VALVOLE A BATTENTE O A CLAPET 113
VALVOLE A TAPPO O A DISCO 113
VALVOLE A SFERA 114
VALVOLE A FUSO 114

VELOCITÀ pag. 115

VELOCITA' CONSIGLIATE 117
• TAB. 1 - Velocità consigliate per reti ad acqua calda e refrigerata 117
• TAB. 2 - Velocità consigliate per canali d'aria in impianti a bassa velocità 117
VELOCITA' MINIMA DI TRASCINAMENTO DELL'ARIA 118
• TAB. 3 - Velocità minima di trascinamento dell'aria per acqua a 80°C 118
• TAB. 4 - Fattori di correzione delle velocità minime di trascinamento dell'aria 119

VINCOLI DELLE TUBAZIONI pag. 120

• TAB. 1 - Distanze massime consigliate per vincoli di tubi metallici orizzontali 120
PUNTI FISSI 121
- PUNTI FISSI PRINCIPALI 121
- PUNTI FISSI SECONDARI O INTERMEDI 122
GUIDE 122
APPOGGI E SOSTEGNI 123

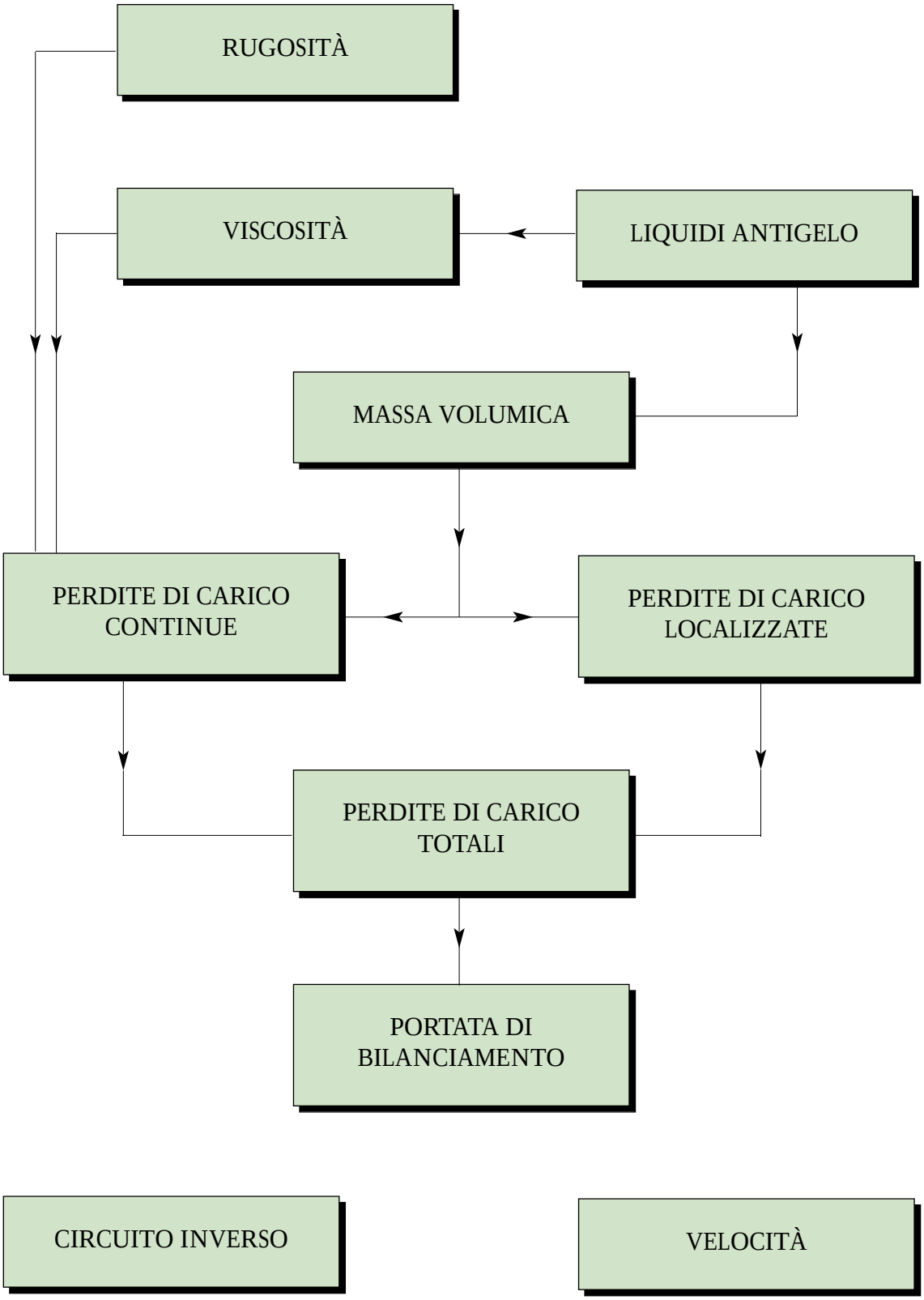
VISCOSITÀ pag. 125

• TAB. 1 - Viscosità dell'acqua in relazione alla temperatura 126

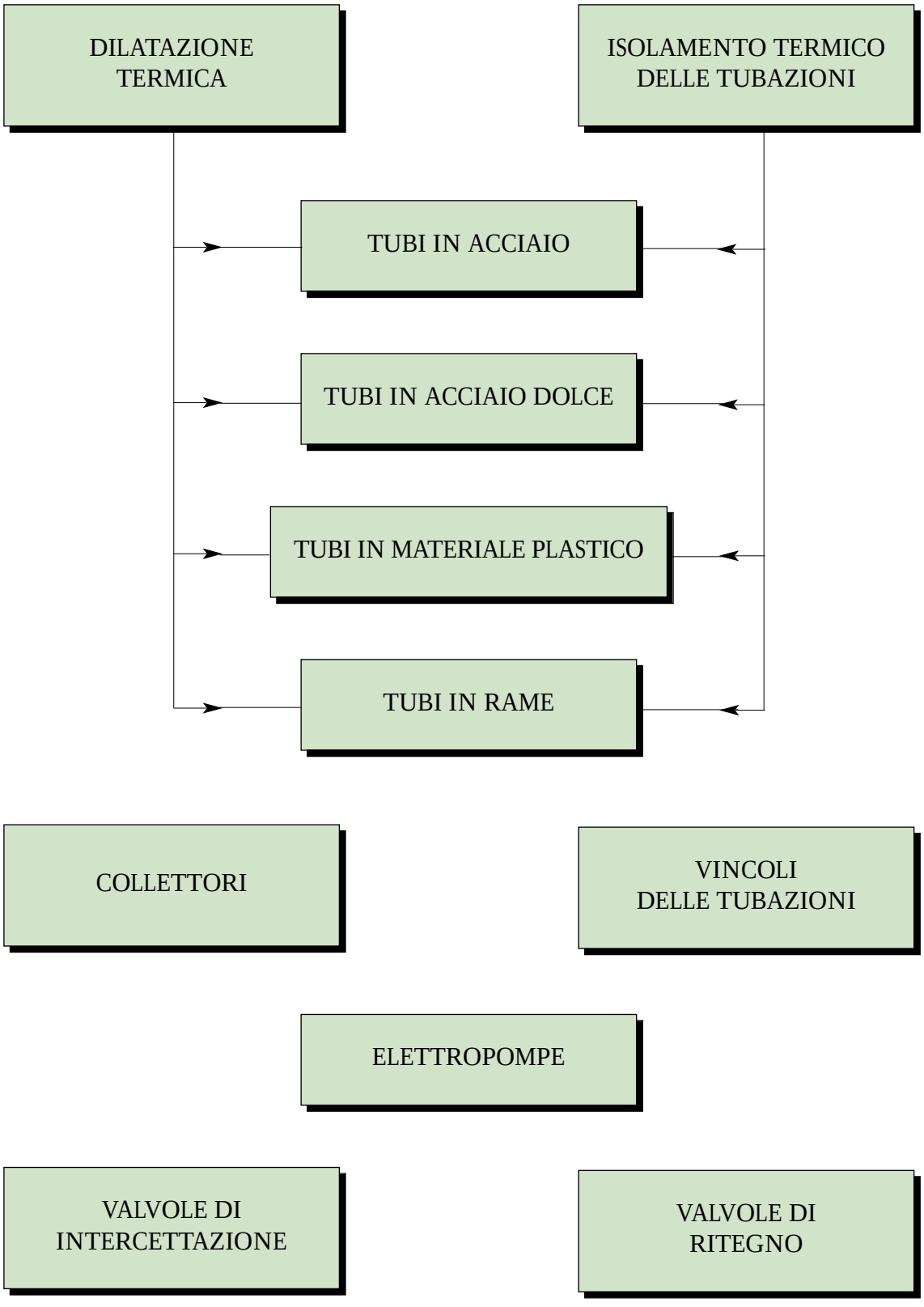
BIBLIOGRAFIA pag. 127

INDICE ANALITICO pag. 129

Schema riassuntivo:
Elementi di base per il calcolo delle tubazioni



Schema riassuntivo:
Componenti delle reti di distribuzione



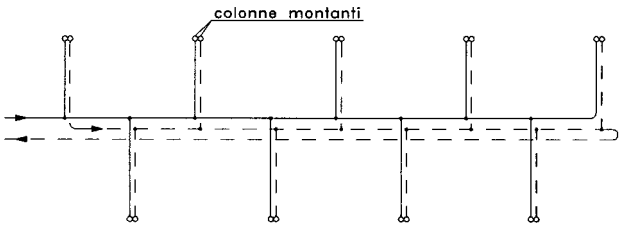
CIRCUITO INVERSO

Questo circuito - definito anche “compensato” o “bilanciato” - consente di garantire ai suoi terminali (corpi scaldanti, colonne o derivazioni di zona) valori di prevalenza pressoché uguali fra loro.

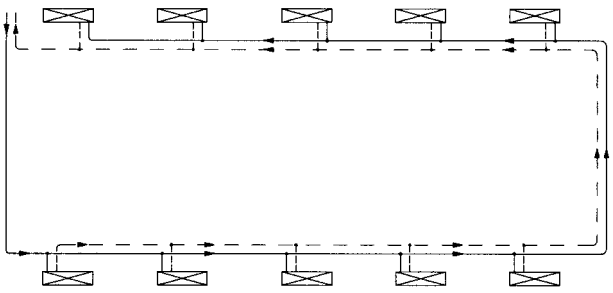
Simile prestazione si ottiene sviluppando il circuito in modo tale che:

il primo	terminale dell’andata sia	l’ultimo	del ritorno;
il secondo	terminale dell’andata sia	il penultimo	del ritorno;
il terzo	terminale dell’andata sia	il terzultimo	del ritorno, e così via fino a che
l’ultimo	terminale dell’andata sia	il primo	del ritorno.

Il circuito inverso può essere del tipo a sviluppo lineare (comunemente detto a tre tubi) oppure a sviluppo anulare (falso tre tubi).



Circuito inverso a sviluppo lineare



Circuito inverso a sviluppo anulare

Le applicazioni di questo circuito (specie nel tipo a sviluppo lineare) sono limitate soprattutto dai suoi costi relativamente elevati. In molti casi, il bilanciamento delle derivazioni di rete può essere ottenuto più convenientemente con valvole di taratura o con limitatori di portata.

COLLETTORI

Sono tratti di condotto che servono a distribuire e a raccogliere i fluidi di più circuiti. Si classificano in collettori di zona e collettori principali.

COLLETTORI DI ZONA

Sono i collettori “interni” che collegano la rete principale di distribuzione ai vari terminali di utilizzo: radiatori, convettori, ventilconvettori, pannelli radianti, ecc...

In genere i collettori di zona sono in ottone, ma si possono trovare anche in rame o in lega di alluminio.

In base alle loro caratteristiche costruttive possono essere classificati come collettori ciechi, semplici, componibili, complanari o a sviluppo su due piani.

Normalmente sono reperibili nei diametri che variano da 3/4” fino a 1 1/2”.

COLLETTORI PRINCIPALI

Sono detti anche collettori di centrale perchè sono realizzati soprattutto nelle centrali termiche e frigorifere. Da essi vengono derivati i circuiti principali dell’impianto.

Questi collettori possono essere a condotti indipendenti o coassiali, con attacchi centrali o laterali.

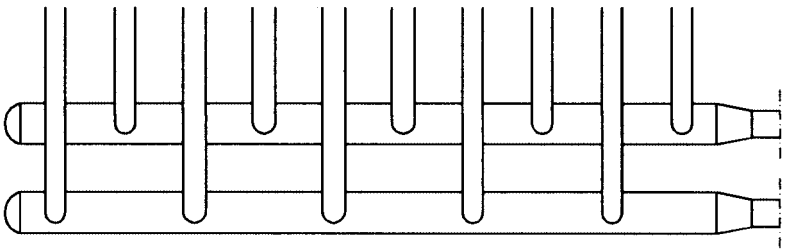
Per il loro dimensionamento non esistono formule generali semplici e precise, perchè troppi sono i fattori che entrano in gioco, quali ad esempio: la portata e la prevalenza dei circuiti derivati, la posizione e il tipo degli attacchi, la configurazione geometrica adottata (a sviluppo indipendente o coassiale) ecc...

Come regola generale è bene dimensionare questi collettori con sezioni “abbondanti”; con sezioni troppo piccole, infatti, alcuni circuiti derivati potrebbero “rubare” acqua ad altri.

Di seguito sono riportate due formule, di natura empirica, che possono essere utilizzate per determinare i diametri dei collettori indipendenti con attacchi laterali.

COLLETTORI PRINCIPALI CON ATTACCHI A CIRCUITO SEMPLICE

Hanno gli attacchi, di andata e di ritorno, collegati sullo stesso lato.



Collettore con attacchi a circuito semplice

Possono essere dimensionati con la formula:

$$Sc \geq 1{,}6 \cdot (S_1 + S_2 + ... + Sn) \qquad (1)$$

dove : Sc = sezione interna del collettore, mm^2
S_1, S_2, Sn = sezioni interne dei circuiti derivati, mm^2

Esempio:

Calcolare il diametro di un collettore, del tipo a circuito semplice, da cui sono derivati i seguenti circuiti: due da 1 1/2", due da 2" e uno da 3".

Soluzione:

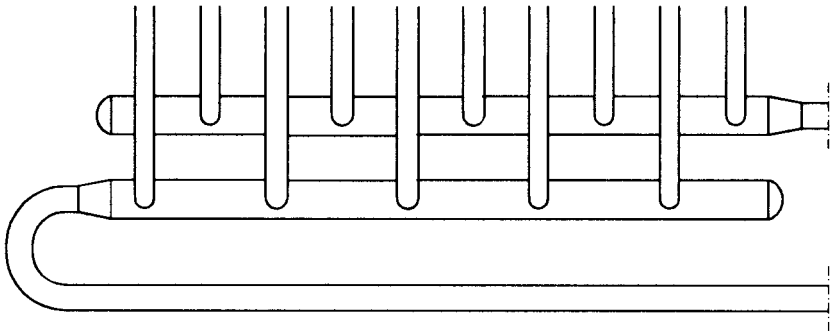
La sezione minima del collettore si può calcolare con la formula (1), mentre le sezioni interne dei circuiti derivati possono essere ricavate dalla TAB. 1 riportata alla voce: TUBI IN ACCIAIO.
Si ha pertanto:

$$Sc \geq 1{,}6 \cdot (2 \cdot 1.385 + 2 \cdot 2.213 + 1 \cdot 5.100) = 19.674 \ mm^2$$

Sempre nell'ambito della voce TUBI IN ACCIAIO, dalla TAB. 2 (che per i grandi diametri offre più possibilità di scelta della TAB. 1) risulta che il diametro minimo del collettore richiesto si ha in corrispondenza del tubo 168,3/159,3 (sezione interna 19.921 mm^2).

COLLETTORI PRINCIPALI CON ATTACCHI A CIRCUITO COMPENSATO

Hanno gli attacchi, di andata e di ritorno, collegati sui lati opposti.



Collettore con attacchi a circuito compensato

Possono essere dimensionati con la formula:

$$Sc \geq 1{,}4 \cdot (S_1 + S_2 + ... + Sn) \qquad (2)$$

dove: Sc = sezione interna del collettore, mm^2
S_1, S_2, Sn = sezioni interne dei circuiti derivati, mm^2

Esempio:

Calcolare il diametro di un collettore, del tipo a circuito compensato, da cui sono derivati i seguenti circuiti: due da 1 1/2", due da 2" e uno da 3".

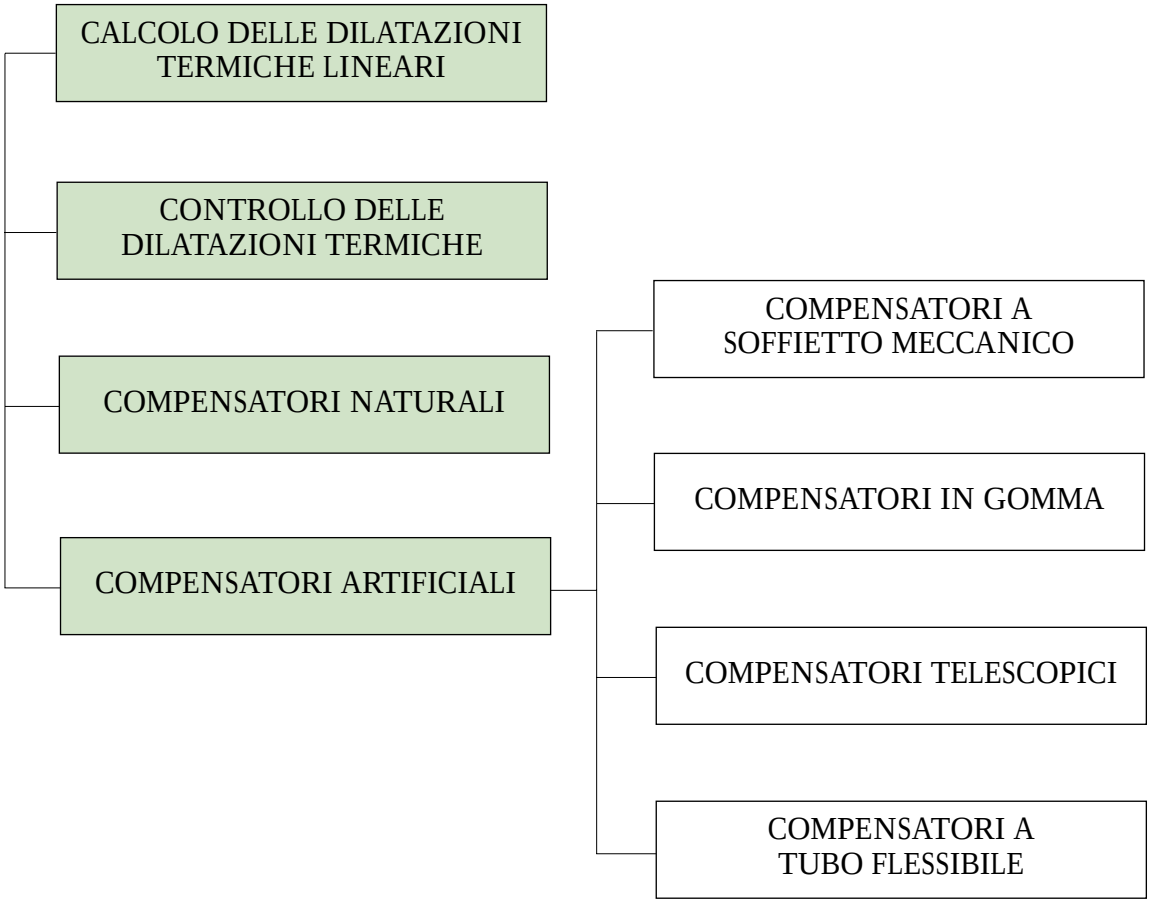
Soluzione:

La sezione minima del collettore si può calcolare con la formula (2), mentre le sezioni interne dei circuiti derivati possono essere ricavate dalla TAB. 1 riportata alla voce: TUBI IN ACCIAIO.
Si ha pertanto:

$$Sc \geq 1{,}4 \cdot (2 \cdot 1.385 + 2 \cdot 2.213 + 1 \cdot 5.100) = 17.214 \ mm^2$$

Sempre nell'ambito della voce TUBI IN ACCIAIO, dalla TAB. 2 (che per i grandi diametri offre più possibilità di scelta della TAB. 1) risulta che il diametro minimo del collettore richiesto si ha in corrispondenza del tubo 159/150 (sezione interna 17.663 mm^2).

DILATAZIONE TERMICA



La dilatazione termica è il fenomeno fisico per cui le dimensioni di un corpo aumentano o diminuiscono al variare della sua temperatura.

La dilatazione termica si dice lineare, superficiale o cubica, a seconda che riguardi prevalentemente una, due o tutte tre le dimensioni di un corpo. Ad esempio si dice lineare la dilatazione termica di un filo o di un tubo.

Quando si progettano e si realizzano reti di distribuzione, interessa soprattutto conoscere, e tener sotto controllo, le dilatazioni termiche delle tubazioni che trasportano fluidi ad elevata temperatura. In particolare tali tubazioni devono potersi dilatare senza far nascere forze in grado di causare danni (deformazioni permanenti o rotture) alle tubazioni stesse o ai supporti di ancoraggio.

CALCOLO DELLE DILATAZIONI TERMICHE LINEARI

Le dilatazioni termiche lineari possono essere calcolate con la formula:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \qquad (1)$$

dove: ΔL = dilatazione termica lineare, mm
α = coefficiente di dilatazione termica lineare, mm/m°C
L = lunghezza della tubazione, m
ΔT = differenza di temperatura, °C

Nella seguente tabella sono riportati i valori di α per i tubi normalmente utilizzati negli impianti idro-termosanitari:

TAB. 1 - Coefficienti di dilatazione termica lineare (mm/m°C)

Acciaio	0,0114
Rame	0,0170
PEX (polietilene reticolato)	0,1400
PEad (polietilene ad alta densità)	0,1300
PVC (policloruro di vinile)	0,0800
PP (polipropilene)	0,1500

Esempio:

Calcolare le dilatazioni termiche lineari di tubi in acciaio, rame e PEX, considerando le seguenti caratteristiche:
lunghezza tubo = 30 m, temperatura di installazione = 10°C, temperatura di esercizio = 90°C.

Soluzione:

Applicando la formula (1) e derivando i valori di α dalla TAB. 1 si ottiene:

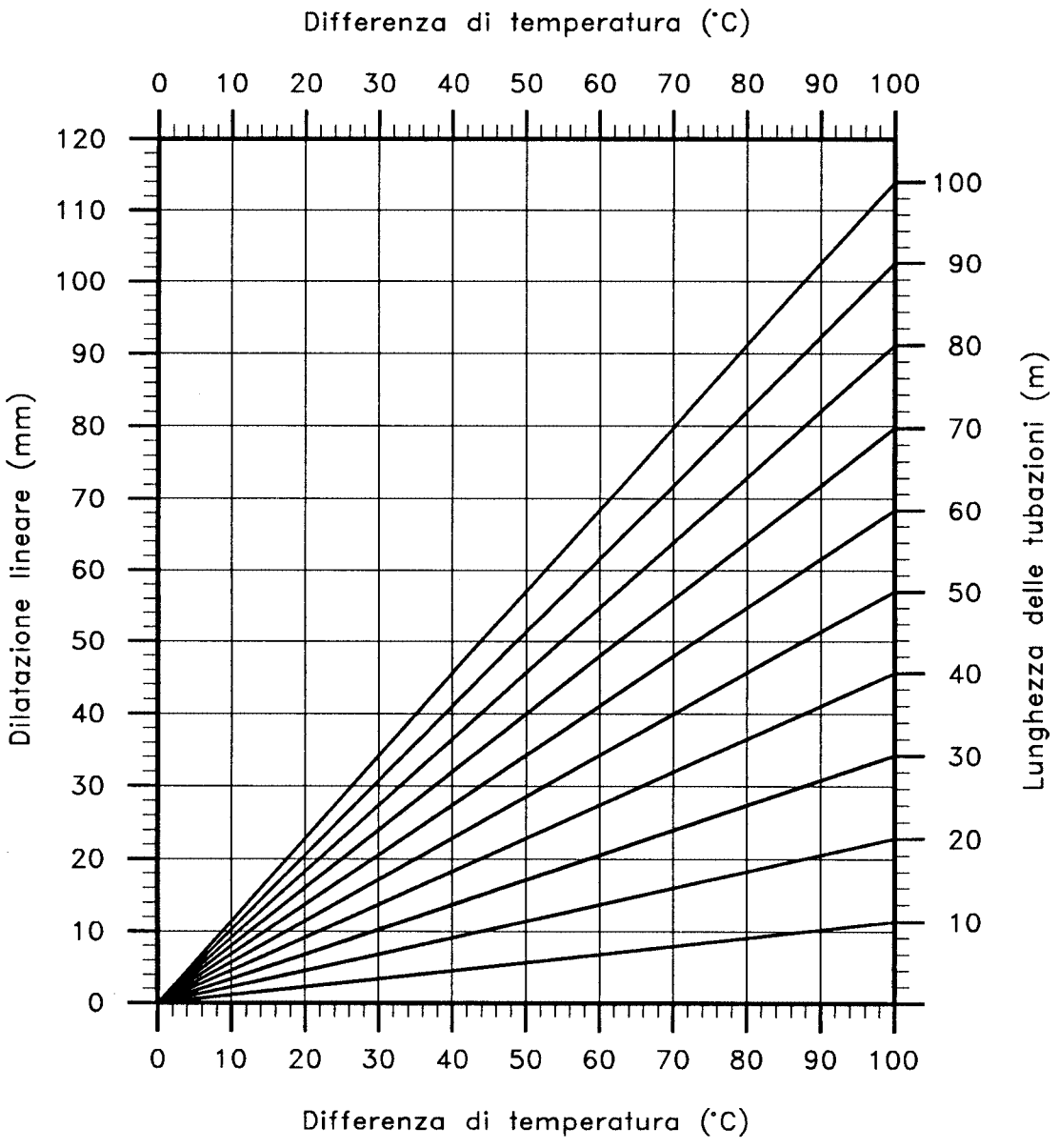
— tubo in acciaio : $\Delta L = 0{,}0114 \cdot 30 \cdot (90 - 10) = 27{,}36$ mm

— tubo in rame : $\Delta L = 0{,}0170 \cdot 30 \cdot (90 - 10) = 40{,}80$ mm

— tubo in PEX : $\Delta L = 0{,}1400 \cdot 30 \cdot (90 - 10) = 336{,}00$ mm

Oltre che con la formula (1), le dilatazioni termiche dei tubi in acciaio possono essere determinate con il diagramma di seguito riportato:

DGR. 1 - Dilatazioni termiche dei tubi in acciaio



CONTROLLO DELLE DILATAZIONI TERMICHE

Negli impianti con reti di distribuzione a sviluppo limitato, le dilatazioni termiche dei tubi sono in genere assorbite dalla elasticità "naturale" delle reti stesse. Tale elasticità dipende soprattutto dal numero e dal tipo di curve inserite nella rete. Le curve, infatti, si deformano facilmente e possono così assorbire in modo "naturale" l'allungamento e l'accorciamento dei tubi.
Le curve che meglio assorbono le dilatazioni termiche dei tubi sono quelle che hanno diametri piccoli ed elevati raggi di curvatura.

Al contrario, negli impianti a grande sviluppo, l'elasticità propria delle reti non è in genere sufficiente a garantire l'assorbimento delle dilatazioni termiche.
In questi casi si deve provvedere alla messa in opera di appositi compensatori che possono essere di tipo naturale o artificiale.

COMPENSATORI NATURALI

Sono così definiti i compensatori ottenuti con tratti rettilinei e con curve degli stessi tubi che costituiscono le reti di distribuzione.

Questi dispositivi di dilatazione sono facili da realizzare, sono poco costosi e hanno un elevato grado di sicurezza.
Possono però presentare l'inconveniente di richiedere molto spazio e, quindi, non sempre sono realizzabili, specie quando i tubi sono posti in cunicoli o in cavedi.

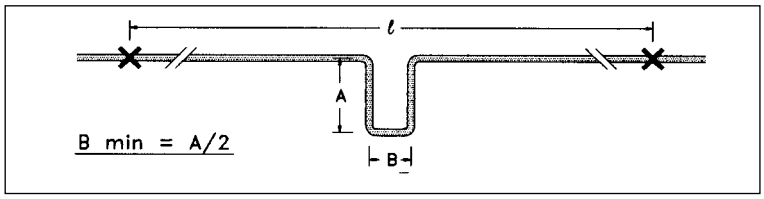
Per limitare le loro dimensioni, questi compensatori possono essere messi in opera con una pretensione, cioè con uno stato di tensione di segno contrario a quello indotto dalla dilatazione termica dei tubi.
Simile tecnica di montaggio consente di ridurre l'entità della dilatazione effettiva da assorbire.
Solitamente conviene che l'allungamento di pretensione sia uguale a metà della dilatazione termica prevista.

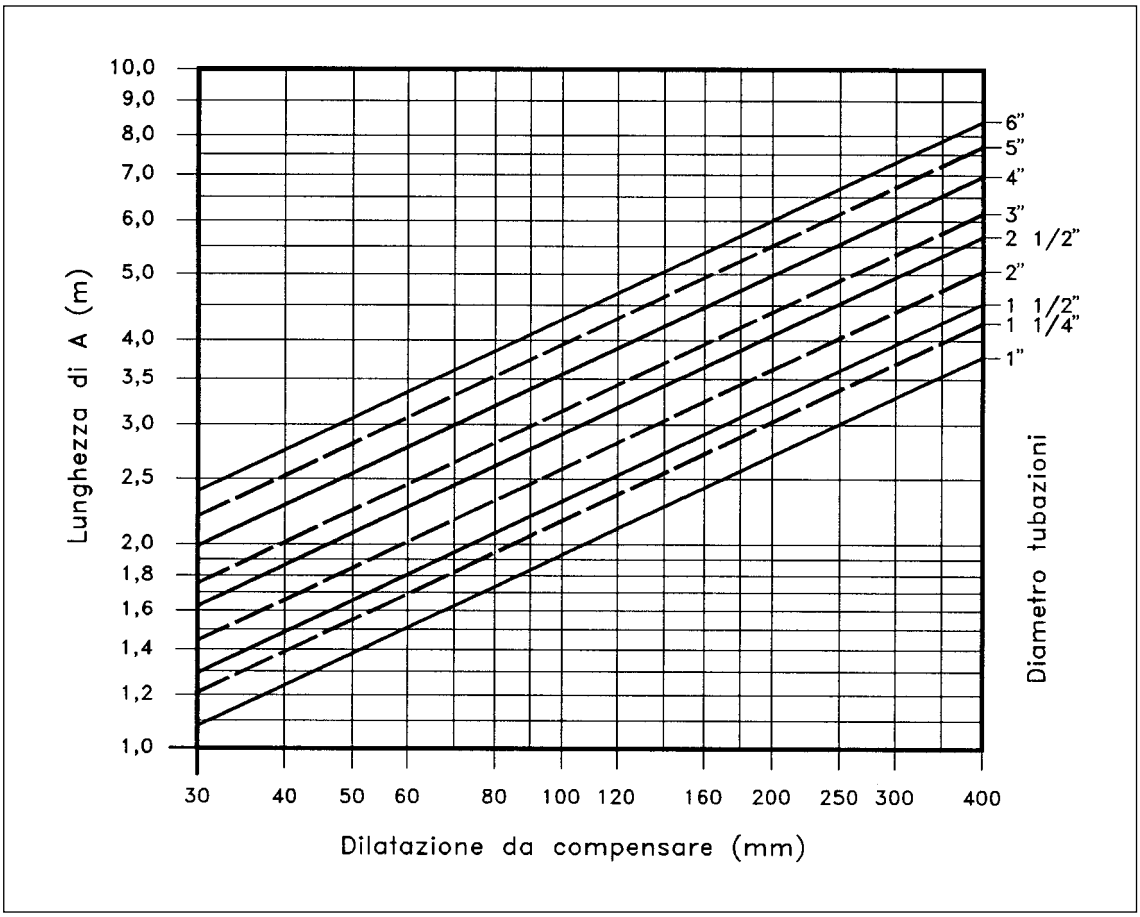
I compensatori naturali più comunemente usati sono quelli che hanno forma geometrica a U, L e Z.

In genere i compensatori a U devono essere realizzati appositamente, mentre i compensatori a L, oppure a Z, possono essere ricavati anche dal normale percorso delle tubazioni, posizionando opportunamente i punti fissi e le guide di scorrimento.

I diagrammi DGR.2, DGR.3 e DGR.4 consentono di dimensionare i compensatori del tipo a U, L e Z in relazione al loro diametro e al valore della dilatazione da compensare.

DGR. 2
Compensatori a U





Esempio:

Determinare le dimensioni di un compensatore naturale a U, considerando: diametro del tubo = 4", lunghezza = 100 m, temperatura di installazione = 10°C, temperatura di esercizio = 90°C.

Soluzione:

La dilatazione termica del tubo in esame si può determinare con la formula (1), oppure mediante il relativo diagramma DGR. 1. Con la formula (1) si ha: $\Delta L = 0{,}0114 \cdot 100 \cdot (90 - 10) = 91{,}2$ mm.

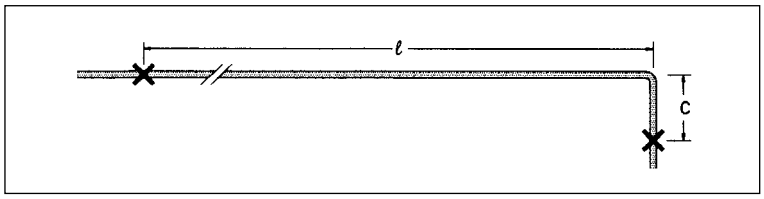
tubo messo in opera senza pretensione:

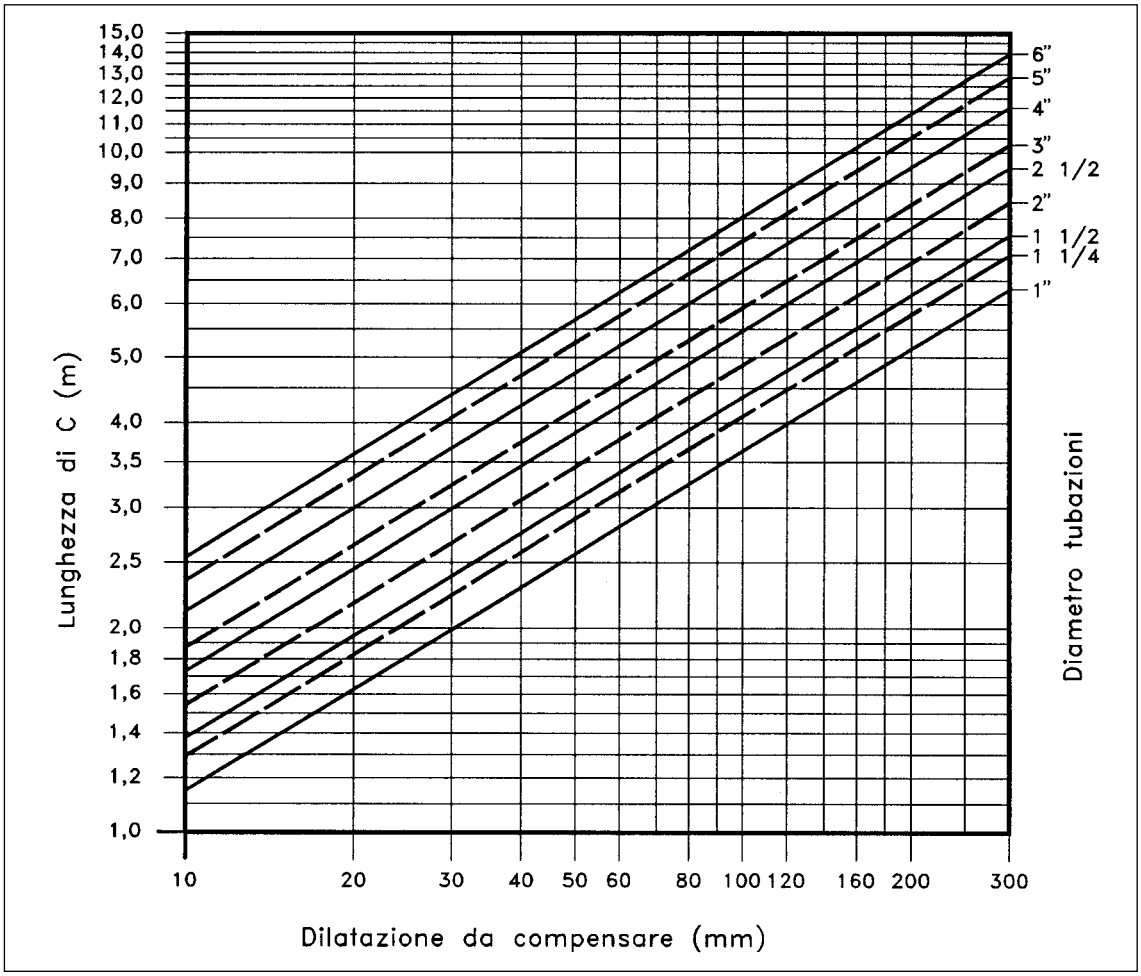
La dilatazione che il compensatore deve assorbire risulta: $\Delta L = 91{,}2$ mm.
Dal DGR. 2 si deducono le lunghezze minime dei bracci di compensazione: A ≈ 3,3 m; B ≈ 1,65 m.

tubo messo in opera con pretensione:

Mettendo in opera il tubo con una pretensione tale da determinare un allungamento del tubo stesso pari a $\Delta L/2$, la dilatazione da assorbire risulta: $\Delta L/2 = 45{,}6$ mm.
Dal DGR. 2 si deducono le lunghezze minime dei bracci di compensazione: A ≈ 2,4 m; B ≈ 1,2 m.

DGR. 3
Compensatori a L





Esempio:

Determinare le dimensioni di un compensatore naturale a L considerando: diametro del tubo = 4", lunghezza = 100 m, temperatura di installazione = 10°C, temperatura di esercizio = 90°C.

Soluzione:

La dilatazione termica del tubo in esame si può determinare con la formula (1), oppure mediante il relativo diagramma (DGR. 1). Con la formula (1) si ha: $\Delta L = 0{,}0114 \cdot 100 \cdot (90 - 10) = 91{,}2$ mm.

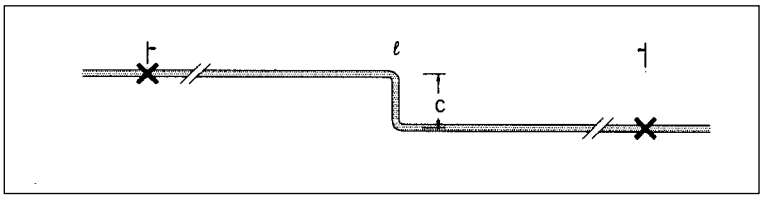
tubo messo in opera senza pretensione:

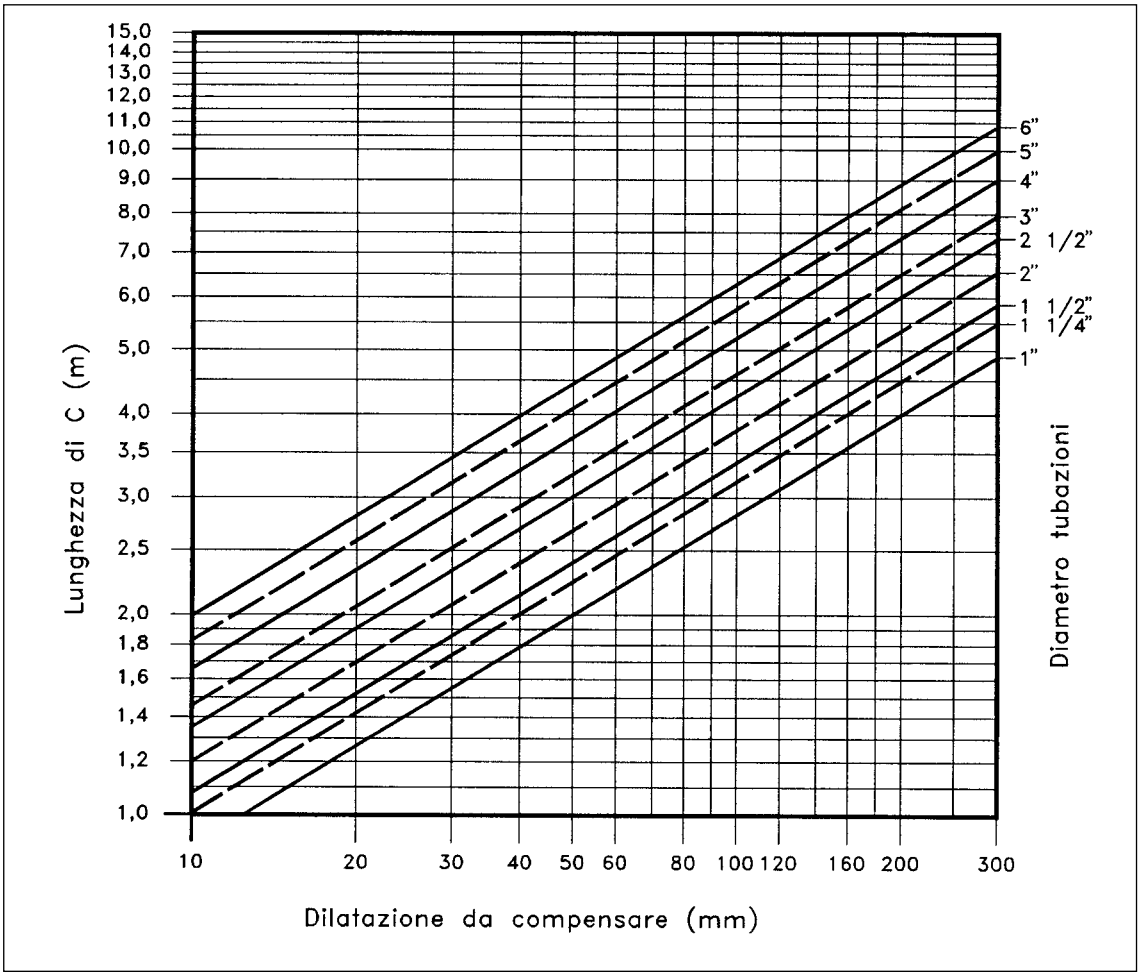
La dilatazione che il compensatore deve assorbire risulta: $\Delta L = 91{,}2$ mm.
Dal DGR. 3 si deduce la lunghezza minima del braccio di compensazione: $C \approx 6{,}4$ m.

tubo messo in opera con pretensione:

Mettendo in opera il tubo con una pretensione tale da determinare un allungamento del tubo stesso pari a $\Delta L/2$, la dilatazione da assorbire risulta: $\Delta L/2 = 45{,}6$ mm.
Dal DGR. 3 si deduce la lunghezza minima del braccio di compensazione: $C \approx 4{,}5$ m.

DGR. 4
Compensatori a Z





Esempio:

Determinare le dimensioni di un compensatore naturale a Z considerando: diametro del tubo = 4", lunghezza = 100 m, temperatura di installazione = 10°C, temperatura di esercizio = 90°C.

Soluzione:

La dilatazione termica del tubo in esame si può determinare con la formula (1), oppure mediante il relativo diagramma (DGR. 1). Con la formula (1) si ha: $\Delta L = 0{,}0114 \cdot 100 \cdot (90 - 10) = 91{,}2$ mm.

tubo messo in opera senza pretensione:

La dilatazione che il compensatore deve assorbire risulta : $\Delta L = 91{,}2$ mm
Dal DGR. 4 si deduce la lunghezza minima del braccio di compensazione: $C \approx 5{,}0$ m.

tubo messo in opera con pretensione:

Mettendo in opera il tubo con una pretensione tale da determinare un allungamento del tubo stesso pari a $\Delta L/2$, la dilatazione da assorbire risulta: $\Delta L/2 = 45{,}6$ mm.
Dal DGR. 4 si deduce la lunghezza minima del braccio di compensazione: $C \approx 3{,}5$ m.

COMPENSATORI ARTIFICIALI

Sono dispositivi meccanici, deformabili con facilità, appositamente costruiti per poter assorbire le dilatazioni termiche dei tubi.

Commercialmente sono disponibili nei tipi: a soffietto metallico, in gomma, a telescopio e a tubo flessibile.

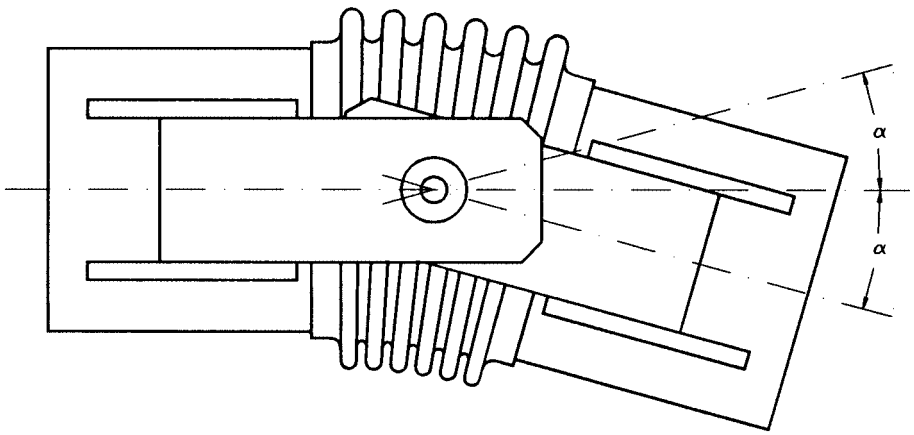
COMPENSATORI A SOFFIETTO METALLICO

Sono tratti di condotto costituiti principalmnente da una parete metallica ondulata e deformabile, simile ad un soffietto.

Assicurano una buona tenuta (anche con forti pressioni e con temperature elevate), non sono ingombranti e hanno la possibilità di compiere un'ampia gamma di movimenti.

Per queste loro caratteristiche, i compensatori a soffietto metallico sono molto utilizzati negli impianti sanitari e di riscaldamento.

Secondo il tipo di movimento si classificano in: assiali, laterali e angolari.



Compensatore a soffietto metallico

COMPENSATORI IN GOMMA

Sono dispositivi di compensazione costituiti essenzialmente da un tratto di condotto in gomma con superficie a “onda” semplice o multipla.

Sono in grado di assicurare compensazioni assiali, laterali e angolari. Sono, inoltre, particolarmente utili per assorbire le vibrazioni e per interrompere la continuità metallica.

Questi compensatori non sono utilizzabili né con alte temperature (temperatura massima 100÷105°C), né con elevate pressioni (pressione massima 8÷10 atm) e neppure con quei fluidi che, per le loro caratteristiche fisico-chimiche, non possono essere convogliati in condotti di gomma.

COMPENSATORI TELESCOPICI

Sono realizzati con due tubi coassiali liberi di scorrere fra loro come gli elementi del tubo di un telescopio. La tenuta idraulica è ottenuta con una o più guarnizioni in materiale elastico.

I compensatori telescopici possono essere utilizzati solo con pressioni limitate e con movimenti delle tubazioni rigorosamente assiali.
Se i movimenti delle tubazioni non sono assiali, i tubi interni dei compensatori tendono ad “impuntarsi”, compromettendo così l’efficienza della tenuta idraulica.

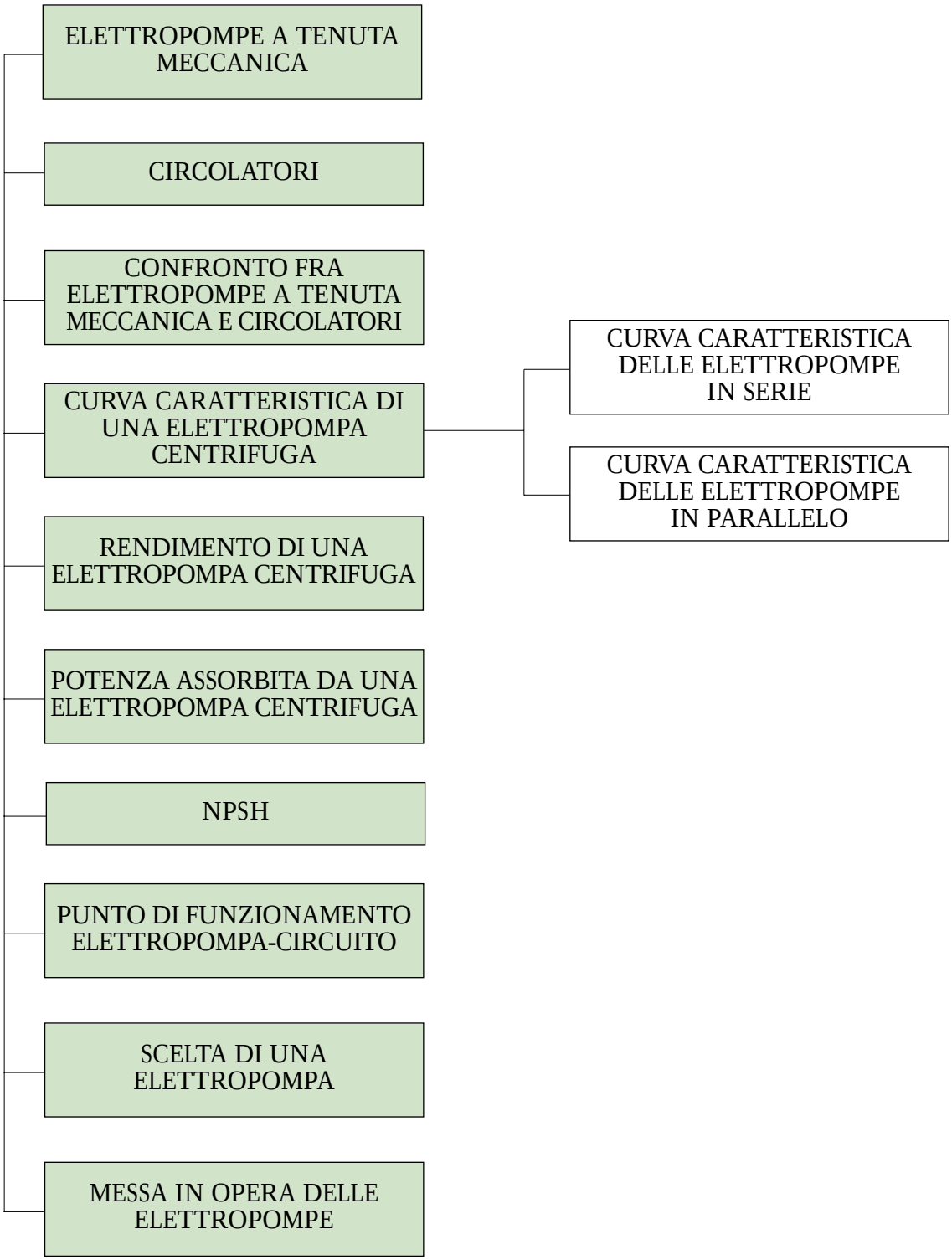
COMPENSATORI A TUBO FLESSIBILE

Sono dei semplici tubi flessibili.

Devono essere installati perpendicolarmente alla direzione in cui avviene la dilatazione termica.

I compensatori a tubo flessibile sono utilizzati soprattutto per assorbire le dilatazioni dei tubi piccoli e medi. Con i tubi di elevato diametro, questi compensatori risultano troppo ingombranti.

ELETTROPOMPE



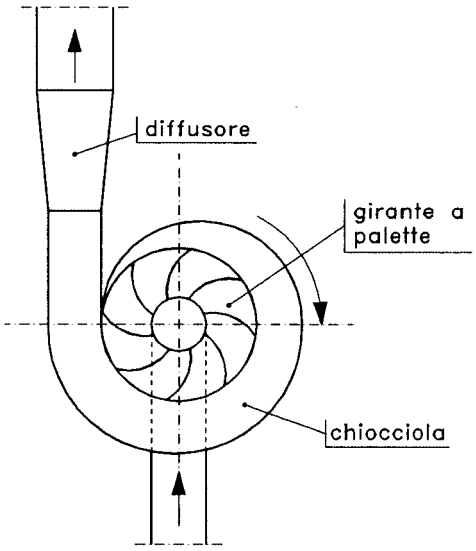
Le elettropompe sono macchine che utilizzano l'energia meccanica fornita da un motore elettrico per sollevare un liquido, oppure per farlo circolare in una tubazione.

In base al tipo di costruzione e al modo in cui trasmettono l'energia al fluido, le elettropompe possono essere: volumetriche, centrifughe, ad elica e rotative.

Negli impianti idro-termosanitari si usano, in pratica, solo elettropompe centrifughe; l'impiego di altri tipi di pompa è limitato ad applicazioni del tutto particolari e secondarie.

Le parti principali di una elettropompa centrifuga sono:

- la girante a palette, che ruotando velocemente genera una depressione nella sua zona centrale (occhio della pompa) e una pressione nella zona periferica: genera, cioè, le cause di moto del fluido;
- la chiocciola, che serve a raccogliere l'acqua proveniente dai vari canali delimitati dalle palette della girante;
- il diffusore, che trasforma l'energia cinetica dovuta alla velocità in energia di pressione.

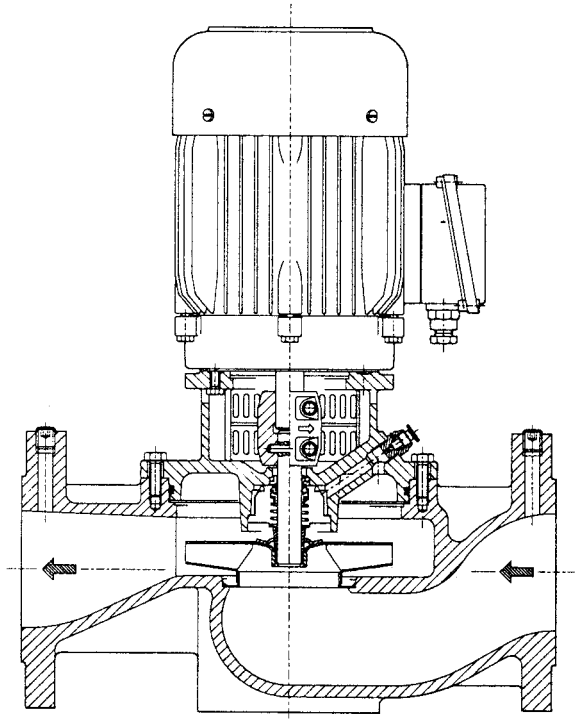


Schema funzionale di una elettropompa centrifuga

ELETTROPOMPE A TENUTA MECCANICA

Nel linguaggio tecnico, spesso, sono chiamate semplicemente “elettropompe”, senza altra specificazione.
Sono costituite da due parti ben differenziate fra loro: il motore elettrico e il corpo della pompa.

Il motore elettrico è collegato alla girante per mezzo di un albero di trasmissione.
La tenuta idraulica fra l’albero e il corpo della pompa è assicurata da appositi supporti meccanici o da premistoppa.



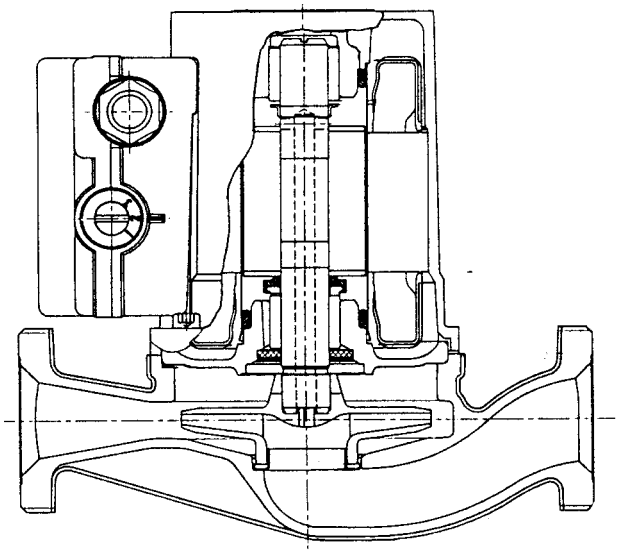
Sezione di una elettropompa a tenuta meccanica

I settori di maggior utilizzo delle elettropompe a tenuta meccanica sono: gli impianti di riscaldamento e di condizionamento, le reti di distribuzione dell’acqua sanitaria (sopraelevazione dell’acqua, reti di ricircolo, ecc..), gli impianti di irrigazione e di smaltimento dei liquami.

Queste pompe possono funzionare in un vasto campo di prevalenze e di portate. Per prevalenze elevate si usano elettropompe con piu giranti montate sullo stesso albero e disposte in modo da essere percorse in serie dal liquido pompato.

CIRCOLATORI

La caratteristica principale di queste elettropompe è che in esse il motore viene alloggiato nel corpo della pompa.
In particolare la parte mobile del motore (il rotore) risulta immersa direttamente nel liquido da pompare; non sono pertanto richiesti organi di tenuta idraulica su parti in movimento.
Per questa loro caratteristica, i circolatori sono chiamati anche "pompe a rotore bagnato".



Sezione di un circolatore

I circolatori vengono utilizzati soprattutto in impianti di riscaldamento e di ricircolo dell'acqua calda.
Si possono utilizzare anche in impianti di condizionamento e di circolazione dell'acqua refrigerata; in questi casi, però, i circolatori devono avere caratteristiche costruttive tali da renderli resistenti alla condensa.

Il motore dei circolatori è spesso ad avvolgimento multiplo e quindi queste elettropompe possono funzionare a diverse velocità.

CONFRONTO FRA POMPE A TENUTA MECCANICA E CIRCOLATORI

Rispetto ai circolatori, le elettropompe a tenuta meccanica offrono i seguenti vantaggi:

- minor costo (i circolatori costano di più perchè la loro realizzazione meccanica è più complessa);
- rendimento medio più elevato (vedere parametri di confronto al capitolo RENDIMENTO);
- campo di scelta più ampio (i normali circolatori hanno portate massime di 80÷90 m^3/h);
- nessun pericolo di grippaggio del motore per incrostazioni di calcare o per impurità presenti nell'acqua (inconveniente che può verificarsi fra il rotore e il canotto dei circolatori);
- non necessitano di configurazioni particolari per poter pompare acqua fredda o refrigerata.

Per contro i circolatori possono assicurare le seguenti migliori prestazioni:

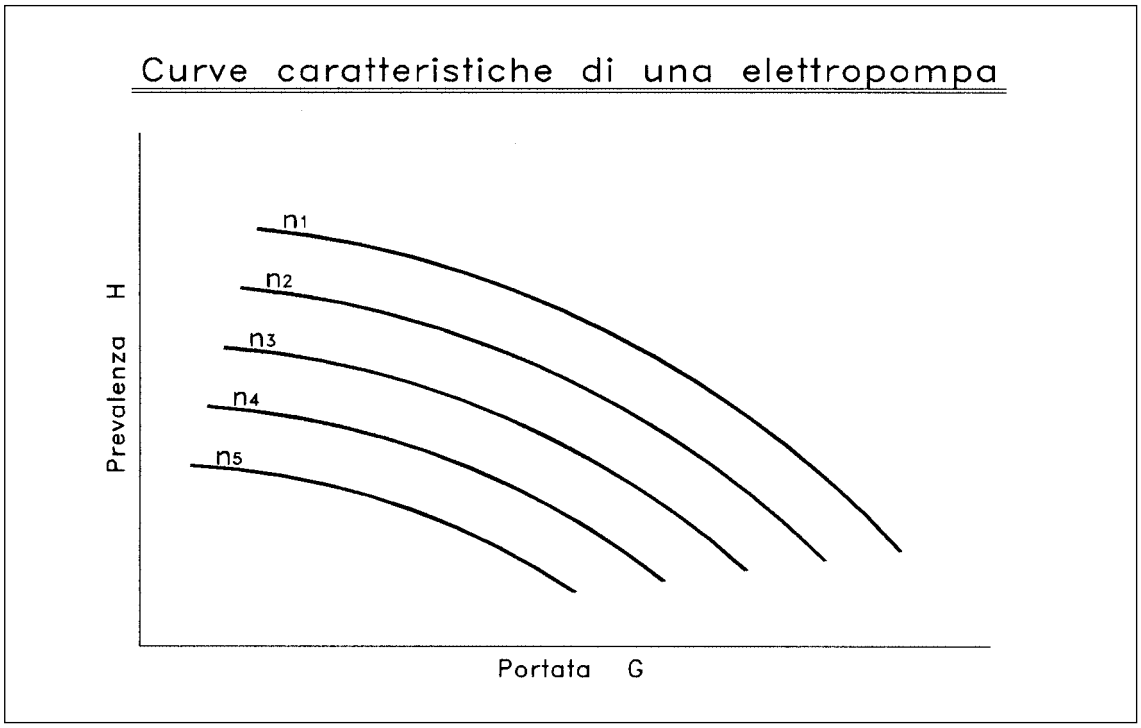
- possibilità di scegliere più curve di funzionamento (i normali circolatori ne hanno tre o quattro);
- minore rumorosità, dovuta ad una miglior lubrificazione dei cuscinetti e ad un minor livello di vibrazioni (albero più corto);
- minor interventi di manutenzione (nei circolatori non esistono organi di tenuta su parti in movimento; non esistono, cioè, parti che - per il loro impiego - possono facilmente usurarsi);
- minor ingombro e quindi maggior facilità di messa in opera (la stretta connessione fra il motore elettrico e il corpo pompa, consente di realizzare modelli molto compatti).

CURVA CARATTERISTICA DI UNA ELETTROPOMPA CENTRIFUGA

Rappresenta graficamente i valori delle grandezze (portata e prevalenza) che caratterizzano le prestazioni di una elettropompa centrifuga.

Ogni elettropompa centrifuga ha una sua curva caratteristica ben definita, che viene determinata sperimentalmente.

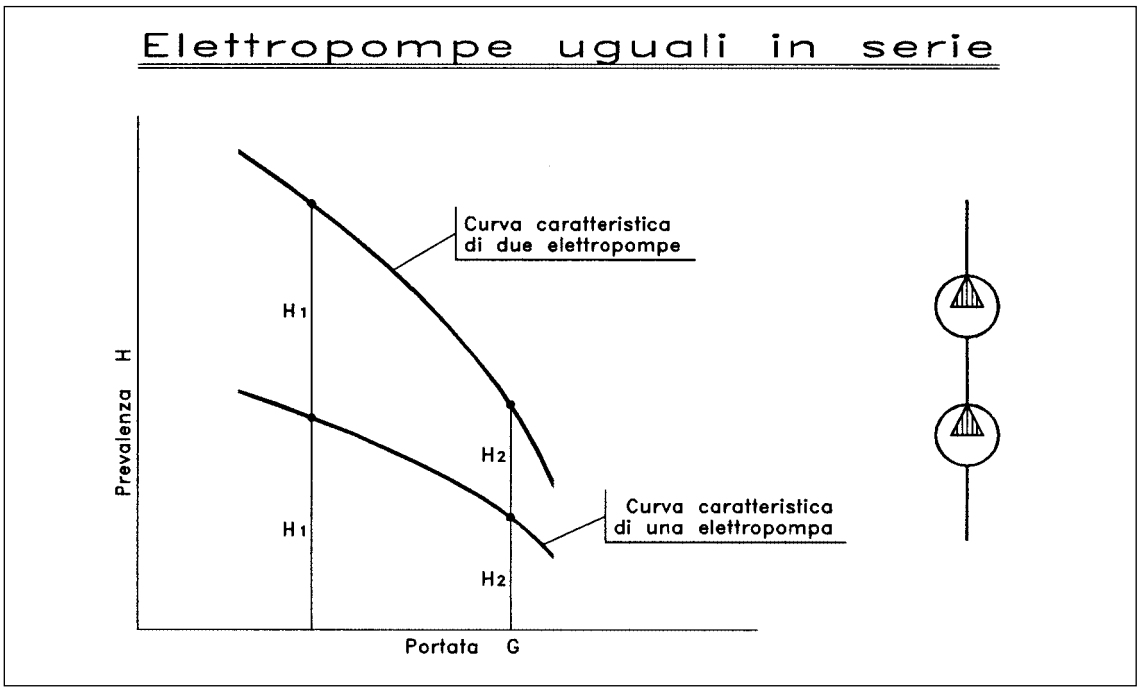
Variando il numero di giri di una elettropompa centrifuga , varia anche la sua curva caratteristica; la nuova curva risulta più alta o più bassa della primitiva a seconda che il numero di giri sia aumentato o diminuito.
Le varie curve caratteristiche di una elettropompa centrifuga risultano, inoltre, congruenti fra loro, cioè si possono ottenere l'una dall'altra per semplice traslazione.



Quando le curve caratteristiche delle elettropompe disponibili non corrispondono ai valori richiesti è possibile ricorrere all'accoppiamento di due o piu elettropompe uguali.
In relazione alle caratteristiche richieste, l'accoppiamento può farsi in serie o in parallelo.

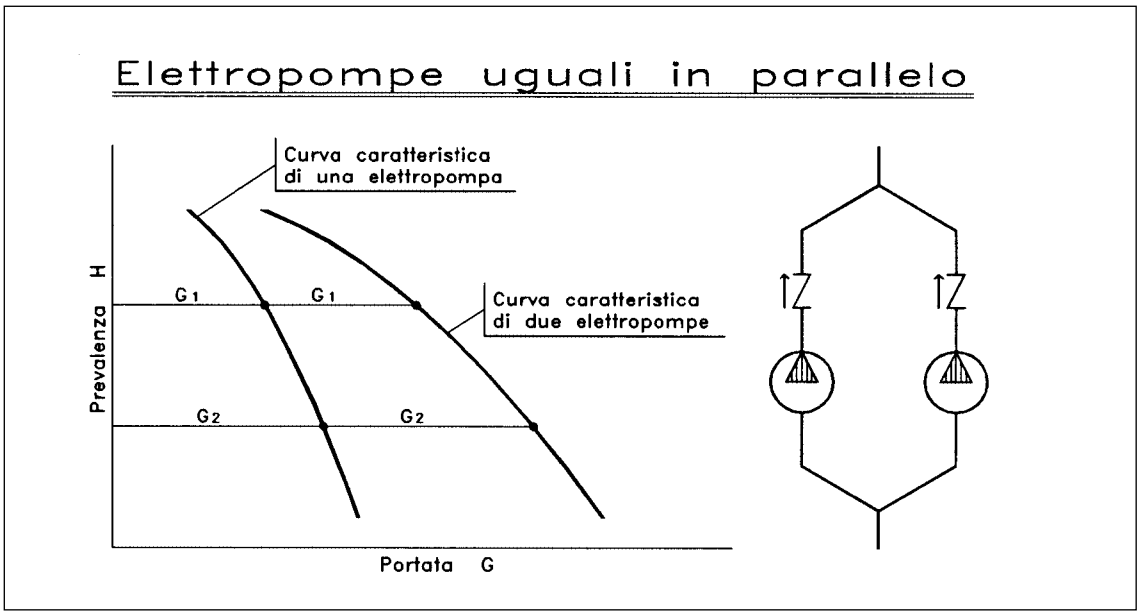
CURVA CARATTERISTICA DELLE ELETTROPOMPE IN SERIE

Le prevalenze si sommano, mentre la portata rimane costante.



CURVA CARATTERISTICA DELLE ELETTROPOMPE IN PARALLELO

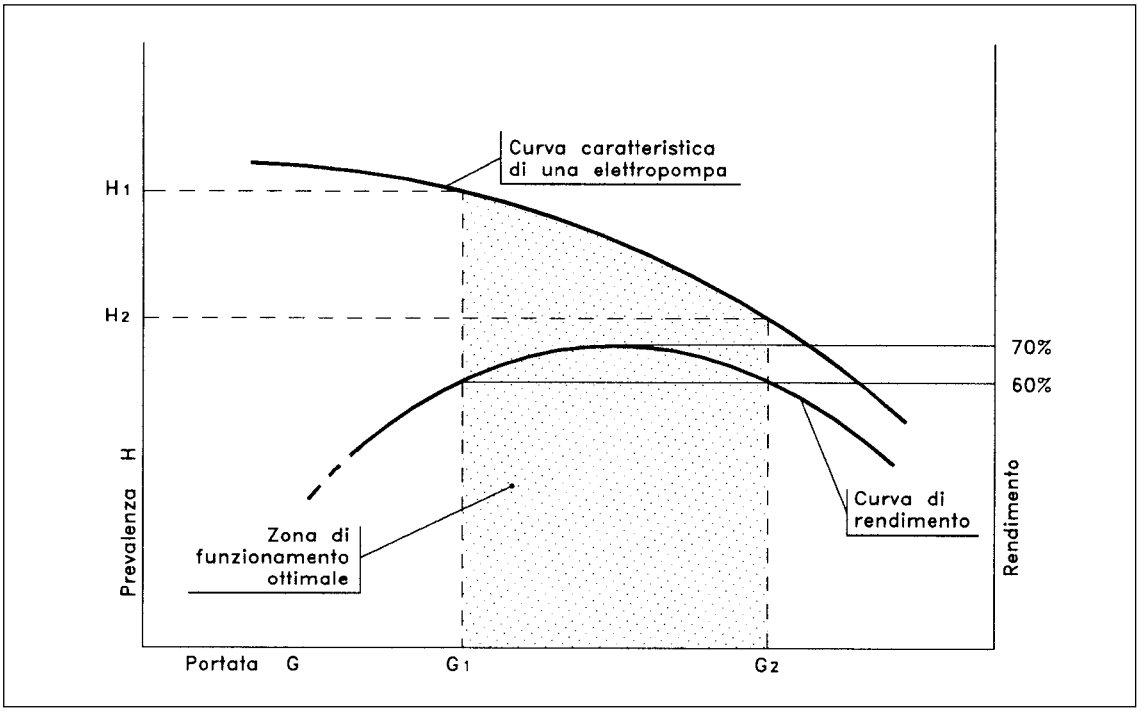
Le portate si sommano, mentre la prevalenza rimane costante.



RENDIMENTO DI UNA ELETTROPOMPA CENTRIFUGA

E' il rapporto fra la potenza resa dall'elettropompa e la potenza ad essa fornita. Si può rappresentare graficamente in relazione al variare della portata.

Sovrapponendo la curva di rendimento a quella caratteristica, è possibile delimitare la zona in cui l'elettropompa funziona in condizioni ottimali.



La TAB.1 e la TAB.2 riportano i **rendimenti medi** delle elettropompe a tenuta meccanica e dei circolatori.

TAB. 1 - Rendimento medio delle elettropompe a tenuta meccanica

Potenza fornita alla pompa	rendimento medio
fino a 1,5 kW	dal 30 al 65%
da 1,5 kW fino a 7,5 kW	dal 35 al 75%
da 7,5 kW fino a 45,0 kW	dal 40 al 75%

TAB. 2 - Rendimento medio dei circolatori

Potenza fornita al circolatore	rendimento medio
fino a 100 W	dal 10 al 25%
da 100 W fino a 500 W	dal 20 al 40%
da 500 W fino a 2.500 W	dal 30 al 50%

POTENZA ASSORBITA DA UNA ELETTROPOMPA

E' una grandezza che dipende dalle caratteristiche di lavoro (portata e prevalenza) della pompa stessa e può essere rappresentata graficamente con una curva che varia in funzione della portata.

Noto il rendimento, la potenza assorbita da una elettropompa può essere calcolata anche con la formula:

$$P = \frac{\rho \cdot G \cdot H}{367{,}2 \cdot \eta} \qquad (1)$$

dove: P = potenza assorbita dalla pompa, kW
ρ = massa volumica del fluido, kg/dm³
G = portata, m³/h
H = prevalenza, m c.a.
η = rendimento, adimensionale

Nel caso in cui il fluido pompato sia acqua, la formula (1) può essere, con buona approssimazione, così semplificata:

$$P = \frac{G \cdot H}{367 \cdot \eta} \qquad (2)$$

NPSH

Sono le iniziali di Net Positive Suction Head, un'espressione inglese che si può tradurre con: carico netto sull'aspirazione.

I valori di NPSH (forniti dai costruttori delle pompe) rappresentano la pressione minima che deve essere garantita, all'ingresso della pompa, per evitare fenomeni di cavitazione: per evitare, cioè, che si formino "cave" o bolle di vapore all'interno del fluido pompato.

I fenomeni di cavitazione sono causa di elevata rumorosità e possono provocare anche la rottura delle giranti.

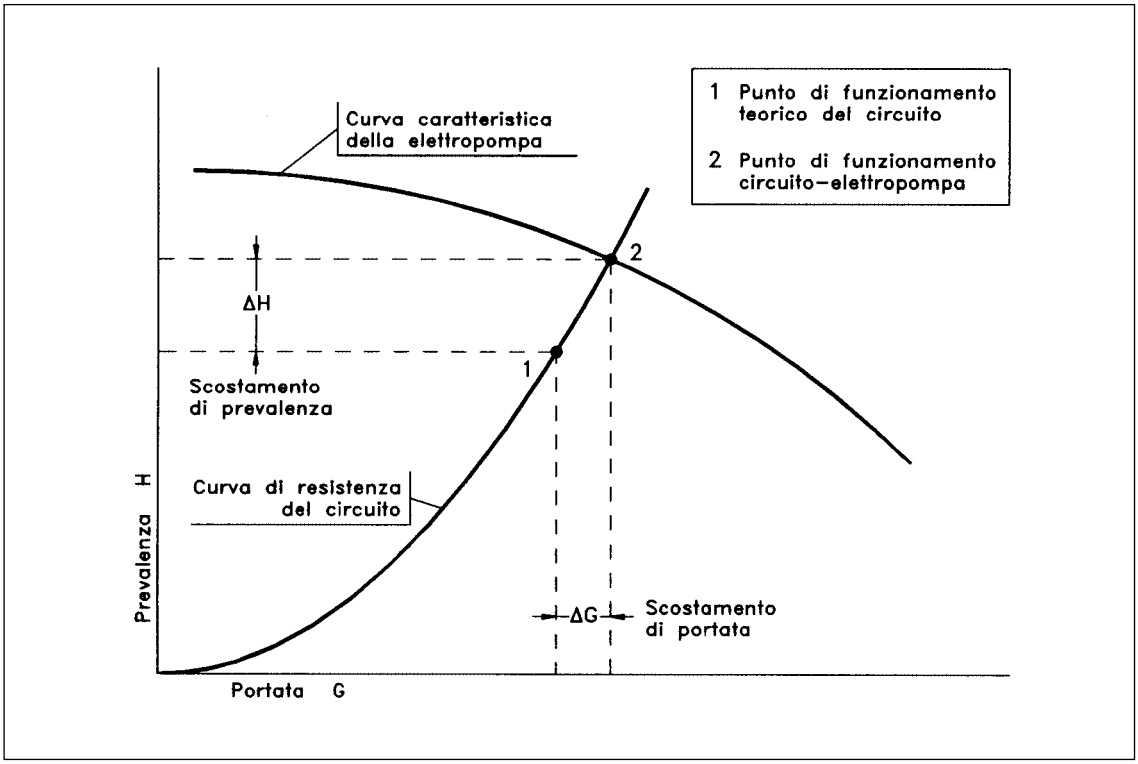
PUNTO DI FUNZIONAMENTO ELETTROPOMPA-CIRCUITO

Il punto di funzionamento (o di lavoro) di una elettropompa applicata ad un circuito è dato dalla intersezione tra la curva caratteristica della pompa e la curva di resistenza del circuito.

La curva caratteristica di una elettropompa è fornita dal costruttore.

La curva di resitenza del circuito è, invece, rappresentabile (in coordinate portata-prevalenza) mediante una parabola.
In un circuito chiuso, tale parabola ha vertice nell'origine e passa per il punto teorico di funzionamento del circuito, cioè per il punto che rappresenta la portata e la prevalenza di calcolo del circuito stesso.

Lo sviluppo a parabola della curva di resistenza è dovuto al fatto che, in un circuito, le perdite di carico, sia continue che localizzate, sono sensibilmente proporzionali al quadrato delle portate (vedere voci PERDITE DI CARICO CONTINUE e LOCALIZZATE).



SCELTA DI UNA ELETTROPOMPA

La scelta di una elettropompa deve essere fatta in modo che il suo punto di lavoro risulti:

1. vicino al punto di funzionamento teorico del circuito;
2. interno alla zona di rendimento ottimale della pompa stessa.

Si deve inoltre controllare che le caratteristiche e le prestazioni della elettropompa siano adeguate alle esigenze del circuito utilizzatore. Ad esempio, si deve verificare:

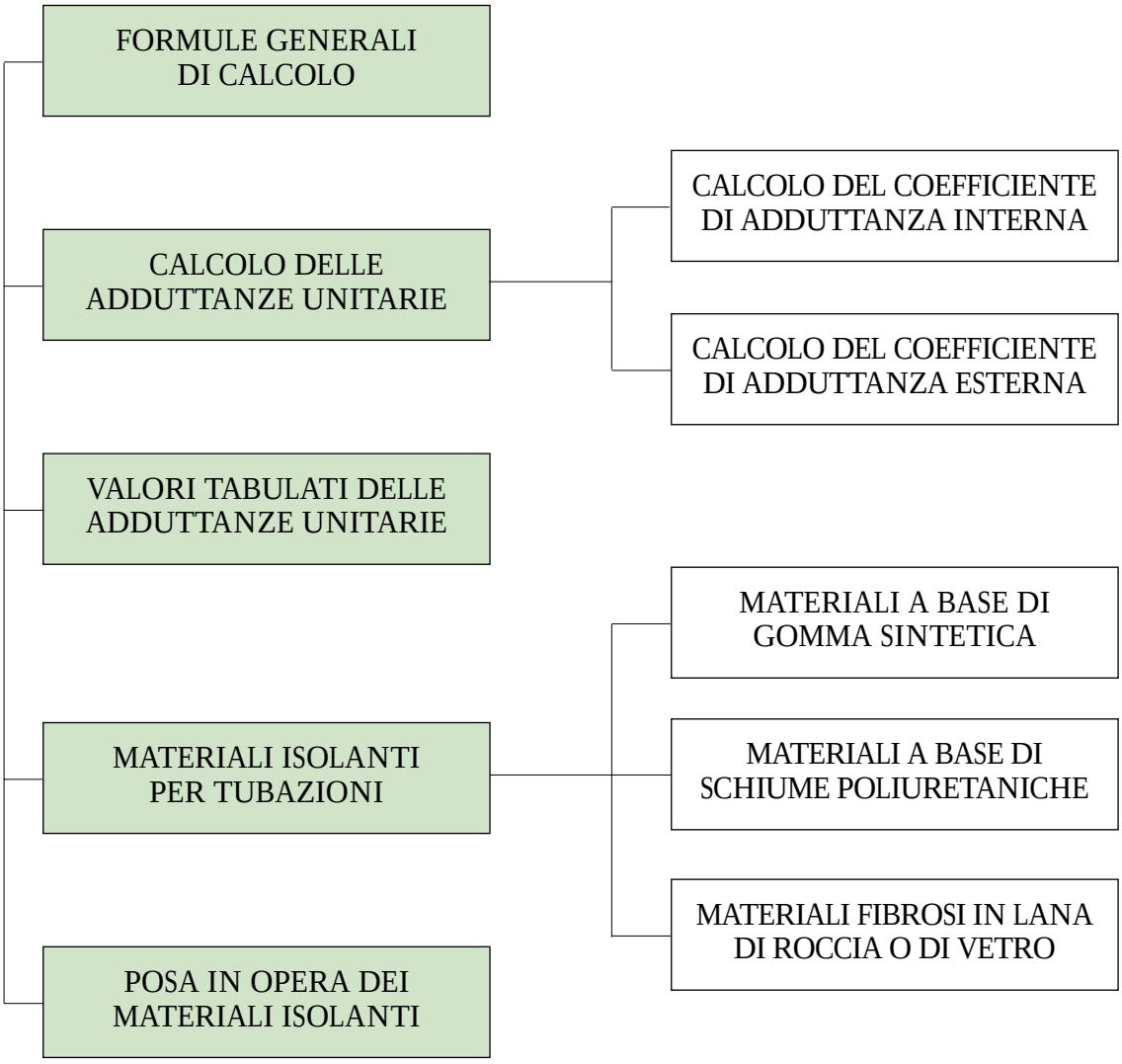
- il livello di rumorosità, in particolar quando la pompa è installata vicino ad ambienti per cui sono richiesti bassi valori del livello sonoro;
- la resistenza alla condensa, per i circuiti che convogliano acqua fredda o refrigerata;
- la resistenza ai liquidi antigelo, specie quando si hanno circuiti esterni (ad esempio negli impianti a pannelli solari) che richiedono miscele con elevate quantità di antigelo;
- il valore di NPSH, nei circuiti con bassa pressione sulla bocca di aspirazione, e quindi in particolar modo:
  - negli impianti idrici, quando si pompa acqua aspirandola da un serbatoio a pelo libero;
  - negli impianti di riscaldamento a vaso aperto con limitata pressione statica;
  - negli impianti di riscaldamento a vaso chiuso con centrale termica posta su terrazza.

MESSA IN OPERA DELLE ELETTROPOMPE

E' consigliabile prevedere la messa in opera delle elettropompe con:

- valvole di intercettazione, da porre a monte e a valle di ogni pompa per facilitare interventi di manutenzione;
- giunti antivibranti (solo per pompe medio-grandi) al fine di evitare che le vibrazioni delle pompe possano essere trasmesse alle reti di distribuzione;
- manometri, da installare prima e dopo ogni pompa per facilitare gli interventi di controllo e di manutenzione:
  - una diminuzione della pressione differenziale segnala che la girante è logora o che i passaggi tra le palette sono ostruiti;
  - l'oscillazione degli indici è generalmente segno della presenza di aria nell'impianto.

ISOLAMENTO TERMICO DELLE TUBAZIONI



L'isolamento delle tubazioni serve a limitare le dispersioni termiche del fluido in esse contenuto, e di conseguenza consente di:

- evitare superfici esterne troppo calde in grado di provocare scottature, specie negli impianti ad acqua surriscaldata, a vapore o ad olio diatermico;
- contenere i costi di gestione degli impianti;
- impedire i fenomeni di condensa che si verificano quando la temperatura della superficie esterna delle tubazioni è inferiore alla temperatura di rugiada dell'aria.

FORMULE GENERALI DI CALCOLO

Gli scambi termici di un tubo nudo con l'ambiente esterno si calcolano con la formula:

$$Q = \frac{\pi \cdot (t_2 - t_1)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_2}} \qquad (1)$$

mentre gli scambi termici di un tubo rivestito con uno strato uniforme e omogeneo di materiale isolante si possono così determinare:

$$Q = \frac{\pi \cdot (t_2 - t_1)}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3}} \qquad (2)$$

In entrambi i casi, la temperatura superficiale esterna si calcola con l'equazione:

$$t_s = \frac{Q}{\pi \cdot d_e \cdot \alpha_2} + t_2 \qquad (3)$$

dove: Q = dispersione calorica oraria di un tubo lungo 1 metro, kcal/h · m

α_1 = adduttanza unitaria della superficie interna, kcal/(h · m² · °C)
α_2 = adduttanza unitaria della superficie esterna, kcal/(h · m² · °C)

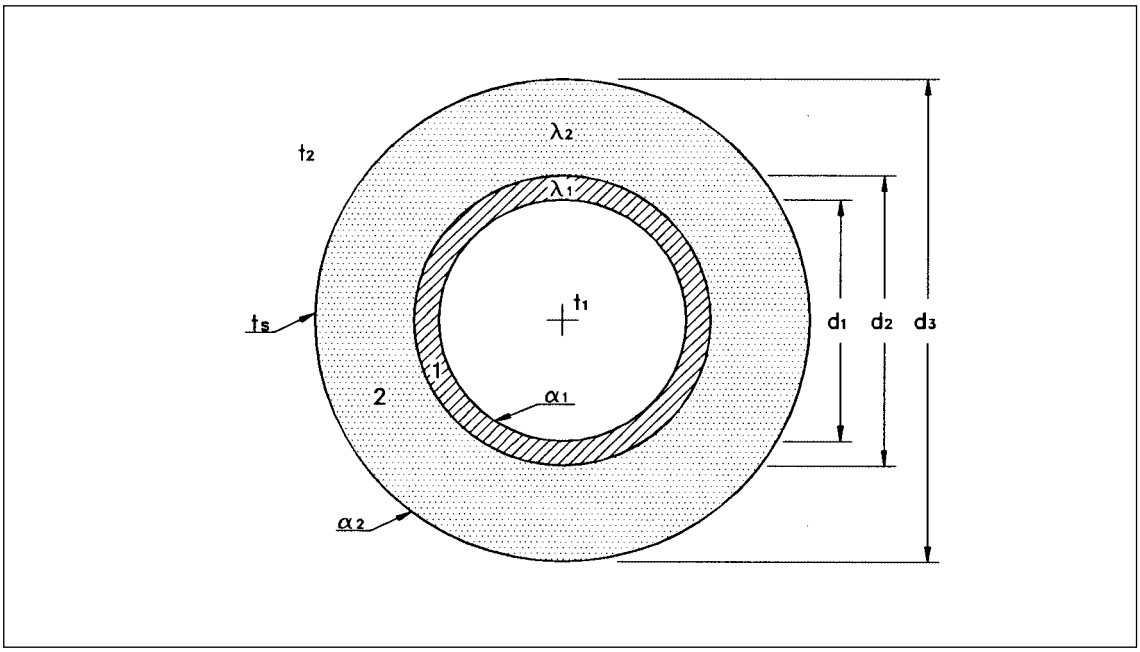
λ_1 = conduttività del materiale costituente il tubo, kcal/(h · m · °C)
λ_2 = conduttività del materiale isolante, kcal/(h · m · °C)

t_1 = temperatura del fluido interno, °C
t_2 = temperatura del fluido esterno, °C
t_s = temperatura della superficie esterna, °C

d_1 = diametro interno del tubo, m
d_2 = diametro esterno del tubo, m
d_3 = diametro esterno del tubo isolato, m

d_e = diametro dello strato superficiale esterno
$d_e = d_2$ per tubo nudo
$d_e = d_3$ per tubo isolato

ln = logaritmo naturale



Nelle formule (1), (2) e (3), sono presenti due fattori (il coefficiente di adduttanza interna α_1 e il coefficiente di adduttanza esterna α_2) che dipendono da complessi fenomeni di convezione e di irraggiamento. Il loro valore si può determinare con formule, con tabelle o con grafici tridimensionali.

La determinazione di questi fattori con formule - anche se semplificate - è in pratica da riservarsi solo allo sviluppo di programmi per calcolatori. Il valore di α_2 dipende, infatti, dalla temperatura superficiale esterna t_s e si può quindi determinare soltanto con procedimenti di calcolo ad approssimazioni successive.

CALCOLO DELLE ADDUTTANZE UNITARIE

Di seguito sono riportate alcune formule semplificate che consentono di determinare, con buona approssimazione, i valori dei coefficienti di adduttanza unitaria α_1 e α_2.

CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ADDUTTANZA INTERNA

Il valore di α_1 dipende dagli scambi termici di natura convettiva che si realizzano fra il fluido e la parete interna del tubo. Esso varia in relazione al tipo di moto del fluido (vedere voce PERDITE DI CARICO LINEARI) e può essere determinato mediante le seguenti formule:

- 1° caso - fluido fermo o in moto laminare

$$\alpha_1 = 900 \cdot (1 + 0{,}001 \cdot t_1)$$

- 2° caso - fluido in moto transitorio o turbolento

$$\alpha_1 = M \cdot \frac{(v_1)^{0,8}}{(d_1)^{0,2}}$$

dove: v_1 = velocità del fluido interno al tubo, m/s
d_1 = diametro interno del tubo, m
t_1 = temperatura del fluido interno, °C
M = costante caratteristica del fluido interno:

Per l'acqua il valore di M si può ottenere con la relazione: $M = 1290 \cdot (1 + 0{,}012 \cdot t_1)$

CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ADDUTTANZA ESTERNA

Il valore di α_2 dipende da scambi termici dovuti all'irraggiamento e alla convezione.

Dato che questi fenomeni di trasmissione del calore sono in pratica indipendenti fra loro, α_2 risulta calcolabile mediante la somma dei coefficienti di adduzione unitaria che tengono conto separatamente sia dell'irraggiamento, sia della convezione. Cioè risulta calcolabile mediante la somma dei coefficienti:

- α_{2r} = coefficiente di adduzione unitaria della superficie esterna, dovuto all'irraggiamento, kcal/(h · m² · °C)
- α_{2c} = coefficiente di adduzione unitaria della superficie esterna, dovuto alla convezione, kcal/(h · m² · °C)

Determinazione di α_{2r}

Il coefficiente di adduzione unitaria dovuto all'irraggiamento può essere calcolato con la formula:

$$\alpha_{2r} = \frac{5}{10^{8}} \cdot \frac{(T_s)^4 - (T_2)^4}{t_s - t_2}$$

dove: T_2 = temperatura assoluta del fluido esterno, K
T_s = temperatura assoluta della superficie esterna, K
t_2 = temperatura del fluido esterno, °C
t_s = temperatura della superficie esterna, °C

Determinazione di α_{2c}

Il coefficiente di adduzione unitaria dovuto alla convezione può essere determinato mediante una delle seguenti relazioni:

- 1° caso - per tubi posti orizzontalmente con: $d_2 \cdot (t_s - t_2) < 1$

$$\alpha_{2c} = 1{,}14 \cdot \frac{(t_s - t_2)^{0{,}25}}{(d_2)^{0{,}25}}$$

- 2° caso - per tubi posti orizzontalmente con: $d_2 \cdot (t_s - t_2) > 1$

$$\alpha_{2c} = 1{,}30 \cdot (t_s - t_2)^{0{,}33}$$

- 3° caso - per tubi verticali di altezza L (m) con: $L \cdot (t_s - t_2) < 1$

$$\alpha_{2c} = 1{,}20 \cdot \frac{(t_s - t_2)^{0{,}25}}{L^{0{,}25}}$$

- 4° caso - per tubi verticali di altezza L (m) con: $L \cdot (t_s - t_2) > 1$

$$\alpha_{2c} = 1{,}33 \cdot (t_s - t_2)^{0{,}33}$$

VALORI TABULATI DELLE ADDUTTANZE UNITARIE

Sono i valori di solito utilizzati per calcolare manualmente le dispersioni termiche dei tubi e le temperature delle superfici esterne.

Coefficiente di adduttanza interna

Con acqua come fluido interno, il coefficiente di adduttanza interna α_1 è variabile da 900 a 1.000 kcal/(h · m^2 · °C).

Tale valore è talmente elevato da rendere praticamente trascurabile il fattore:

$$\frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1}$$

riportato al denominatore nelle formule (1) e (2).

Coefficiente di adduttanza esterna

Di seguito sono riportati i valori del coefficiente di adduttanza esterna α_2 validi per tubazioni che convogliano acqua in ambienti con aria in quiete.

TAB. 1 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m^2 · °C)
TEMPERATURA ACQUA SURRISCALDATA = 140°C

diam. est. mm	TUBI NUDI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria				TUBI ISOLATI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria			
	20°C	10°C	0°C	-10°C	20°C	10°C	0°C	-10°C
10	19,7	19,6	19,6	19,5	9,7	9,4	9,2	8,9
15	18,5	18,5	18,4	18,3	9,7	9,4	9,2	9,0
20	17,8	17,7	17,6	17,5	9,1	8,8	8,5	8,3
30	16,8	16,7	16,6	16,5	8,6	7,3	8,1	7,8
40	16,2	16,1	16,0	15,9	8,3	8,0	7,7	7,4
50	15,7	15,6	15,5	15,4	8,3	8,0	7,7	7,4
60	15,4	15,3	15,1	15,0	8,2	7,9	7,6	7,4
80	14,9	14,7	14,6	14,4	7,8	7,4	7,2	6,9
100	14,5	14,3	14,2	14,0	7,7	7,4	7,1	6,8
150	13,8	13,7	13,5	13,4	7,4	7,0	6,7	6,4
200	13,4	13,2	13,1	12,9	7,1	6,7	6,4	6,2
250	13,1	12,9	12,8	12,6	7,0	6,7	6,4	6,1
300	12,9	12,7	12,5	12,3	7,0	6,6	6,3	6,0
400	12,5	12,3	12,1	12,0	6,8	6,4	6,1	5,8

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 14,7 kcal/(h · m^2 · °C)
Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 7,4 kcal/(h · m^2 · °C)

TAB. 2 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m² · °C)
TEMPERATURA ACQUA SURRISCALDATA = 120°C

diam. est.	TUBI NUDI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria				TUBI ISOLATI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria			
mm	20°C	10°C	0°C	-10°C	20°C	10°C	0°C	-10°C
10	18,4	18,5	18,4	18,4	9,5	9,2	9,0	8,7
15	17,4	17,3	17,3	17,3	9,5	9,2	9,0	8,7
20	16,6	16,6	16,6	16,5	8,9	8,6	8,3	8,1
30	15,7	15,7	15,6	15,5	8,4	8,1	7,9	7,6
40	15,1	15,0	15,0	14,9	8,1	7,8	7,5	7,3
50	14,7	14,6	14,5	14,4	8,1	7,8	7,5	7,3
60	14,4	14,3	14,2	14,1	8,1	7,8	7,5	7,2
80	13,8	13,7	13,6	13,5	7,6	7,3	7,0	6,7
100	13,5	13,4	13,2	13,1	7,6	7,2	7,0	6,7
150	12,9	12,7	12,6	12,5	7,2	6,9	6,6	6,3
200	12,5	12,3	12,2	12,0	7,0	6,6	6,3	6,0
250	12,2	12,0	11,9	11,7	6,9	6,6	6,3	6,0
300	11,9	11,8	11,6	11,5	6,8	6,5	6,2	5,9
400	11,6	11,4	11,3	11,1	6,6	6,3	6,0	5,7

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 13,7 kcal/(h · m² · °C)
Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 7,3 kcal/(h · m² · °C)

TAB. 3 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m² · °C)
TEMPERATURA ACQUA = 80°C

diam. est.	TUBI NUDI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria				TUBI ISOLATI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria			
mm	20°C	10°C	0°C	-10°C	20°C	10°C	0°C	-10°C
10	15,8	16,0	16,1	16,2	8,8	8,6	8,4	8,2
15	14,9	15,0	15,1	15,1	8,8	8,6	8,4	8,2
20	14,3	14,3	14,4	14,4	8,3	8,1	7,9	7,7
30	13,4	13,5	13,5	13,5	7,9	7,7	7,4	7,2
40	12,9	12,9	13,0	13,0	7,6	7,4	7,1	6,9
50	12,5	12,5	12,5	12,5	7,6	7,4	7,1	6,9
60	12,2	12,2	12,2	12,2	7,6	7,3	7,1	6,9
80	11,8	11,8	11,8	11,7	7,2	6,9	6,7	6,4
100	11,5	11,4	11,4	11,4	7,2	6,9	6,6	6,4
150	10,9	10,9	10,8	10,8	6,8	6,6	6,3	6,0
200	10,6	10,5	10,4	10,4	6,6	6,3	6,0	5,8
250	10,3	10,2	10,2	10,1	6,6	6,3	6,0	5,7
300	10,1	10,0	10,0	9,9	6,5	6,2	5,9	5,7
400	9,8	9,7	9,6	9,5	6,3	6,0	5,7	5,5

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 11,8 kcal/(h · m² · °C)
Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,9 kcal/(h · m² · °C)

TAB. 4 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m^2 · °C)
TEMPERATURA ACQUA = 60°C

diam. est. mm	TUBI NUDI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	10°C	0°C	-10°C	TUBI ISOLATI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	10°C	0°C	-10°C
10	14,3	14,6	14,8	15,0	8,4	8,2	8,1	7,9
15	13,5	13,7	13,9	14,0	8,4	8,2	8,1	7,9
20	12,9	13,1	13,2	13,4	7,9	7,7	7,6	7,4
30	12,2	12,3	12,4	12,5	7,6	7,4	7,2	7,0
40	11,7	11,8	11,9	12,0	7,3	7,1	6,9	6,7
50	11,3	11,4	11,5	11,6	7,3	7,1	6,9	6,7
60	11,1	11,2	11,2	11,3	7,3	7,0	6,8	6,6
80	10,7	10,7	10,8	10,8	6,9	6,7	6,4	6,2
100	10,4	10,4	10,5	10,5	6,9	6,6	6,4	6,2
150	9,9	9,9	9,9	9,9	6,6	6,3	6,1	5,8
200	9,6	9,6	9,6	9,5	6,4	6,1	5,9	5,6
250	9,3	9,3	9,3	9,3	6,3	6,1	5,8	5,6
300	9,2	9,1	9,1	9,1	6,3	6,0	5,8	5,5
400	8,9	8,9	8,8	8,8	6,1	5,8	5,6	5,3

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 10,7 kcal/(h · m^2 · °C)
Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,7 kcal/(h · m^2 · °C)

TAB. 5 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m^2 · °C)
TEMPERATURA ACQUA = 40°C

diam. est. mm	TUBI NUDI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	10°C	0°C	-10°C	TUBI ISOLATI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	10°C	0°C	-10°C
10	12,4	13,0	13,4	13,7	7,8	7,7	7,7	7,5
15	11,7	12,2	12,5	12,8	7,8	7,7	7,6	7,5
20	11,2	11,6	11,9	12,2	7,4	7,3	7,2	7,0
30	10,6	11,0	11,2	11,4	7,1	7,0	6,8	6,7
40	10,2	10,5	10,7	10,9	6,9	6,7	6,6	6,4
50	9,9	10,2	10,4	10,5	6,8	6,7	6,5	6,4
60	9,6	9,9	10,1	10,2	6,8	6,7	6,5	6,3
80	9,3	9,6	9,7	9,8	6,5	6,3	6,2	6,0
100	9,1	9,3	9,4	9,5	6,5	6,3	6,1	5,9
150	8,7	8,8	8,9	9,0	6,2	6,0	5,8	5,6
200	8,4	8,5	8,6	8,7	6,1	5,9	5,6	5,4
250	8,2	8,3	8,4	8,4	6,0	5,8	5,6	5,4
300	8,0	8,2	8,2	8,2	6,0	5,8	5,5	5,3
400	7,8	7,9	7,9	7,9	5,8	5,6	5,4	5,1

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 9,6 kcal/(h · m^2 · °C)
Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,3 kcal/(h · m^2 · °C)

TAB. 6 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m² · °C)
TEMPERATURA ACQUA = 10°C

diam. est. mm	TUBI NUDI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	25°C	30°C	35°C	TUBI ISOLATI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	25°C	30°C	35°C
10	10,5	11,3	11,9	12,5	7,2	7,7	8,1	8,4
15	9,9	10,6	11,2	11,7	7,2	7,6	8,0	8,4
20	9,5	10,2	10,7	11,2	6,8	7,3	7,7	8,0
30	9,0	9,6	10,1	10,6	6,6	7,0	7,4	7,7
40	8,6	9,2	9,7	10,1	6,4	6,8	7,2	7,5
50	8,4	9,0	9,4	9,8	6,4	6,8	7,2	7,5
60	8,2	8,7	9,2	9,6	6,4	6,8	7,1	7,5
80	7,9	8,4	8,9	9,2	6,1	6,5	6,9	7,2
100	7,7	8,2	8,6	9,0	6,1	6,5	6,8	7,1
150	7,4	7,8	8,2	8,5	5,9	6,3	6,6	6,9
200	7,1	7,6	7,9	8,2	5,8	6,1	6,4	6,7
250	7,0	7,4	7,7	8,0	5,7	6,1	6,4	6,7
300	6,8	7,2	7,6	7,9	5,7	6,0	6,3	6,7
400	6,7	7,0	7,4	7,6	5,6	5,9	6,2	6,5

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 8,4 kcal/(h · m² · °C)
Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,5 kcal/(h · m² · °C)

TAB. 7 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m² · °C)
TEMPERATURA ACQUA GLICOLATA = 0°C

diam. est. mm	TUBI NUDI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	25°C	30°C	35°C	TUBI ISOLATI ORIZZONTALI Temperatura dell'aria 20°C	25°C	30°C	35°C
10	11,5	12,0	12,5	13,0	7,6	8,0	8,4	8,7
15	10,8	11,3	11,7	12,1	7,6	8,0	8,3	8,7
20	10,3	10,8	11,2	11,6	7,3	7,6	7,9	8,3
30	9,7	10,1	10,5	10,9	7,0	7,3	7,6	7,9
40	9,3	9,7	10,1	10,4	6,8	7,1	7,4	7,7
50	9,0	9,4	9,7	10,1	6,7	7,1	7,4	7,7
60	8,8	9,1	9,5	9,8	6,7	7,0	7,3	7,6
80	8,4	8,8	9,1	9,4	6,4	6,7	7,0	7,3
100	8,2	8,5	8,9	9,1	6,4	6,7	7,0	7,3
150	7,8	8,1	8,4	8,7	6,2	6,5	6,8	7,0
200	7,5	7,8	8,1	8,4	6,0	6,3	6,6	6,9
250	7,3	7,6	7,9	8,1	6,0	6,2	6,5	6,8
300	7,2	7,4	8,1	8,4	5,9	6,2	6,5	6,8
400	6,9	7,7	8,1	8,4	5,8	6,1	6,4	6,7

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 8,8 kcal/(h · m² · °C)
Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,7 kcal/(h · m² · °C)

Esempio:

Determinare le dispersioni termiche e la temperatura superficiale di un tubo in acciaio che convoglia acqua. Si consideri sia il caso di tubo nudo, sia il caso di tubo isolato con 30 e con 60 mm di lana minerale.

Dati di riferimento: temperatura acqua = 80°C, temperatura aria = 20°C;
tubo da 4", posto in opera orizzontalmente e lungo 1 m;
diametro interno = 104,9 mm, diametro esterno = 113 mm;
conduttività acciaio = 41 kcal/(h · m · °C);
conduttività lana minerale = 0,04 kcal/(h · m · °C).

Soluzione:

— Negli esempi che seguono si trascura il fattore $[1/(\alpha_1 \cdot d_1)]$. Vedere nota relativa al capitolo: VALORI TABULATI DELLE ADDUTTANZE UNITARIE.

— I valori della adduttanza unitaria esterna α_2 sono derivati dalla (TAB. 3).

a) Tubo nudo: dalla (1) e dalla (3) si ottiene:

$$Q = \frac{\pi \cdot (80 - 20)}{\frac{1}{2 \cdot 41} \cdot \ln \frac{0{,}113}{0{,}1049} + \frac{1}{11{,}5 \cdot 0{,}113}} = \frac{188{,}4}{0{,}77043} = 244{,}54 \text{ kcal/h}$$

$$t_s = \frac{244{,}54}{3{,}14 \cdot 0{,}113 \cdot 11{,}5} + 20 = 79{,}93°C$$

b) Tubo isolato con 30 mm di lana minerale: dalla (2) e dalla (3) si ottiene:

$$Q = \frac{\pi \cdot (80 - 20)}{\frac{1}{2 \cdot 41} \cdot \ln \frac{0{,}113}{0{,}1049} + \frac{1}{2 \cdot 0{,}04} \cdot \ln \frac{0{,}173}{0{,}113} + \frac{1}{7{,}2 \cdot 0{,}173}} = \frac{188{,}4}{6{,}12753} = 30{,}75 \text{ kcal/h}$$

$$t_s = \frac{30{,}75}{3{,}14 \cdot 0{,}173 \cdot 7{,}2} + 20 = 27{,}86°C$$

c) Tubo isolato con 60 mm di lana minerale: dalla (2) e dalla (3) si ottiene:

$$Q = \frac{\pi \cdot (80 - 20)}{\frac{1}{2 \cdot 41} \cdot \ln \frac{0{,}113}{0{,}1049} + \frac{1}{2 \cdot 0{,}04} \cdot \ln \frac{0{,}233}{0{,}113} + \frac{1}{7{,}2 \cdot 0{,}233}} = \frac{188{,}4}{9{,}64263} = 19{,}54 \text{ kcal/h}$$

$$t_s = \frac{19{,}54}{3{,}14 \cdot 0{,}233 \cdot 7{,}2} + 20 = 23{,}71°C$$

MATERIALI ISOLANTI PER TUBAZIONI

Un buon materiale isolante deve possedere le seguenti caratteristiche:

- basso coefficiente di conducibilità;
- comportamento al fuoco conforme alle norme di sicurezza (in ogni caso è bene che il materiale isolante non propaghi la fiamma, non abbia postcombustione e non liberi gas tossici);
- inorganicità (il materiale non deve essere attaccabile dall'umidità e dalle muffe);
- non aggressività chimica (il materiale isolante non deve innescare, o facilitare, fenomeni corrosivi);
- basso calore specifico (si devono evitare tempi lunghi per la messa a regime dell'impianto);
- durata (il materiale isolante deve mantenere costante nel tempo tutte le sue caratteristiche principali);
- facilità di posa in opera.

I materiali isolanti più comunemente utilizzati per isolare le tubazioni sono quelli a base di gomma sintetica, di schiume poliuretaniche e di lana minerale.

MATERIALI A BASE DI GOMMA SINTETICA

Hanno struttura cellulare molto fine. Sono soffici, flessibili, leggeri e facilmente lavorabili.

Vengono prodotti sia a cellule aperte che a cellule chiuse.

I materiali a cellule chiuse presentano una elevata resistenza al passaggio del vapore e per questa loro caratteristica (che evita o rende trascurabili i fenomeni di condensa all'interno del materiale isolante) sono molto utilizzati negli impianti di condizionamento e di refrigerazione.

- Sono commercialmente disponibili in guaine, nastri e lastre.
- Campo di utilizzo: da circa - 40 a circa +100°C.
- Conduttività: da circa 0,030 a circa 0,036 kcal/h · m · °C.
- Impieghi: isolamento di tubazioni e serbatoi in impianti idrici, di riscaldamento, di condizionamento e di refrigerazione.
- Protezioni: sottotraccia le guaine sono installate senza alcuna protezione; nei locali tecnici, le guaine e le lastre sono in genere protette con fogli in PVC.

MATERIALI A BASE DI SCHIUME POLIURETANICHE

Derivano da miscele di composti organici. Sono rigidi, leggeri e facilmente lavorabili.

- Sono commercialmente disponibili sotto forma di pannelli rigidi, coppelle e gusci stampati.
- Campo di utilizzo: da circa - 15 a circa +90°C.
- Conduttività: da circa 0,020 a circa 0,028 kcal/h · m · °C.
- Impieghi: isolamento di tubazioni e serbatoi (mediante schiuma spruzzata sulle superfici) in impianti idrici, di riscaldamento e di condizionamento.
- Protezioni: con fogli di carta bitumata, di PVC e di alluminio goffrato.

MATERIALI FIBROSI IN LANA DI ROCCIA O DI VETRO

Vengono prodotti fondendo il materiale di base (roccia o vetro) e sottoponendolo a centrifugazione in modo da ottenere un insieme fibroso costituito da filamenti di pochi micron.

- Sono commercialmente reperibili sotto forma di lana sciolta, cordoni, pannelli rigidi, feltri, coppelle e gusci stampati.
- Campo di utilizzo: dipende dal tipo di fibre e dal tipo di legante con cui sono state compattate le fibre stesse.
- Conduttività: da circa 0,025 a circa 0,035 kcal/h · m · °C.
- Impieghi: isolamento di tubazioni e serbatoi in impianti idrici, di riscaldamento, a vapore, a olio diatermico, di condizionamento e di refrigerazione.
- Protezioni: con benda mussolona o benda in PVC, con cartone bitumato, con laminato plastico autoavvolgente e con lamierino metallico (in alluminio o in acciaio).

POSA IN OPERA DEI MATERIALI ISOLANTI

L'isolamento termico deve potersi sviluppare in modo continuo, anche in corrispondenza di pezzi speciali (curve, derivazioni a T, ecc...), supporti e ancoraggi. Le guide, gli appoggi e i sostegni delle tubazioni vanno realizzati in modo che i movimenti, dovuti alle dilatazioni termiche, non siano causa di schiacciamenti o strappi del materiale isolante.

Dove sono installate apparecchiature che possono richiedere interventi di manutenzione (elettropompe, scambiatori a piastre, ecc...) è bene che l'isolamento termico sia facilmente rimovibile e ripristinabile.

Negli impianti ad acqua refrigerata, i sostegni delle tubazioni devono esssere scelti e posizionati in modo da evitare formazioni di condensa e gocciolamenti.

Tabelle allegate:

La (TAB. 8) e la (TAB. 9), di seguito riportate, consentono di calcolare la superficie esterna dell'isolamento termico (cioè quella normalmente richiesta nel computo metrico) in relazione al diametro dei tubi e allo spessore del materiale isolante.

TAB. 8 - Superficie esterna (m^2) riferita ad un metro di tubo isolato
TUBI IN ACCIAIO, diametro in pollici

diametro esterno pollici	spessore dell'isolante (mm)						
	25	30	40	50	60	70	80
3/8"	0,209	0,241	0,304	0,366	0,429	0,492	0,555
1/2"	0,223	0,254	0,317	0,380	0,443	0,506	0,568
3/4"	0,240	0,271	0,334	0,397	0,460	0,522	0,585
1"	0,261	0,293	0,355	0,418	0,481	0,544	0,607
1 1/4"	0,289	0,320	0,383	0,446	0,508	0,571	0,634
1 1/2"	0,307	0,338	0,401	0,464	0,527	0,590	0,652
2"	0,344	0,376	0,438	0,501	0,564	0,627	0,690
2 1/2"	0,393	0,425	0,487	0,550	0,613	0,676	0,739
3"	0,433	0,464	0,527	0,590	0,653	0,716	0,778
4"	0,512	0,543	0,606	0,669	0,732	0,794	0,857
5"	0,592	0,623	0,686	0,749	0,812	0,874	0,937
6"	0,672	0,703	0,766	0,829	0,891	0,954	1,017

TAB. 9 - Superficie esterna (m^2) riferita ad un metro di tubo isolato
TUBI IN ACCIAIO, diametro in millimetri

diametro esterno mm	spessore dell'isolante (mm)						
	25	30	40	50	60	70	80
30,0	0,251	0,283	0,345	0,408	0,471	0,534	0,597
33,7	0,263	0,294	0,357	0,420	0,483	0,545	0,608
38,0	0,276	0,308	0,371	0,433	0,496	0,559	0,622
42,4	0,290	0,322	0,384	0,447	0,510	0,573	0,636
44,5	0,297	0,328	0,391	0,454	0,517	0,579	0,642
48,3	0,309	0,340	0,403	0,466	0,528	0,591	0,654
54,0	0,327	0,358	0,421	0,484	0,546	0,609	0,672
57,0	0,336	0,367	0,430	0,493	0,556	0,619	0,681
60,3	0,346	0,378	0,441	0,503	0,566	0,629	0,692
70,0	0,377	0,408	0,471	0,534	0,597	0,659	0,722
76,1	0,396	0,427	0,490	0,553	0,616	0,679	0,741
88,9	0,436	0,468	0,530	0,593	0,656	0,719	0,782
101,6	0,476	0,507	0,570	0,633	0,696	0,759	0,821
108,0	0,496	0,528	0,590	0,653	0,716	0,779	0,842
114,3	0,516	0,547	0,610	0,673	0,736	0,799	0,861
133,0	0,575	0,606	0,669	0,732	0,794	0,857	0,920
139,7	0,596	0,627	0,690	0,753	0,815	0,878	0,941
159,0	0,656	0,688	0,750	0,813	0,876	0,939	1,002
168,3	0,685	0,717	0,780	0,842	0,905	0,968	1,031
193,7	0,765	0,797	0,859	0,922	0,985	1,048	1,111
219,1	0,845	0,876	0,939	1,002	1,065	1,128	1,190
244,5	0,925	0,956	1,019	1,082	1,145	1,207	1,270
273,0	1,014	1,046	1,108	1,171	1,234	1,297	1,360
323,9	1,174	1,205	1,268	1,331	1,394	1,457	1,519

LIQUIDI ANTIGELO

Sono liquidi che, aggiunti all'acqua, possono abbassarne sensibilmente il punto di congelamento.
Miscele di acqua e liquidi antigelo sono, ad esempio, utilizzate nei circuiti di refrigerazione, nelle reti dei collettori solari e negli impianti di riscaldamento a funzionamento discontinuo (scuole, uffici, case di fine settimana, ecc...).

Il liquido maggiormente usato come anticongelante è il glicole etilico: un prodotto poco costoso e che, mescolato con acqua, consente di ottenere soluzioni che rimangono allo stato liquido anche con temperature inferiori a -30°C.

Le soluzioni antigelo hanno densità e viscosità sensibilmente superiori a quelle dell'acqua. Pertanto esse richiedono, a parità di portata, una maggior spinta da parte della pompa di circolazione.
Tale aumento di spinta, o di prevalenza, può essere determinato mediante apposite tabelle.

La (TAB. 1) riporta i fattori di maggiorazione per cui si devono moltiplicare le perdite di carico continue dell'acqua per ottenere quelle di una soluzione antigelo acqua-glicole etilico.

TAB. 1 - SOLUZIONI ANTIGELO ACQUA-GLICOLE ETILICO
Incrementi delle perdite di carico continue calcolate per l'acqua

concentrazione volumetrica di glicole etilico	temperatura di protezione °C	TUBI IN RAME E IN PLASTICA fattore di maggiorazione	TUBI IN ACCIAIO fattore di maggiorazione
15 %	- 5	1,08	1,06
20 %	- 8	1,11	1,08
25 %	- 12	1,15	1,10
30 %	- 15	1,19	1,12
35 %	- 20	1,23	1,14
40 %	- 25	1,26	1,16
45 %	- 30	1,30	1,18

MASSA VOLUMICA

La massa volumica, o densità, è il rapporto fra la massa di un corpo e il suo volume. Nel Sistema Internazionale si misura in kg/m^3.

Nei liquidi e nei solidi la massa volumica varia solo leggermente in funzione della temperatura e non risente, in modo apprezzabile, delle variazioni di pressione.
Nei gas, invece, essa dipende sensibilmente sia dalla temperatura, sia dalla pressione: diminuisce se aumenta la temperatura, cresce se aumenta la pressione.

Al variare della temperatura, il valore della massa volumica dell'acqua può essere calcolato mediante la formula sotto riportata, oppure può essere derivato dalla (TAB. 1).

$$\rho = 1.000{,}18576 + 0{,}007136 \cdot t - 0{,}005718 \cdot t^2 + 0{,}00001468 \cdot t^3$$

dove: ρ = massa volumica, kg/m^3; t = temperatura dell'acqua, °C

TAB. 1 - Massa volumica dell'acqua (kg/m^3) in relazione al variare della temperatura (°C)

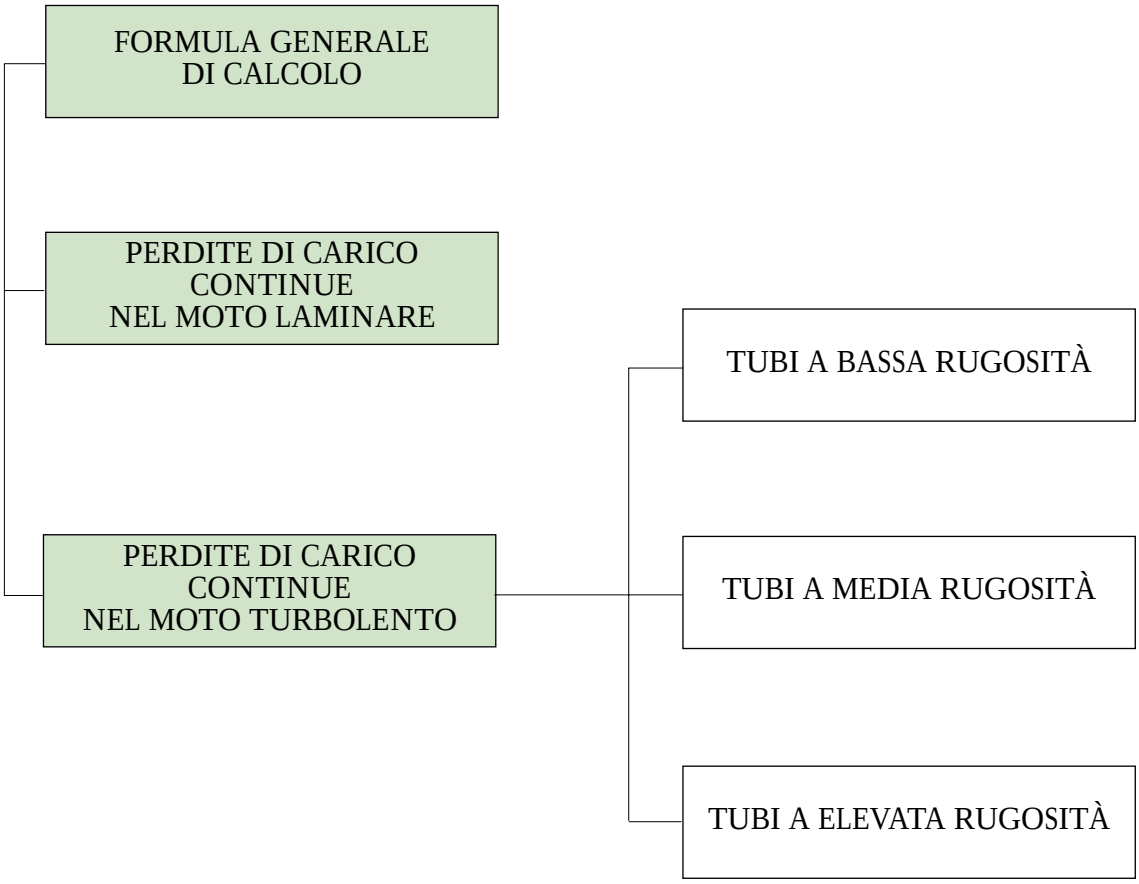
10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
999,6	998,0	995,4	992,0	987,7	982,8	977,2	971,1	964,6

La (TAB. 2) riporta i valori delle masse volumiche utilizzate per calcolare il peso dei tubi.

TAB. 2 - Massa volumica (kg/m^3) dei materiali per tubazioni

Acciaio	7.850
Ghisa	7.250
Rame	8.930
Polietilene reticolato	940
Polietilene ad alta densità	954

PERDITE DI CARICO CONTINUE



Sono le perdite di carico (o di pressione) che un fluido, in moto attraverso un condotto, subisce a causa delle resistenze continue; a causa, cioè, degli attriti interni al fluido stesso (ved. VISCOSITA') e degli attriti esterni dovuti alla rugosità del condotto.

Le perdite di carico continue si possono esprimere sia in unità di pressione (pascal o bar), sia in altezza di fluido (metri o millimetri di colonna d'acqua).
Risulta, inoltre, conveniente esprimere il loro valore facendo riferimento ad una lunghezza unitaria di condotto.
Ad esempio nella progettazione degli impianti idrici e di climatizzazione si utilizzano valori delle perdite di carico continue riferiti ad un metro di tubo. Mentre nella progettazione delle reti estese (acquedotti, gasdotti, ecc...) si utilizzano valori riferiti ad un chilometro di condotto.

FORMULA GENERALE DI CALCOLO

Le perdite di carico continue si possono calcolare con la seguente formula generale:

$$r = Fa \cdot \frac{1}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \qquad (1)$$

dove: r = perdita di carico unitaria, Pa/m
Fa = fattore di attrito, adimensionale
D = diametro interno del condotto, m
ρ = massa volumica del fluido, kg/m^3
v = velocità media del fluido, m/s

In tale formula, l'unico parametro difficile da determinare è il fattore di attrito Fa. Esso dipende:

1. dalle dimensioni e dalla rugosità del condotto;
2. dal modo in cui scorre il fluido.

In particolare, per quanto riguarda il secondo punto, Fa varia in relazione al regime di moto del fluido. Regime che può essere:

- laminare, quando le particelle del fluido percorrono traiettorie ordinate e fra loro parallele;
- turbolento, quando le particelle del fluido si muovono in modo irregolare, seguendo traiettorie tortuose e complicate;
- transitorio, allorchè il flusso si presenta incerto e instabile: né chiaramente laminare, né chiaramente turbolento.

Questi diversi modi di scorrere del fluido sono quantitativamente individuabili attraverso il numero di Reynolds (Re): un valore adimensionale così definito:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \qquad (2)$$

dove: D = diametro interno del condotto, m
v = velocità media del flusso, m/s
ν = viscosità cinematica del fluido, m^2/s

Nota: Per il calcolo del numero di Reynolds, le grandezze v, D, ν possono essere espresse anche con altre unità di misura, purchè siano coerenti fra loro.

Con buona approssimazione, si può ritenere che lo stato di scorrimento di un fluido sia:

laminare	per	Re minore di	2.000		
transitorio	per	Re compreso fra	2.000	e	2.500
turbolento	per	Re maggiore di	2.500		

Generalmente, per il calcolo delle perdite di carico lineari si considerano solo il moto laminare e il moto turbolento. Il moto transitorio, per le incertezze che lo caratterizzano, viene assimilato al moto turbolento.

PERDITE DI CARICO CONTINUE NEL MOTO LAMINARE

Nel regime laminare (o regime di Poiseuille), il coefficiente di attrito Fa dipende solo dal numero di Reynolds ed é esprimibile mediante l'equazione:

$$Fa = \frac{64}{Re} = \frac{64 \cdot \nu}{v \cdot D} \qquad (3)$$

Posta tale uguaglianza nella formula generale di calcolo (1), ed eseguite le opportune semplificazioni, si ottiene:

$$r = 32 \cdot \nu \cdot \rho \cdot \frac{v}{D^2} \qquad (4)$$

Normalmente il valore di r viene calcolato in base alla portata del fluido, e non in base alla sua velocità. Conviene pertanto sostituire nella (4) la velocità v (m/s) con la portata G (m^3/s), secondo la relazione di uguaglianza che lega fra loro queste due grandezze:

$$v = \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D^2} \qquad (5)$$

Con simile sostituzione, il valore di r viene ad essere calcolabile con la formula:

$$r = 40{,}74 \cdot \nu \cdot \rho \cdot \frac{G}{D^4} \qquad (6.1)$$

La stessa formula, facendo riferimento alle unità di misura più comunemente usate in termotecnica, si può così rappresentare:

$$r = 1.153.983 \cdot \nu \cdot \rho \cdot \frac{G}{D^4} \qquad (6.2)$$

dove: r (mm c.a./m); ν (m^2/s); ρ (kg/m^3); G (l/h); D (mm)

Nelle normali applicazioni termotecniche, il regime laminare si riscontra soprattutto in due casi:

1. negli impianti a circolazione naturale (cioè negli impianti senza elettropompe), dove le velocità in gioco sono molto piccole;
2. nei circuiti che convogliano oli combustibili, per l'elevata viscosità che caratterizza questi fluidi.

Esempio:

Determinare la velocità critica (cioè la velocità massima oltre la quale il moto laminare non è piu stabile) nel caso di un tubo da 1" (D = 27,4 mm) in cui scorre acqua alla temperatura di 60°C.

Soluzione:

La velocità critica si ha per Re = 2.000. Si può pertanto scrivere:

$$Re = \frac{v_{cr} \cdot D}{\nu} = 2.000 \quad \text{da cui risulta:} \quad v_{cr} = \frac{2.000 \cdot \nu}{D}$$

dove: $\nu = 0,47 \cdot 10^{-6}$ (ved. VISCOSITA')

La velocità critica richiesta risulta quindi uguale a: $\frac{2.000 \cdot 0,47 \cdot 10^{-6}}{27,4 \cdot 10^{-3}} = 0,034$ m/s

Note:

Si tratta di una velocità molto piccola, sensibilmente inferiore ai valori normalmente riscontrabili (ved. VELOCITA') negli impianti a circolazione forzata.

PERDITE DI CARICO CONTINUE NEL MOTO TURBOLENTO

Nel regime turbolento il fattore di attrito Fa dipende non solo dal numero di Reynolds (come nel caso del moto laminare), ma anche dalla configurazione geometrica del condotto e dallo stato della sua superficie interna (ved. RUGOSITA').

In un condotto circolare, tale dipendenza è esprimibile con la formula di Colebrook:

$$\frac{1}{Fa^{0,5}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot Fa^{0,5}} \right) \qquad (7)$$

dove, oltre alle grandezze già definite in precedenza, il fattore k rappresenta la rugosità del condotto espressa in metri.

La formula di Colebrook non è però facilmente utilizzabile. In essa, infatti, il valore di Fa è espresso implicitamente, e quindi risulta determinabile solo con procedimenti di calcolo ad approssimazioni successive.

Nella pratica si ricorre a relazioni meno complesse, che in genere sono derivate dalla stessa formula di Colebrook, con semplificazioni ottenute limitando il suo campo di validità.

Di seguito sono riportate alcune formule, relativamente semplici, che consentono di calcolare Fa quando il fluido vettore è l'acqua (con temperature comprese tra 0 e 95°C) e quando i tubi rientrano nelle seguenti categorie di rugosità:

- bassa rugosità per $0,002 < k < 0,007$ mm (es. tubi in rame e materiale plastico);
- media rugosità per $0,020 < k < 0,090$ mm (es. tubi in acciaio nero e zincato);
- elevata rugosità per $0,200 < k < 1,000$ mm (es. tubi incrostati o corrosi).

TUBI A BASSA RUGOSITA'

Sono chiamati anche tubi lisci e comprendono sia i tubi in rame (in barre e in rotoli), sia i tubi in materiale plastico (polietilene, polipropilene, ecc..).

Per i tubi a bassa rugosità, il valore del coefficiente d'attrito Fa può essere calcolato con la relazione:

$$Fa = 0{,}316 \cdot Re^{-0{,}25} \qquad (8)$$

Dalla (1), sostituendo Fa e v con le relative uguaglianze espresse dalla (8) e dalla (5), si ottiene:

$$r = 0{,}241 \cdot \nu^{0{,}25} \cdot \rho \cdot \frac{G^{1{,}75}}{D^{4{,}75}} \qquad (9.1)$$

Tale relazione, espressa nelle unità di misura più comunemente usate in termotecnica, assume la forma:

$$r = 14{,}68 \cdot \nu^{0{,}25} \cdot \rho \cdot \frac{G^{1{,}75}}{D^{4{,}75}} \qquad (9.2)$$

dove: r (mm c.a./m); ν (m^2/s); ρ (kg/m^3); G (l/h); D (mm)

Dalle uguaglianze (9.1) e (9.2) si può dedurre che le perdite di carico lineari nei tubi a bassa rugosità dipendono dal:

1. fattore viscosità = $\nu^{0{,}25}$
2. fattore massa volumica = ρ
3. fattore portata-diametro = $G^{1{,}75} / D^{4{,}75}$

La determinazione di questi singoli fattori permette di valutare in che modo variano le perdite di carico continue quando si modificano i parametri di progetto.

Esempio:

Determinare le perdite di carico continue unitarie che si hanno in un tubo di rame (avente diametro interno = 20 mm) quando in esso scorrono 800 l/h di acqua alla temperatura di 80 e 10°C.

Soluzione:

Le perdite di carico lineari continue in un tubo di rame (tubo a bassa rugosità) possono essere calcolate con la formula (9.2).
I valori di viscosità e della massa volumica dell'acqua sono ricavabili dalle tabelle riportate alle voci VISCOSITA' e MASSA VOLUMICA.

a) per temperatura acqua = 80°C risulta: $\nu = 0{,}39 \cdot 10^{-6}$ m²/s, $\rho = 971{,}1$ kg/m³

$$r = 14{,}68 \cdot (0{,}39 \cdot 10^{-6})^{0{,}25} \cdot 971{,}1 \cdot \frac{800^{1{,}75}}{20^{4{,}75}}$$

1. fattore viscosità = $(0{,}39 \cdot 10^{-6})^{0{,}25} = 0{,}024990$
2. fattore massa volumica = 971,1
3. fattore portata-diametro = $800^{1{,}75} / 20^{4{,}75} = 0{,}079523$

$r = 14{,}68 \cdot 0{,}024990 \cdot 971{,}1 \cdot 0{,}079523 = 28{,}3$ mm c.a./m

b) per temperatura acqua = 10°C risulta: $\nu = 1{,}30 \cdot 10^{-6}$ m²/s, $\rho = 999{,}6$ kg/m³

$$r = 14{,}68 \cdot (1{,}30 \cdot 10^{-6})^{0{,}25} \cdot 999{,}6 \cdot \frac{800^{1{,}75}}{20^{4{,}75}}$$

1. fattore viscosità = $(1{,}30 \cdot 10^{-6})^{0{,}25} = 0{,}033766$
2. fattore massa volumica = 999,6
3. fattore portata-diametro = $800^{1{,}75} / 20^{4{,}75} = 0{,}079523$

$r = 14{,}68 \cdot 0{,}033766 \cdot 999{,}6 \cdot 0{,}079523 = 39{,}4$ mm c.a./m

Osservazioni:

L'esempio svolto permette di evidenziare che, nei tubi di rame, se la temperatura dell'acqua varia da 80 a 10°C e resta costante la portata, le perdite di carico continue aumentano in modo rilevante (circa il 39%).

Tale incremento è generalizzabile a tutti i tubi con bassa rugosità; infatti, il suo valore dipende solo dal variare del fattore viscosità e del fattore massa volumica.
In particolare, come risulta dai valori sopra riportati, il fattore viscosità determina una maggiorazione di circa il 36%, mentre il fattore massa volumica causa un aumento di circa il 3%.

TUBI A MEDIA RUGOSITA'

Nell'intervallo di rugosità che va da 0,02 mm fino a 0,09 mm, sono generalmente compresi tutti i tubi commerciali in acciaio, cioé i tubi in acciaio nero, zincato e dolce.
In tale intervallo il coefficiente d'attrito Fa può essere espresso mediante la seguente relazione

$$Fa = 0{,}07 \cdot Re^{-0{,}13} \cdot D^{-0{,}14} \qquad (10)$$

Dalla formula generale delle perdite di carico lineari (1), sostituendo Fa e v con le relative uguaglianze espresse dalla (10) e dalla (5), si ottiene:

$$r = 0{,}055 \cdot \nu^{0{,}13} \cdot \rho \cdot \frac{G^{1{,}87}}{D^{5{,}01}} \qquad (11.1)$$

Relazione che, espressa nelle unità di misura più comunemente usate in termotecnica, assume la forma:

$$r = 3{,}3 \cdot \nu^{0{,}13} \cdot \rho \cdot \frac{G^{1{,}87}}{D^{5{,}01}} \qquad (11.2)$$

dove: r (mm c.a./m); ν (m^2/s); ρ (kg/m^3); G (l/h); D (mm)

Dalle uguaglianze (11.1) e (11.2) si può dedurre che le perdite di carico lineari nei tubi a media rugosità dipendono dal:

1. fattore viscosità = $\nu^{0{,}13}$
2. fattore massa volumica = ρ
3. fattore portata-diametro = $G^{1{,}87} / D^{5{,}01}$

La determinazione di questi singoli fattori permette di valutare in che modo variano le perdite di carico continue quando si modificano i parametri di progetto.

Esempio:

Determinare le perdite di carico continue unitarie che si hanno in un tubo di acciaio (avente diametro interno = 20 mm) quando in esso scorrono 800 l/h di acqua alla temperatura di 80 e 10°C.

Soluzione:

Le perdite di carico lineari continue in un tubo di acciaio (tubo a media rugosità) possono essere calcolate con la formula (11.2).
I valori di viscosità e della massa volumica dell'acqua sono ricavabili dalle tabelle riportate alle voci VISCOSITA' e MASSA VOLUMICA.

a) per temperatura acqua = 80°C risulta: $\nu = 0{,}39 \cdot 10^{-6}$ m²/s, $\rho = 971{,}1$ kg/m³

$$r = 3{,}3 \cdot (0{,}39 \cdot 10^{-6})^{0{,}13} \cdot 971{,}1 \cdot \frac{800^{1{,}87}}{20^{5{,}01}}$$

1. fattore viscosità = $(0{,}39 \cdot 10^{-6})^{0{,}13} = 0{,}146838$
2. fattore massa volumica = 971,1
3. fattore portata-diametro = $800^{1{,}87} / 20^{5{,}01} = 0{,}081399$

$r = 3{,}3 \cdot 0{,}146838 \cdot 971{,}1 \cdot 0{,}081399 = 38{,}3$ mm c.a./m

b) per temperatura acqua = 10°C risulta: $\nu = 1{,}30 \cdot 10^{-6}$ m²/s, $\rho = 999{,}6$ kg/m³

$$r = 3{,}3 \cdot (1{,}30 \cdot 10^{-6})^{0{,}13} \cdot 999{,}6 \cdot \frac{800^{1{,}87}}{20^{5{,}01}}$$

1. fattore viscosità = $(1{,}30 \cdot 10^{-6})^{0{,}13} = 0{,}171717$
2. fattore massa volumica = 999,6
3. fattore portata-diametro = $800^{1{,}87} / 20^{5{,}01} = 0{,}081399$

$r = 3{,}3 \cdot 0{,}171717 \cdot 999{,}6 \cdot 0{,}081399 = 46{,}1$ mm c.a./m

Osservazioni:

L'esempio svolto permette di evidenziare che, nei tubi di acciaio, se la temperatura dell'acqua varia da 80 a 10°C e resta costante la portata, le perdite di carico continue aumentano in modo sensibile (circa il 20%), anche se percentualmente inferiore a quanto avviene per i tubi lisci.

Tale incremento è generalizzabile a tutti i tubi con rugosità media; infatti, il suo valore dipende solo dal variare del fattore viscosità e del fattore massa volumica.
In particolare, come risulta dai valori sopra riportati, il fattore viscosità determina una maggiorazione di circa il 17%, mentre il fattore massa volumica causa un aumento di circa il 3%.

TUBI A ELEVATA RUGOSITA'

Sono compresi in questo intervallo di rugosità, che va da 0,2 fino a 1 mm, i tubi metallici con superfici interne incrostate o corrose.
Tubi con simili caratteristiche si possono trovare facilmente negli impianti realizzati senza le necessarie protezioni contro la corrosione e contro il deposito di calcare.

Per i tubi in acciaio incrostati o corrosi, in genere si considerano i seguenti valori di rugosità:

k = 0,2 mm per incrostazioni o corrosioni leggere;

k = 0,5 mm per incrostazioni o corrosioni medie;

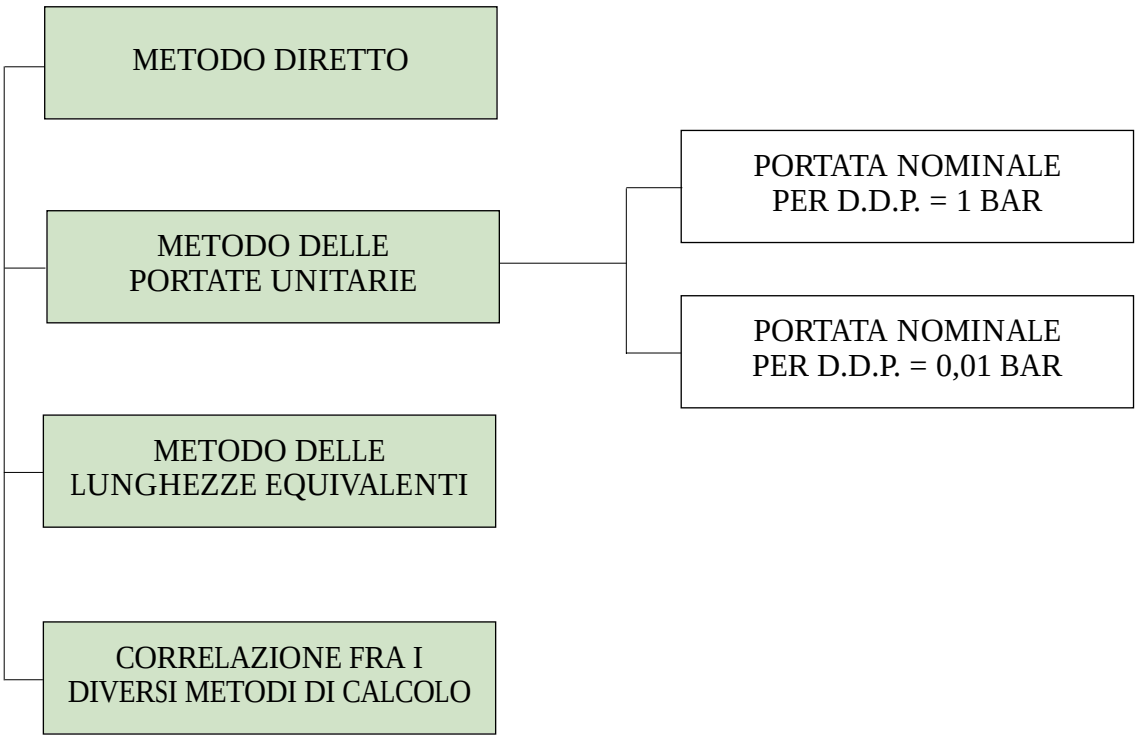
k = 1,0 mm per incrostazioni o corrosioni forti.

Le loro perdite di carico continue si possono determinare moltiplicando quelle dei tubi a bassa e media rugosità per i fattori della seguente tabella:

TAB. 1 - Fattori di correzione per tubazioni ad elevata rugosità

diametro, mm	k = 0,2 mm			k = 0,5 mm			k = 1,0 mm		
	velocità m/s			velocità m/s			velocità m/s		
	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
d ≤ 40	1,18	1,20	1,26	1,35	1,45	1,60	1,70	1,90	2,00
40 < d ≤ 60	1,18	1,20	1,26	1,35	1,45	1,60	1,70	1,80	2,00
60 < d ≤ 80	1,18	1,20	1,24	1,35	1,45	1,60	1,65	1,80	1,95
80 < d ≤ 100	1,18	1,20	1,24	1,35	1,40	1,55	1,60	1,75	1,90
100 < d ≤ 200	1,18	1,19	1,24	1,30	1,40	1,50	1,55	1,70	1,90
200 < d ≤ 300	1,18	1,19	1,24	1,30	1,40	1,45	1,50	1,70	1,90
300 < d ≤ 400	1,18	1,19	1,24	1,30	1,40	1,45	1,50	1,70	1,85

PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE



Sono le perdite di carico (o di pressione) che un fluido, in moto attraverso un condotto, subisce a causa delle resistenze accidentali e delle irregolarità di percorso (riduzioni o allargamenti, curve, valvole, organi di regolazione, ecc...). Queste perdite sono chiamate anche "singolari" o "accidentali".

Le perdite di carico localizzate possono essere determinate mediante uno dei seguenti metodi di calcolo:

- il metodo diretto, che si basa sulla determinazione di un coefficiente il cui valore dipende dalla forma della resistenza accidentale;
- il metodo delle portate nominali, che fa riferimento (per ogni resistenza) alla portata corrispondente ad una perdita di carico unitaria (1 bar o 0,01 bar);
- il metodo delle lunghezze equivalenti, che sostituisce ogni resistenza accidentale con una lunghezza di tubo equivalente, cioè in grado di dare la stessa perdita di carico.

METODO DIRETTO

Con questo metodo le perdite di carico localizzate si calcolano con la formula:

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \qquad (1)$$

dove: z = perdita di carico localizzata, Pa
ξ = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale
ρ = massa volumica del fluido, kg/m^3
v = velocità media del flusso, m/s

Se z si esprime in mm di c.a. la (1) diventa:

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9{,}81} \qquad (2)$$

Il coefficiente ξ risulta dipendere soprattutto dalla forma della resistenza localizzata ed è, con buona approssimazione, indipendente da altri fattori, quali: il peso specifico, la viscosità e la velocità del fluido.
Il suo valore può essere determinato sia con formule (in casi a geometria semplice), sia sperimentalmente.

Le tabelle di seguito riportate consentono di determinare i coefficienti ξ delle principali resistenze localizzate, e i valori delle perdite di carico z, in fuzione di ξ e v.

Tabelle allegate

- Nelle tabelle 1a e 1b sono riportati i coefficienti ξ delle resistenze localizzate che più frequentemente si incontrano negli impianti idro-termosanitari.

  Per numerosi altri componenti - quali ad esempio: gli scambiatori, le valvole termostatiche, i collettori, i ventilconvettori, ecc... - non è significativo fare riferimento a valori medi tabulati.
  I coefficienti ξ di questi componenti variano, infatti, sensibilmente da prodotto a prodotto. E' consigliabile, quindi, che il loro valore sia derivato direttamente dai cataloghi o dalle specifiche tecniche dei fornitori.

- Le tabelle 2a, 2b e 2c forniscono direttamente i valori di z, in funzione di ξ e v, per acqua a 80°C.

- Nella tabella 3 si riportano i fattori di conversione (da applicarsi alle tabelle 2a, 2b e 2c) per temperature dell'acqua diverse da 80°C.

Nota:

I fattori della tabella 3 sono da utilizzarsi solo nel caso in cui siano richiesti calcoli molto accurati.
Gli errori, che si commettono ignorando tali fattori, non sono infatti molto significativi e rientrano ampiamente nelle normali tolleranze e incertezze che caratterizzano il calcolo di qualsiasi impianto idro-termosanitario.

Esempio:

Calcolare le perdite di carico che si verificano in una curva stretta ad U (diam. 1") attraverso cui l'acqua scorre alla velocità di 0,6 m/s e alle temperature di 80 e 10°C.

Soluzione:

Le perdite di carico richieste si possono calcolare direttamente con la formula (2).
Il coefficiente ξ è deducibile dalla TAB. 1, e per una curva stretta ad U (diam. 1") risulta: $\xi = 2$.
I valori di ρ si ricavano dalla relativa tabella riportata alla voce MASSA VOLUMICA.

a) per acqua a 80°C: $\rho = 971{,}1$ kg/m ^{3}

$$z = 2 \cdot 971{,}1 \cdot \frac{0{,}6^{\,2}}{2 \cdot 9{,}81} = 35{,}7$$ (valore di z richiesto per temperatura acqua = 80°C)

b) per acqua a 10°C: $\rho = 999{,}6$ kg/m ^{3}

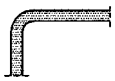
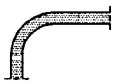
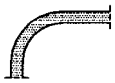
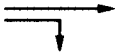
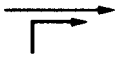
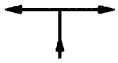
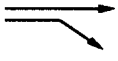
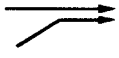
$$z = 2 \cdot 999{,}6 \cdot \frac{0{,}6^{\,2}}{2 \cdot 9{,}81} = 36{,}7$$ (valore di z richiesto per temperatura acqua = 10°C)

Osservazioni:

L'esempio svolto evidenzia che le perdite di carico localizzate non sono sensibilmente influenzate dal variare della temperatura dell'acqua. Alla stessa conclusione era possibile giungere anche analizzando le formule (1) o (2), dove:

- ρ è l'unico parametro (tra quelli che definiscono z) dipendente dalla temperatura;
- nel caso dell'acqua ρ è poco influenzato dalle variazioni della temperatura;
- z è direttamente proporzionale a ρ.

TAB. 1a - Valori del coefficiente di perdita localizzata ξ (rete di distribuzione)

Diametro interno tubi rame, PEad, PEX			8÷16 mm	18÷28 mm	30÷54 mm	>54 mm
Diametro esterno tubi acciaio			3/8"÷1/2"	3/4"÷1"	1 1/4"÷2"	>2"
Tipo di resistenza localizzata		Simbolo				
Curva stretta a 90°	r/d = 1,5		2,0	1,5	1,0	0,8
Curva normale a 90°	r/d = 2,5		1,5	1,0	0,5	0,4
Curva larga a 90°	r/d > 3,5		1,0	0,5	0,3	0,3
Curva stretta a U	r/d = 1,5		2,5	2,0	1,5	1,0
Curva normale a U	r/d = 2,5		2,0	1,5	0,8	0,5
Curva larga a U	r/d > 3,5		1,5	0,8	0,4	0,4
Allargamento			1,0			
Restringimento			0,5			
Diramazione semplice con T a squadra			1,0			
Confluenza semplice con T a squadra			1,0			
Diramazione doppia con T a squadra			3,0			
Confluenza doppia con T a squadra			3,0			
Diramazione semplice con angolo inclinato (45°- 60°)			0,5			
Confluenza semplice con angolo inclinato (45°- 60°)			0,5			
Diramazione con curve d'invito			2,0			
Confluenza con curve d'invito			2,0			

TAB. 1b - Valori del coefficiente di perdita localizzata ξ (componenti impianto)

Diametro interno tubi rame, PEad, PEX		8÷16 mm	18÷28 mm	30÷54 mm	>54 mm
Diametro esterno tubi acciaio		3/8"÷1/2"	3/4"÷1"	1 1/4"÷2"	>2"
Tipo di resistenza localizzata	Simbolo				
Valvola di intercettazione diritta		10,0	8,0	7,0	6,0
Valvola di intercettazione inclinata		5,0	4,0	3,0	3,0
Saracinesca a passaggio ridotto		1,2	1,0	0,8	0,6
Saracinesca a passaggio totale		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a sfera a passaggio ridotto		1,6	1,0	0,8	0,6
Valvola a sfera a passaggio totale		0,2	0,2	0,1	0,1
Valvola a farfalla		3,5	2,0	1,5	1,0
Valvola a ritegno		3,0	2,0	1,0	1,0
Valvola per corpo scaldante tipo diritto		8,5	7,0	6,0	—
Valvola per corpo scaldante tipo a squadra		4,0	4,0	3,0	—
Detentore diritto		1,5	1,5	1,0	—
Detentore a squadra		1,0	1,0	0,5	—
Valvola a quattro vie		6,0		4,0	
Valvola a tre vie		10,0		8,0	
Passaggio attraverso un radiatore		3,0			
Passaggio attraverso una caldaia		3,0			

TAB. 2a - Perdite di carico localizzate in mm c.a. per $\Sigma\xi$ = 1÷15 (temp. acqua = 80°C)

velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,10	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4
0,11	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0
0,12	0,7	1,4	2,1	2,9	3,6	4,3	5,0	5,7	6,4	7,1	7,8	8,6	9,3	10	11
0,13	0,8	1,7	2,5	3,3	4,2	5,0	5,9	6,7	7,5	8,4	9,2	10	11	12	13
0,14	1,0	1,9	2,9	3,9	4,9	5,8	6,8	7,8	8,7	9,7	11	12	13	14	15
0,15	1,1	2,2	3,3	4,5	5,6	6,7	7,8	8,9	10	11	12	13	14	16	17
0,16	1,3	2,5	3,8	5,1	6,3	7,6	8,9	10	11	13	14	15	16	18	19
0,17	1,4	2,9	4,3	5,7	7,2	8,6	10	11	13	14	16	17	19	20	21
0,18	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0	9,6	11	13	14	16	18	19	21	22	24
0,19	1,8	3,6	5,4	7,2	8,9	11	13	14	16	18	20	21	23	25	27
0,20	2,0	4,0	5,9	7,9	9,9	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
0,21	2,2	4,4	6,6	8,7	11	13	15	17	20	22	24	26	28	31	33
0,22	2,4	4,8	7,2	9,6	12	14	17	19	22	24	26	29	31	34	36
0,23	2,6	5,2	7,9	10	13	16	18	21	24	26	29	31	34	37	39
0,24	2,9	5,7	8,6	11	14	17	20	23	26	29	31	34	37	40	43
0,25	3,1	6,2	9,3	12	15	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46
0,26	3,3	6,7	10	13	17	20	23	27	30	33	37	40	44	47	50
0,27	3,6	7,2	11	14	18	22	25	29	33	36	40	43	47	51	54
0,28	3,9	7,8	12	16	19	23	27	31	35	39	43	47	50	54	58
0,29	4,2	8,3	13	17	21	25	29	33	38	42	46	50	54	58	63
0,30	4,5	8,9	13	18	22	27	31	36	40	45	49	54	58	62	67
0,31	4,8	9,5	14	19	24	29	33	38	43	48	52	57	62	67	71
0,32	5,1	10	15	20	25	30	36	41	46	51	56	61	66	71	76
0,33	5,4	11	16	22	27	32	38	43	49	54	59	65	70	76	81
0,34	5,7	11	17	23	29	34	40	46	52	57	63	69	74	80	86
0,35	6,1	12	18	24	30	36	42	49	55	61	67	73	79	85	91
0,36	6,4	13	19	26	32	39	45	51	58	64	71	77	83	90	96
0,37	6,8	14	20	27	34	41	47	54	61	68	75	81	88	95	102
0,38	7,2	14	21	29	36	43	50	57	64	72	79	86	93	100	107
0,39	7,5	15	23	30	38	45	53	60	68	75	83	90	98	106	113
0,40	7,9	16	24	32	40	48	55	63	71	79	87	95	103	111	119
0,41	8,3	17	25	33	42	50	58	67	75	83	92	100	108	117	125
0,42	8,7	17	26	35	44	52	61	70	79	87	96	105	114	122	131
0,43	9,2	18	27	37	46	55	64	73	82	92	101	110	119	128	137
0,44	9,6	19	29	38	48	58	67	77	86	96	106	115	125	134	144
0,45	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
0,46	10	21	31	42	52	63	73	84	94	105	115	126	136	147	157
0,47	11	22	33	44	55	66	77	88	99	109	120	131	142	153	164
0,48	11	23	34	46	57	68	80	91	103	114	126	137	148	160	171
0,49	12	24	36	48	59	71	83	95	107	119	131	143	155	167	178
0,50	12	25	37	50	62	74	87	99	110	124	136	149	161	173	186
0,51	13	26	39	52	64	77	90	103	116	129	142	155	168	180	193
0,52	13	27	40	54	67	80	94	107	121	134	147	161	174	188	201
0,53	14	28	42	56	70	84	97	111	125	139	153	167	181	195	209
0,54	14	29	43	58	72	87	101	116	130	144	159	173	188	202	217
0,55	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225
0,56	16	31	47	62	78	93	109	124	140	155	171	186	202	218	233
0,57	16	32	48	64	80	97	113	129	145	161	177	193	209	225	241
0,58	17	33	50	67	83	100	117	133	150	167	183	200	217	233	250
0,59	17	34	52	69	86	103	121	138	155	172	190	207	224	241	259
velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

TAB. 2b - Perdite di carico localizzate in mm c.a. per $\Sigma\xi$ = 1÷15 (temp. acqua = 80°C)

velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,60	18	36	54	71	89	107	125	143	161	178	196	214	232	250	268
0,61	18	37	55	74	92	111	129	147	166	184	203	221	240	258	277
0,62	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	229	248	267	286
0,63	20	39	59	79	98	118	138	157	177	197	216	236	256	275	295
0,64	20	41	61	81	101	122	142	162	183	203	223	244	264	284	304
0,65	21	42	63	84	105	126	147	167	188	209	230	251	272	293	314
0,66	22	43	65	86	108	129	151	173	194	216	237	259	281	302	324
0,67	22	44	67	89	111	133	156	178	200	222	245	267	289	311	334
0,68	23	46	69	92	115	137	160	183	206	229	252	275	298	321	344
0,69	24	47	71	94	118	142	165	189	212	236	259	283	307	330	354
0,70	24	49	73	97	121	146	170	194	218	243	267	291	316	340	364
0,71	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
0,72	26	51	77	103	128	154	180	205	231	257	283	308	334	360	385
0,73	26	53	79	106	132	158	185	211	238	264	290	317	343	370	396
0,74	27	54	81	109	136	163	190	217	244	271	298	326	353	380	407
0,75	28	56	84	111	139	167	195	223	251	279	307	334	362	390	418
0,76	29	57	86	114	143	172	200	229	258	286	315	343	372	401	429
0,77	29	59	88	118	147	176	206	235	264	294	323	353	382	411	441
0,78	30	60	90	121	151	181	211	241	271	301	332	362	392	422	452
0,79	31	62	93	124	155	186	216	247	278	309	340	371	402	433	464
0,80	32	63	95	127	159	190	222	254	285	317	349	381	412	444	476
0,81	33	65	98	130	163	195	228	260	293	325	358	390	423	455	488
0,82	33	67	100	133	167	200	233	267	300	333	366	400	433	466	500
0,83	34	68	102	137	171	205	239	273	307	341	375	410	444	478	512
0,84	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	454	489	524
0,85	36	72	107	143	179	215	251	286	322	358	394	430	465	501	537
0,86	37	73	110	147	183	220	257	293	330	366	403	440	476	513	550
0,87	38	75	113	150	188	225	263	300	338	375	413	450	488	525	563
0,88	38	77	115	153	192	230	269	307	345	384	422	460	499	537	576
0,89	39	78	118	157	196	235	275	314	353	392	432	471	510	549	589
0,90	40	80	120	161	201	241	281	321	361	401	441	482	522	562	602
0,91	41	82	123	164	205	246	287	328	369	410	451	492	533	574	615
0,92	42	84	126	168	210	252	294	335	377	419	461	503	545	587	629
0,93	43	86	129	171	214	257	300	343	386	429	471	514	557	600	643
0,94	44	88	131	175	219	263	306	350	394	438	482	525	569	613	657
0,95	45	89	134	179	224	268	313	358	402	447	492	537	581	626	671
0,96	46	91	137	183	228	274	320	365	411	457	502	548	594	639	685
0,97	47	93	140	186	233	280	326	373	420	466	513	559	606	653	699
0,98	48	95	143	190	238	286	333	381	428	476	523	571	619	666	714
0,99	49	97	146	194	243	291	340	388	437	486	534	583	631	680	728
1,00	50	99	149	198	248	297	347	396	446	495	545	595	644	694	743
1,10	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	659	719	779	839	899
1,20	71	143	214	285	357	428	499	571	642	713	785	856	927	999	1,070
1,30	84	167	251	335	419	502	586	670	754	837	921	1.005	1.089	1.172	1.256
1,40	97	194	291	388	486	583	680	777	874	971	1,068	1.165	1.262	1.360	1.457
1,50	111	223	334	446	557	669	780	892	1.003	1.115	1.226	1.338	1.449	1.561	1.672
1,60	127	254	381	507	634	761	888	1.015	1.142	1.268	1.395	1.522	1.649	1.776	1.903
1,70	143	286	430	573	716	859	1.002	1.146	1.289	1.432	1.575	1.718	1.861	2.005	2.148
1,80	161	321	482	642	803	963	1.124	1.284	1.445	1.605	1.766	1.926	2.087	2.247	2.408
1,90	179	358	537	715	894	1.073	1.252	1.431	1.610	1.789	1.967	2.146	2.325	2.504	2.683
velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

TAB. 2c - Perdite di carico localizzate in mm c.a. per $\Sigma\xi$ = 1÷15 (temp. acqua = 80°C)

velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2,00	198	396	595	793	991	1.189	1.387	1.585	1.784	1.982	2.180	2.378	2.576	2.775	2.973
2,10	218	437	655	874	1.092	1.311	1.529	1.748	1.966	2.185	2.403	2.622	2.840	3.059	3.277
2,20	240	480	719	959	1.199	1.439	1.679	1.918	2.158	2.398	2.638	2.878	3.117	3.357	3.597
2,30	262	524	786	1.048	1.310	1.573	1.835	2.097	2.359	2.621	2.883	3.145	3.407	3.669	3.931
2,40	285	571	856	1.142	1.427	1.712	1.998	2.283	2.568	2.854	3.139	3.425	3.710	3.995	4.281
2,50	310	619	929	1.239	1.548	1.858	2.168	2.477	2.787	3.097	3.406	3.716	4.026	4.335	4.645
2,60	335	670	1.005	1.340	1.675	2.010	2.345	2.679	3.014	3.349	3.684	4.019	4.354	4.689	5.024
2,70	361	722	1.084	1.445	1.806	2.167	2.528	2.890	3.251	3.612	3.973	4.334	4.695	5.057	5.418
2,80	388	777	1.165	1.554	1.942	2.331	2.719	3.108	3.496	3.884	4.273	4.661	5.050	5.438	5.827
2,90	417	833	1.250	1.667	2.083	2.500	2.917	3.333	3.750	4.167	4.583	5.000	5.417	5.834	6.250
3,00	446	892	1.338	1.784	2.230	2.675	3.121	3.567	4.013	4.459	4.905	5.351	5.797	6.243	6.689
3,10	476	952	1.428	1.905	2.381	2.857	3.333	3.809	4.285	4.761	5.237	5.714	6.190	6.666	7.142
3,20	507	1.015	1.522	2.029	2.537	3.044	3.551	4.059	4.566	5.074	5.581	6.088	6.596	7.103	7.610
3,30	540	1.079	1.619	2.158	2.698	3.237	3.777	4.316	4.856	5.396	5.935	6.475	7.014	7.554	8.093
3,40	573	1.146	1.718	2.291	2.864	3.437	4.009	4.582	5.155	5.728	6.300	6.873	7.446	8.019	8.591
3,50	607	1.214	1.821	2.428	3.035	3.642	4.249	4.885	5.462	6.069	6.676	7.283	7.890	8.497	9.104
3,60	642	1.284	1.926	2.568	3.211	3.853	4.495	5.137	5.779	6.421	7.063	7.705	8.347	8.990	9.632
3,70	678	1.357	2.035	2.713	3.391	4.070	4.748	5.426	6.105	6.783	7.461	8.139	8.818	9.496	10.174
3,80	715	1.431	2.146	2.862	3.577	4.293	5.008	5.724	6.439	7.154	7.870	8.585	9.301	10.016	10.732
3,90	754	1.507	2.261	3.014	3.768	4.522	5.275	6.029	6.782	7.536	8.290	9.043	9.797	10.550	11.304
velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

TAB. 3 - Fattori di conversione per temperature dell'acqua diverse da 80°C

10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
1,029	1,027	1,025	1,021	1,017	1,012	1,006	1,000	0,993

METODO DELLE PORTATE NOMINALI

Questo metodo, definito anche **metodo del coefficiente di portata o della caratteristica di flusso**, si utilizza soprattutto per calcolare le perdite di carico delle valvole.
Esso si basa sulla **determinazione sperimentale della portata** che passa attraverso una resistenza localizzata quando, tra la sua sezione di entrata e quella di uscita, viene mantenuta **una differenza di pressione costante: 1 bar o 0,01 bar.**

PORTATA NOMINALE per D.D.P. = 1 bar (circa 10,2 m c.a.)

Questa differenza di pressione viene utilizzata per determinare la portata nominale delle valvole che normalmente lavorano con portate e prevalenze alquanto elevate.

Per D.D.P. = 1 bar, la portata nominale si indica col simbolo KV.

Noto KV, le perdite di carico corrispondenti ad una generica portata si calcolano con la formula:

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{KV} \right)^2 \qquad (3)$$

dove: ΔP = perdita di carico localizzata, bar
Q = portata effettiva, m^3/h
KV = portata nominale (D.D.P. = 1 bar), m^3/h

Per calcolare ΔP in mm c.a., con la portata Q in l/h e KV in m^3/h, si può utilizzare la relazione:

$$\Delta P = 0{,}0102 \cdot \left(\frac{Q}{KV} \right)^2 \qquad (4)$$

Esempio:

Data una valvola di regolazione con KV = 14 m^3/h, determinare le sue perdite di carico in corrispondenza ad una portata effettiva di 6.000 l/h.

Soluzione:

Il valore richiesto si può determinare direttamente con la formula (4) e risulta:

$$\Delta P = 0{,}0102 \cdot \left(\frac{6.000}{14} \right)^2 = 1.873 \text{ mm c.a.}$$

PORTATA NOMINALE per D.D.P. = 0,01 bar (circa 102 mm c.a.)

Questa differenza di pressione viene utilizzata per determinare la portata nominale delle valvole che normalmente lavorano con portate e prevalenze limitate.

Per D.D.P. = 0,01 bar, la portata nominale si indica col simbolo $KV_{0,01}$.

Noto $KV_{0,01}$, le perdite di carico corrispondenti ad una generica portata si calcolano con la formula:

$$\Delta P = \frac{1}{100} \cdot \left(\frac{Q}{KV_{0,01}} \right)^2 \qquad (5)$$

dove: ΔP = perdita di carico localizzata, bar
Q = portata effettiva, l/h
$KV_{0,01}$ = portata nominale (D.D.P. = 0,01 bar), l/h

Per calcolare DP in mm c.a. si può utilizzare la relazione:

$$\Delta P = 102 \cdot \left(\frac{Q}{KV_{0,01}} \right)^2 \qquad (6)$$

Esempio:

Data una valvola a quattro vie per radiatori con $KV_{0,01}$ = 400 l/h, determinare le sue perdite di carico in corrispondenza ad una portata effettiva di 300 l/h.

Soluzione:

Il valore richiesto si può determinare direttamente con la formula (6) e risulta:

$$\Delta P = 102 \cdot \left(\frac{300}{400} \right)^2 = 57{,}4 \text{ mm c.a.}$$

METODO DELLE LUNGHEZZE EQUIVALENTI

Con questo metodo si sostutisce ogni resistenza localizzata con una lunghezza di tubo equivalente, cioè con una lunghezza di tubo rettilineo in grado di dare le stesse perdite di carico.

Si riconduce, in tal modo, il calcolo delle perdite di carico localizzate a quello delle perdite distribuite.

Il metodo delle lunghezze equivalenti ha il vantaggio di essere facilmente comprensibile e di rendere più semplici le operazioni di calcolo.

Per contro, questo metodo presenta lo svantaggio di essere alquanto impreciso. Al fine di poter assimilare il calcolo delle perdite di carico localizzate a quello delle perdite continue, si devono, infatti, introdurre diverse ipotesi semplificative che possono essere causa di approssimazioni non sempre trascurabili.

Per questo motivo, il metodo delle lunghezze equivalenti non è molto utilizzato nel calcolo degli impianti idro-termosanitari.

E' invece molto utilizzato, per la sua semplicità, nel calcolo delle reti estese (acquedotti, gasdotti, ecc...) dove le perdite di carico localizzate sono una piccola percentuale delle perdite di carico totali e, quindi, eventuali imprecisioni risultano facilmente tollerabili.

Dato il limitato interesse che questo metodo riveste nella progettazione degli impianti idro-termosanitari, non si è ritenuto il caso di riportare tabelle di corrispondenza fra le lunghezze equivalenti e le resistenze localizzate.
In ogni caso tale corrispondenza può essere ricavata dalle tabelle 1a e 1b, mediante le formule (20) e (21).

CORRELAZIONE FRA I DIVERSI METODI DI CALCOLO

Di seguito sono riportate le formule che esprimono i rapporti di dipendenza esistenti fra i diversi metodi utilizzati per calcolare le perdite di carico localizzate.

Simboli adottati:

ξ	coefficiente di perdita localizzata, adimensionale
KV	portata nominale (D.D.P. = 1 bar), m^3/h
$KV_{0,01}$	portata nominale (D.D.P. = 0,01 bar), l/h
Le	lunghezza equivalente, m
D	diametro interno del tubo, mm

Nota: Per esprimere ξ, KV e $KV_{0,01}$ in funzione di Le, si è ipotizzato:

v = 0,7 m/s, velocità del fluido

T = 20°C, temperatura di riferimento.

$$\xi = 0{,}0016 \cdot \frac{D^4}{KV^2} \qquad (7)$$

$$\xi = 16 \cdot \frac{D^4}{(KV_{0,01})^2} \qquad (8)$$

Tubi a bassa rugosità: esempio in rame o in materiale plastico

$$\xi = 61{,}3 \cdot \frac{Le}{D^{1,25}} \qquad (9)$$

Tubi a media rugosità: esempio in acciaio

$$\xi = 78{,}8 \cdot \frac{Le}{D^{1{,}27}} \qquad (10)$$

$$KV = 0{,}04 \cdot \frac{D^{2}}{\xi^{0{,}5}} \qquad (11)$$

$$KV = \frac{KV_{0{,}01}}{100} \qquad (12)$$

Tubi a bassa rugosità: esempio in rame o in materiale plastico

$$KV = 0{,}0051 \cdot \frac{D^{2{,}625}}{Le^{0{,}5}} \qquad (13)$$

Tubi a media rugosità: esempio in acciaio

$$KV = 0{,}0045 \cdot \frac{D^{2{,}635}}{Le^{0{,}5}} \qquad (14)$$

$$KV_{0,01} = 4 \cdot \frac{D^{2}}{\xi^{0,5}} \quad (15)$$

$$KV_{0,01} = 100 \cdot KV \quad (16)$$

Tubi a bassa rugosità: esempio in rame o in materiale plastico

$$KV_{0,01} = 0,51 \cdot \frac{D^{2,625}}{Le^{0,5}} \quad (17)$$

Tubi a media rugosità: esempio in acciaio

$$KV_{0,01} = 0,45 \cdot \frac{D^{2,635}}{Le^{0,5}} \quad (18)$$

Tubi a bassa rugosità: esempio in rame o in materiale plastico

$$Le = 0,0163 \cdot \xi \cdot D^{1,25} \quad (19)$$

Tubi a media rugosità: esempio in acciaio

$$Le = 0{,}0127 \cdot \xi \cdot D^{1{,}27} \qquad (20)$$

Tubi a bassa rugosità: esempio in rame o in materiale plastico

$$Le = 0{,}26 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{D^{5{,}25}}{KV^{2}} \qquad (21)$$

Tubi a media rugosità: esempio in acciaio

$$Le = 0{,}20 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{D^{5{,}27}}{KV^{2}} \qquad (22)$$

Tubi a bassa rugosità: esempio in rame o in materiale plastico

$$Le = 0{,}26 \cdot \frac{D^{5{,}25}}{(KV_{0{,}01})^{2}} \qquad (23)$$

Tubi a media rugosità: esempio in acciaio

$$Le = 0{,}20 \cdot \frac{D^{5{,}27}}{(KV_{0{,}01})^{2}} \qquad (24)$$

PERDITE DI CARICO TOTALI

Sono le perdite di carico (o pressione) che un fluido, in moto attraverso un condotto, subisce a causa delle resistenze continue e localizzate.
Ad esempio, in un impianto di riscaldamento a circolazione forzata, sono le pressioni (o contropressioni) che si oppongono al lavoro delle elettropompe.

Il valore delle perdite di carico totali si determina sommando fra loro le perdite di carico continue e localizzate.
Va evidenziato, però, che il valore così ottenuto non è un valore certo, perché risulta influenzato dall'indeterminazione con cui diversi parametri entrano nei calcoli.

Ad esempio:

- il diametro delle tubazioni può variare per le tolleranze di produzione, per il formarsi di incrostazioni o per il deposito di calcare;
- la viscosità è un parametro non sempre ben conosciuto, specie quando si fanno miscele con liquidi antigelo;
- la rugosità è un fattore difficile da determinare e varia sensibilmente nel tempo;
- la messa in opera delle tubazioni può essere realizzata con giunzioni mal saldate (con sbavature interne), oppure con curve troppo strette e schiacciate;
- lo sviluppo della rete di distribuzione può avvenire con varianti in corso d'opera, dovute ad interferenze con gli altri impianti o ad altri ostacoli non previsti in sede di progetto.

Solo l'attenta valutazione di tutti questi elementi può permettere di scegliere, con coerenza, eventuali coefficienti di sicurezza da adottare.

Di norma, comunque, quando si sceglie una elettropompa, non è necessario incrementare le perdite di carico totali calcolate teoricamente.
L'indeterminazione dei parametri sopra richiamati rientra, infatti, nelle normali tolleranze che caratterizzano il calcolo di qualsiasi impianto idro-termosanitario.

PORTATA DI BILANCIAMENTO

E' la nuova portata che si ottiene variando la prevalenza applicata ad un circuito. La portata di bilanciamento si può calcolare, con buona approssimazione, mediante la formula:

$$G_1 = G \cdot \left(\frac{H_1}{H} \right)^{0,525} \qquad (1)$$

dove: G_1 = portata di bilanciamento (nuova portata)
H_1 = nuova prevalenza del circuito
G = portata del circuito da bilanciare
H = prevalenza del circuito da bilanciare

Nota:
Le grandezze G_1 e G, così come H_1 e H, devono essere espresse con unità di misura fra loro omogenee.
Se ad esempio G è dato in m^3/h, anche G_1 dovrà risultare espresso nella stessa unità di misura.

La formula (1) è derivata dalla teoria generale della dinamica dei fluidi e si basa sull'ipotesi che, in un circuito idraulico, le perdite di carico totali risultino mediamente dipendenti dalla portata secondo un esponente pari a 1,9.
Tale formula è applicabile ai circuiti con tubi a bassa, media e elevata rugosità (ved. PERDITE DI CARICO CONTINUE).

Il rapporto fra la nuova portata G_1 e quella del circuito da bilanciare G determina il valore del fattore moltiplicativo F:

$$F = \frac{G_1}{G} \qquad (2)$$

che serve per calcolare la portata di ogni derivazione, o di ogni corpo scaldante, del circuito dopo il suo bilanciamento.

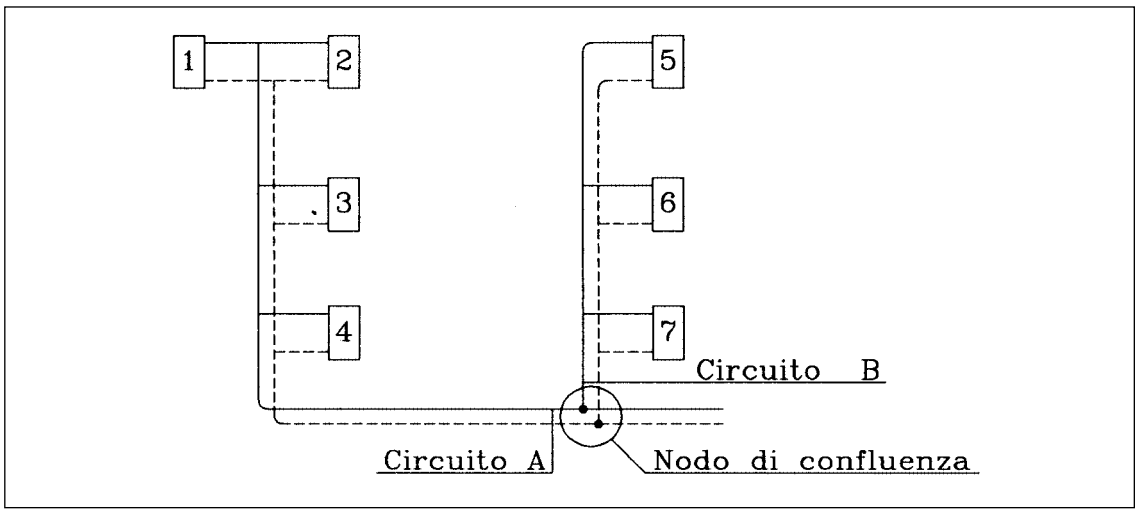
Esempio - Bilanciamento di circuiti tradizionali a due tubi

Siano A e B due circuiti indipendenti con le seguenti caratteristiche:

circuito A: H_A = 980 mm c.a. (prevalenza)
G_A = 550 l/h (portata)
G_1 = 160 l/h; G_2 = 140 l/h; G_3 = 140 l/h; G_4 = 110 l/h (portata dei corpi scaldanti)

circuito B: H_B = 700 mm c.a. (prevalenza)
G_B = 360 l/h (portata)
G_5 = 140 l/h; G_6 = 120 l/h; G_7 = 100 l/h (portata dei corpi scaldanti)

determinare le loro nuove caratteristiche idrauliche nel caso in cui essi confluiscano in uno stesso nodo.



Soluzione

Nel nodo di confluenza i circuiti A e B vengono ad avere la stessa differenza di pressione (la stessa prevalenza).
In genere si assume come prevalenza al nodo (cioè come prevalenza di bilanciamento) quella che corrisponde a uno dei circuiti da bilanciare. E' possibile, però, assumere anche valori diversi.
Gli esempi numerici che seguono, servono ad evidenziare la correlazione esistente fra i valori possibili di bilanciamento e le relative variazioni di portata.

1) Bilanciamento alla prevalenza maggiore: Hn = H_A = 980 mm c.a. (si deve bilanciare solo il circuito B)

Dalla (1), la nuova portata del circuito B risulta:

$$G_{Bn} = G_B \cdot \left(\frac{Hn}{H_B} \right)^{0,525} = 360 \cdot \left(\frac{980}{700} \right)^{0,525} = 429,5 \text{ l/h}$$

dalla (2) si ottiene: F = 429,5 / 360 = 1,193
che serve a determinare le nuove portate dei singoli corpi scaldanti del circuito B.

$G_5 = 140 \cdot F = 167$ l/h; $G_6 = 120 \cdot F = 143$ l/h; $G_7 = 100 \cdot F = 119$ l/h.

2) Bilanciamento alla prevalenza minore: Hn = H_B = 700 mm c.a. (si deve bilanciare solo il circuito A)

Dalla (1), la nuova portata del circuito A risulta:

$$G_{An} = G_A \cdot \left(\frac{Hn}{H_A} \right)^{0,525} = 550 \cdot \left(\frac{700}{980} \right)^{0,525} = 460,9 \text{ l/h}$$

dalla (2) si ottiene: F = 460,9 / 550 = 0,838
che serve a determinare le nuove portate dei singoli corpi scaldanti del circuito A.

$G_1 = 160 \cdot F = 134$ l/h; $G_2 = 140 \cdot F = 117$ l/h; $G_3 = 140 \cdot F = 117$ l/h; $G_4 = 110 \cdot F = 92$ l/h.

3) Bilanciamento alla prevalenza media: Hn = (H_B + H_A) / 2 = 840 mm c.a.

In questo caso si deve bilanciare sia il circuito A, sia il circuito B.

Dalla (1), le nuove portate dei circuiti A e B risultano:

$$G_{An} = G_A \cdot \left(\frac{Hn}{H_A} \right)^{0,525} = 550 \cdot \left(\frac{840}{980} \right)^{0,525} = 507,2 \text{ l/h}$$

$$G_{Bn} = G_B \cdot \left(\frac{Hn}{H_B} \right)^{0,525} = 360 \cdot \left(\frac{840}{700} \right)^{0,525} = 396,2 \text{ l/h}$$

dalle (2) si ottengono: F_A = 507,2 / 550 = 0,922 e F_B = 396,2 / 360 = 1,101
che servono a determinare le nuove portate dei singoli corpi scaldanti dei circuiti A e B.

$G_1 = 160 \cdot F = 147$ l/h; $G_2 = 140 \cdot F = 129$ l/h; $G_3 = 140 \cdot F = 129$ l/h; $G_4 = 110 \cdot F = 101$ l/h;

$G_5 = 140 \cdot F = 154$ l/h; $G_6 = 120 \cdot F = 132$ l/h; $G_7 = 100 \cdot F = 110$ l/h.

Osservazioni:

Il bilanciamento alla prevalenza maggiore garantisce una buona resa dei corpi scaldanti (in quanto aumenta la portata che li attraversa nel circuito dimensionato a prevalenza minore), ma può causare, nello stesso circuito, velocità troppo elevate.

Il bilanciamento alla prevalenza minore non causa velocità troppo elevate, ma diminuisce la resa termica del circuito dimensionato a prevalenza maggiore.

Il bilanciamento alla prevalenza media (o intermedia) consente un compromesso tra i vantaggi e gli svantaggi dei due sistemi sopra esaminati.

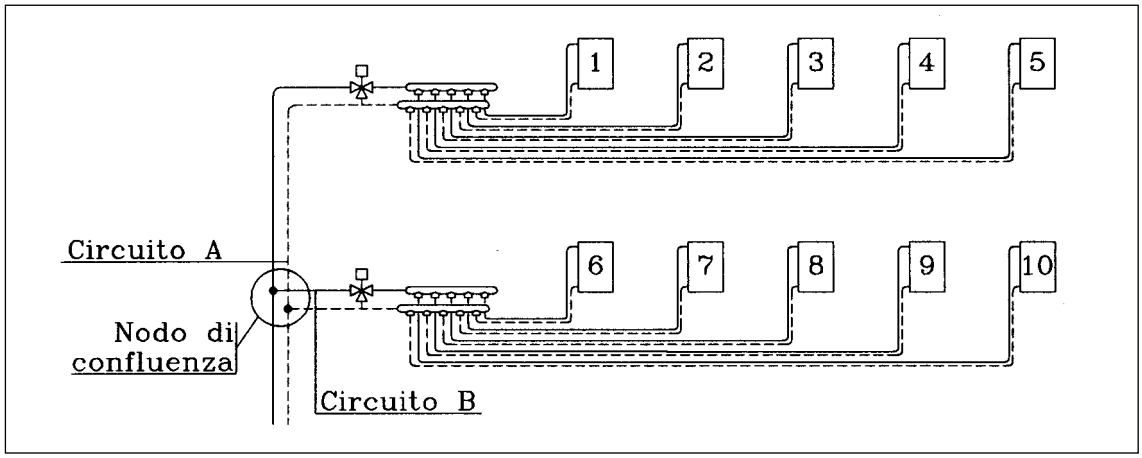
Esempio - Bilanciamento di circuiti a zona con corpi scalanti in parallelo

Siano A e B due circuiti indipendenti con le seguenti caratteristiche:

circuito A: H_A = 1.500 mm c.a. (prevalenza);
G_A = 510 l/h (portata)
G_1 = 100 l/h; G_2 = 120 l/h; G_3 = 115 l/h; G_4 = 80 l/h; G_5 = 95 l/h (portata radiatori)

circuito B: H_B = 1.200 mm c.a. (prevalenza);
G_B = 470 l/h (portata)
G_6 = 90 l/h; G_7 = 110 l/h; G_8 = 105 l/h; G_9 = 75 l/h; G_{10} = 90 l/h (portata radiatori)

determinare le loro nuove caratteristiche idrauliche nel caso in cui essi confluiscano in uno stesso nodo.



Soluzione

Nel nodo di confluenza i circuiti A e B vengono ad avere la stessa prevalenza. Di seguito si analizzano i casi di bilanciamento alla prevalenza maggiore e a quella minore.

1) Bilanciamento alla prevalenza maggiore: $H_n = H_A$ = 1.500 mm c.a. (si deve bilanciare solo il circuito B)

Dalla (1), la nuova portata del circuito B risulta:

$$G_{Bn} = G_B \cdot \left(\frac{H_n}{H_B} \right)^{0,525} = 470 \cdot \left(\frac{1.500}{1.200} \right)^{0,525} = 528,4 \text{ l/h}$$

dalla (2) si ottiene: F = 528,4 / 470 = 1,124 che consente di ricavare le nuove portate dei radiatori:

$G_6 = 90 \cdot F = 101$; $G_7 = 110 \cdot F = 124$; $G_8 = 105 \cdot F = 118$; $G_9 = 75 \cdot F = 84$; $G_{10} = 90 \cdot F = 101$ l/h.

2) Bilanciamento alla prevalenza minore: $H_n = H_B$ = 1.200 mm c.a. (si deve bilanciare solo il circuito A)

Dalla (1), la nuova portata del circuito A risulta:

$$G_{An} = G_A \cdot \left(\frac{H_n}{H_A} \right)^{0,525} = 510 \cdot \left(\frac{1.200}{1.500} \right)^{0,525} = 453,6 \text{ l/h}$$

dalla (2) si ottiene: F = 453,6 / 510 = 0,889 che consente di ricavare le nuove portate dei radiatori:

$G_1 = 100 \cdot F = 89$; $G_2 = 120 \cdot F = 107$; $G_3 = 115 \cdot F = 102$; $G_4 = 80 \cdot F = 71$; $G_5 = 95 \cdot F = 84$ l/h.

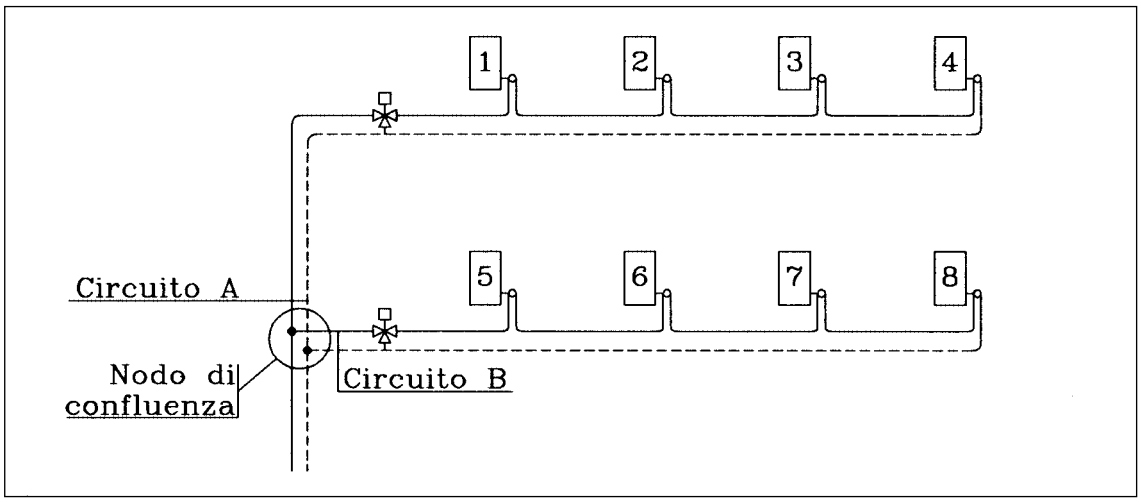
Esempio - Bilanciamento di circuiti a zona con corpi scalanti in serie

Siano A e B due circuiti indipendenti con le seguenti caratteristiche:

circuito A: H_A = 1.800 mm c.a. (prevalenza)
G_A = 500 l/h (portata)

circuito B: H_B = 1.300 mm c.a. (prevalenza)
G_B = 350 l/h (portata)

determinare le loro nuove caratteristiche idrauliche nel caso in cui essi confluiscano in uno stesso nodo.



Soluzione

Nel nodo di confluenza i circuiti A e B vengono ad avere la stessa prevalenza. Di seguito si analizzano i casi di bilanciamento alla prevalenza maggiore e a quella minore.

1) Bilanciamento alla prevalenza maggiore: $H_n = H_A$ = 1.800 mm c.a. (si deve bilanciare solo il circuito B)

Dalla (1), la nuova portata del circuito B risulta:

$$G_{Bn} = G_B \cdot \left(\frac{H_n}{H_B} \right)^{0,525} = 350 \cdot \left(\frac{1.800}{1.300} \right)^{0,525} = 415,2 \text{ l/h}$$

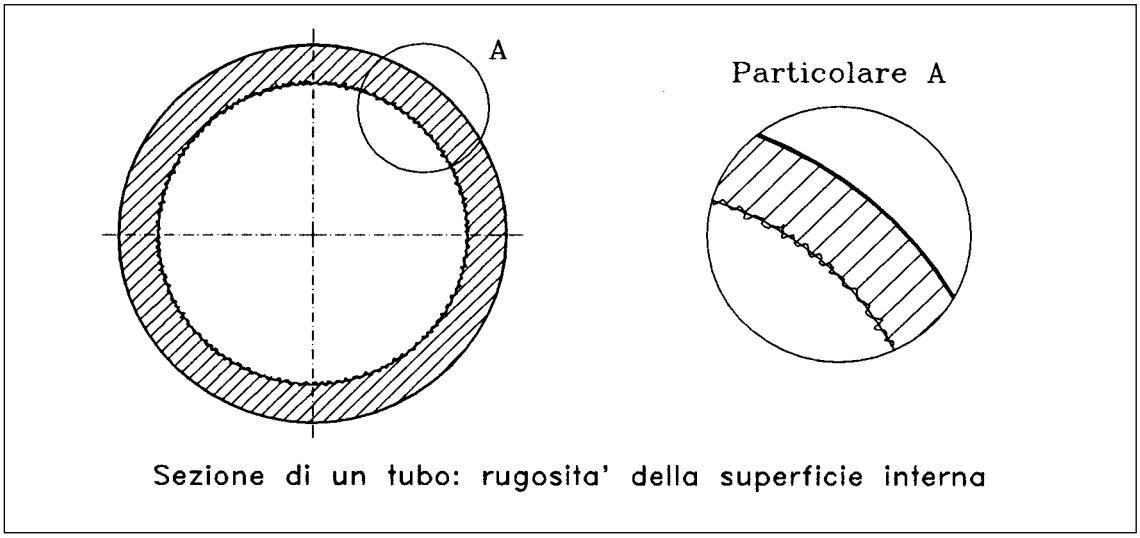
2) Bilanciamento alla prevalenza minore: $H_n = H_B$ = 1.300 mm c.a. (si deve bilanciare solo il circuito A)

Dalla (1), la nuova portata del circuito A risulta:

$$G_{An} = G_A \cdot \left(\frac{H_n}{H_A} \right)^{0,525} = 500 \cdot \left(\frac{1.300}{1.800} \right)^{0,525} = 421,5 \text{ l/h}$$

RUGOSITÀ

E' una grandezza che esprime il valore medio delle irregolarità (creste, solchi, ecc...) di una superficie. In genere si rappresenta col simbolo k e si misura in metri o in millimetri.



Sezione di un tubo: rugosita' della superficie interna

In termotecnica, la rugosità serve a determinare le perdite di carico continue nei condotti attraversati da fluidi in moto turbolento.

TAB. 1 - Valori di rugosità (mm) relativi a tubazioni commerciali

Rame incrudito e ricotto	0,001 < k < 0,003
Materiali plastici	0,002 < k < 0,007
Acciaio zincato	0,020 < k < 0,030
Acciaio nero	0,040 < k < 0,090
Acciaio corroso o incrostato	0,200 < k < 1,000

TUBI IN ACCIAIO

Sono chiamati anche impropriamente “tubi in ferro”.

Le loro caratteristiche meccaniche dipendono sia dal tipo di acciaio utilizzato, sia dai trattamenti termici a cui sono stati sottoposti.

Normalmente sono venduti in barre lunghe da 4 a 7 metri, con estremità liscie, smussate o filettate.

I tubi in acciaio sono disponibili anche con protezioni contro la corrosione e con preisolamento termico.
Le protezioni contro la corrosione sono ottenute rivestendo le superfici dei tubi con zinco, bitume o resine.
Il preisolamento è realizzato, invece, con schiume di poliuretano protette all’esterno mediante tubi in polietilene nero.

I collegamenti fra tubo e tubo si possono realizzare con manicotti, con flange oppure con saldatura.

Per il normale uso idrotermosanitario, questi tubi sono forniti dopo prova di tenuta idraulica eseguita a freddo (cioè a 20°C) con pressioni variabili tra 40 e 70 atmosfere.
Per applicazioni con temperature inferiori a -10°C o superiori a 110°C, è consigliabile utilizzare tubi in acciaio speciale. I tubi in acciaio normale risultano, infatti, fragili a temperature basse e poco resistenti a temperature elevate.

Secondo i procedimenti attuali di fabbricazione i tubi in acciaio si possono suddividere in tre categorie: tubi senza saldatura, tubi saldati elettricamente, tubi saldati Fretz Moon.

TUBI SENZA SALDATURA

Sono derivati da barre o da lingotti che vengono riscaldati in forno, forati, estrusi, laminati, tagliati e rifiniti, fino a raggiungere la configurazione voluta.

I primi tubi in acciaio senza saldatura furono relizzati, nel 1885, dai fratelli Mannesmann mediante uno speciale laminatoio perforatore ad asse obliquo.
Per questo, anche se attualmente vengono prodotti con tecniche diverse, tutti i tubi in acciaio senza saldatura sono genericamente chiamati tubi “Mannesmann”.

TUBI SALDATI ELETTRICAMENTE

Sono derivati da nastri in acciaio sagomati a freddo.

Appositi laminatoi conformano a tubo i nastri d'acciaio. I lembi di questi nastri sono poi accostati, riscaldati per effetto Joule e saldati mediante compressione. Le operazioni di finitura sono realizzate con cilindri calibratori.

I tubi saldati elettricamente per resistenza sono individuati anche con la sigla ERW (Electric Resistence Welded).

TUBI SALDATI FRETZ MOON

Sono fabbricati con nastri in acciaio lavorati a caldo.

Nella prima fase di lavorazione, i nastri vengono scaldati in un forno fino alla temperatura di 1300-1350°C; sono poi conformati a tubo con i lembi accostati.
Successivamente, tali lembi vengono riscaldati a fiamma (fino a circa 1450°C) e saldati fra loro mediante compressione.
Le operazioni di finitura sono realizzate con cilindri calibratori.

Questi tubi derivano il loro nome dai due inventori che, per primi (nel 1920), riuscirono a produrre tubi con nastri in acciaio lavorati in continuo e integralmente a caldo.
I FRETZ MOON sono chiamati anche tubi bollitori perchè, in metallurgia, il processo di saldatura con cui sono prodotti si chiama bollitura.

Tabelle allegate:

- Nella tabella 1 sono riportate le caratteristiche principali delle tubazioni conformi alle norme:
  UNI 8863 - Tubi di acciaio non legato, serie leggera (da 3/8" a 4")
  UNI 8863 FA1 - Tubi di acciaio non legato, serie media (da 5" a 6").
- Nella tabella 2 sono riportate le caratteristiche principali delle tubazioni conformi alle norme:
  UNI 7287 - Tubi di acciaio non legato con estremità lisce senza prescrizioni di qualità.
- Dalla tabella 1 alla tabella 8 sono riportate le PERDITE DI CARICO CONTINUE (ved. relativa voce) dei tubi in acciaio, calcolate mediante le formule:
  (6.2) per il moto laminare;
  (11.2) per il moto turbolento.

Nota: I valori delle portate segnati con asterisco si riferiscono a condizioni di moto laminare.

TAB. 1 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN ACCIAIO, diametri in pollici

diametro pollici	diametro esterno mm	diametro interno mm	superficie esterna m^2/m	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo nero kg/m	peso tubo zincato kg/m
3/8”	16,7	12,7	0,052	127	0,13	0,72	0,78
1/2”	21,0	16,3	0,066	209	0,21	1,08	1,16
3/4”	26,4	21,7	0,083	370	0,37	1,39	1,48
1”	33,2	27,4	0,104	589	0,59	2,17	2,30
1 1/4”	41,9	36,1	0,132	1.023	1,02	2,79	2,95
1 1/2”	47,8	42,0	0,150	1.385	1,38	3,21	3,40
2”	59,6	53,1	0,187	2.213	2,21	4,51	4,77
2 1/2”	75,2	68,7	0,236	3.705	3,70	5,76	6,12
3”	87,9	80,6	0,276	5.100	5,10	7,58	8,03
4”	113,0	104,9	0,355	8.638	8,64	10,88	11,58
5”	138,5	128,8	0,435	13.023	13,02	15,98	16,88
6”	163,9	154,2	0,515	18.665	18,67	19,01	20,02

TAB. 2 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN ACCIAIO, diametri in mm

diametro esterno mm	diametro interno mm	superficie esterna m^2/m	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
30,0	25,4	0,094	506	0,51	1,57
33,7	29,1	0,106	665	0,66	1,78
38,0	32,8	0,119	845	0,84	2,27
42,4	37,2	0,133	1.086	1,09	2,55
44,5	39,3	0,140	1.212	1,21	2,69
48,3	43,1	0,152	1.458	1,46	2,93
54,0	48,8	0,170	1.869	1,87	3,29
57,0	51,2	0,179	2.058	2,06	3,87
60,3	54,5	0,189	2.332	2,33	4,10
70,0	64,2	0,220	3.235	3,24	4,80
76,1	70,3	0,239	3.880	3,88	5,23
88,9	82,5	0,279	5.343	5,34	6,76
101,6	94,4	0,319	6.995	7,00	8,70
108,0	100,8	0,339	7.976	7,98	9,26
114,3	107,1	0,359	9.004	9,00	9,82
133,0	125,0	0,418	12.266	12,27	12,72
139,7	131,7	0,439	13.616	13,62	13,38
159,0	150,0	0,499	17.663	17,66	17,14
168,3	159,3	0,528	19.921	19,92	18,17
193,7	182,9	0,608	26.260	26,26	25,06
219,1	207,3	0,688	33.734	33,73	31,01
244,5	231,9	0,768	42.215	42,22	36,99
273,0	260,4	0,857	53.229	53,23	41,42
323,9	309,7	1,017	75.295	75,29	55,44

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 3 -TUBI IN ACCIAIO (pollici) Temp. acqua = 10°C

D	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
Di	12,7	16,3	21,7	27,4	36,1	42	53,1	68,7	80,6	104,9	128,8	154,2
r	G v											
2	35* *0,08*	90* *0,12*	186 *0,14*	347 *0,16*	727 *0,20*	1.090 *0,22*	2.043 *0,26*	4.074 *0,31*	6.251 *0,34*	12.663 *0,41*	21.946 *0,47*	35.545 *0,53*
4	69* *0,15*	125 *0,17*	269 *0,20*	503 *0,24*	1.053 *0,29*	1.579 *0,32*	2.960 *0,37*	5.903 *0,44*	9.056 *0,49*	18.345 *0,59*	31.793 *0,68*	51.494 *0,77*
6	80 *0,17*	155 *0,21*	334 *0,25*	625 *0,29*	1.308 *0,35*	1.962 *0,39*	3.677 *0,46*	7.332 *0,55*	11.248 *0,61*	22.787 *0,73*	39.491 *0,84*	63.963 *0,95*
8	93 *0,20*	181 *0,24*	390 *0,29*	729 *0,34*	1.525 *0,41*	2.288 *0,46*	4.289 *0,54*	8.551 *0,64*	13.119 *0,71*	26.576 *0,85*	46.059 *0,98*	74.600 *1,11*
10	105 *0,23*	204 *0,27*	439 *0,33*	821 *0,39*	1.719 *0,47*	2.578 *0,52*	4.832 *0,61*	9.635 *0,72*	14.781 *0,80*	29.945 *0,96*	51.897 *1,11*	84.055 *1,25*
12	115 *0,25*	225 *0,30*	484 *0,36*	905 *0,43*	1.895 *0,51*	2.842 *0,57*	5.327 *0,67*	10.621 *0,80*	16.295 *0,89*	33.011 *1,06*	57.211 *1,22*	92.663 *1,38*
14	125 *0,27*	244 *0,33*	526 *0,40*	983 *0,46*	2.057 *0,56*	3.086 *0,62*	5.785 *0,73*	11.534 *0,86*	17.695 *0,96*	35.848 *1,15*	62.127 *1,32*	100.625 *1,50*
16	135 *0,29*	263 *0,35*	565 *0,42*	1.056 *0,50*	2.210 *0,60*	3.315 *0,66*	6.213 *0,78*	12.388 *0,93*	19.005 *1,03*	38.501 *1,24*	66.726 *1,42*	108.073 *1,61*
18	143 *0,31*	280 *0,37*	602 *0,45*	1.124 *0,53*	2.353 *0,64*	3.530 *0,71*	6.617 *0,83*	13.193 *0,99*	20.241 *1,10*	41.004 *1,32*	71.064 *1,52*	115.099 *1,71*
20	152 *0,33*	296 *0,39*	637 *0,48*	1.189 *0,56*	2.490 *0,68*	3.735 *0,75*	7.000 *0,88*	13.958 *1,05*	21.414 *1,17*	43.381 *1,39*	75.182 *1,60*	121.770 *1,81*
22	159 *0,35*	311 *0,41*	670 *0,50*	1.251 *0,59*	2.620 *0,71*	3.930 *0,79*	7.366 *0,92*	14.688 *1,10*	22.534 *1,23*	45.649 *1,47*	79.114 *1,69*	128.138 *1,91*
24	167 *0,37*	326 *0,43*	702 *0,53*	1.311 *0,62*	2.745 *0,74*	4.117 *0,83*	7.717 *0,97*	15.387 *1,15*	23.607 *1,29*	47.823 *1,54*	82.882 *1,77*	134.241 *2,00*
26	174 *0,38*	340 *0,45*	733 *0,55*	1.368 *0,64*	2.865 *0,78*	4.297 *0,86*	8.055 *1,01*	16.060 *1,20*	24.639 *1,34*	49.915 *1,60*	86.507 *1,84*	140.111 *2,08*
28	181 *0,40*	354 *0,47*	762 *0,57*	1.424 *0,67*	2.980 *0,81*	4.471 *0,90*	8.380 *1,05*	16.709 *1,25*	25.635 *1,40*	51.933 *1,67*	90.004 *1,92*	145.776 *2,17*
30	188 *0,41*	367 *0,49*	791 *0,59*	1.477 *0,70*	3.092 *0,84*	4.639 *0,93*	8.695 *1,09*	17.337 *1,30*	26.599 *1,45*	53.885 *1,73*	93.386 *1,99*	151.254 *2,25*
35	204 *0,45*	399 *0,53*	859 *0,65*	1.604 *0,76*	3.358 *0,91*	5.038 *1,01*	9.443 *1,18*	18.827 *1,41*	28.884 *1,57*	58.515 *1,88*	101.411 *2,16*	164.251 *2,44*
40	220 *0,48*	429 *0,57*	922 *0,69*	1.723 *0,81*	3.607 *0,98*	5.411 *1,08*	10.142 *1,27*	20.221 *1,52*	31.022 *1,69*	62.846 *2,02*	108.917 *2,32*	176.409 *2,62*
45	234 *0,51*	456 *0,61*	982 *0,74*	1.835 *0,86*	3.841 *1,04*	5.762 *1,16*	10.801 *1,35*	21.535 *1,61*	33.039 *1,80*	66.931 *2,15*	115.998 *2,47*	187.877 *2,79*
50	247 *0,54*	483 *0,64*	1.039 *0,78*	1.941 *0,91*	4.064 *1,10*	6.096 *1,22*	11.427 *1,43*	22.784 *1,71*	34.954 *1,90*	70.811 *2,28*	122.721 *2,62*	198.767 *2,96*
60	273 *0,60*	532 *0,71*	1.146 *0,86*	2.140 *1,01*	4.480 *1,22*	6.721 *1,35*	12.597 *1,58*	25.117 *1,88*	38.534 *2,10*	78.062 *2,51*	135.289 *2,88*	219.122 *3,26*
70	296 *0,65*	578 *0,77*	1.244 *0,93*	2.324 *1,09*	4.865 *1,32*	7.298 *1,46*	13.680 *1,72*	27.275 *2,04*	41.845 *2,28*	84.770 *2,72*	146.914 *3,13*	237.951 *3,54*
80	318 *0,70*	621 *0,83*	1.336 *1,00*	2.496 *1,18*	5.225 *1,42*	7.838 *1,57*	14.692 *1,84*	29.294 *2,20*	44.942 *2,45*	91.044 *2,93*	157.788 *3,36*	255.563 *3,80*
90	339 *0,74*	661 *0,88*	1.423 *1,07*	2.658 *1,25*	5.565 *1,51*	8.348 *1,67*	15.647 *1,96*	31.198 *2,34*	47.864 *2,61*	96.963 *3,12*	168.046 *3,58*	
100	358 *0,79*	699 *0,93*	1.506 *1,13*	2.812 *1,32*	5.887 *1,60*	8.832 *1,77*	16.554 *2,08*	33.007 *2,47*	50.638 *2,76*	102.584 *3,30*	177.786 *3,79*	
150	445 *0,98*	869 *1,16*	1.870 *1,40*	3.493 *1,65*	7.313 *1,98*	10.970 *2,20*	20.562 *2,58*	40.998 *3,07*	62.899 *3,42*			
200	519 *1,14*	1.013 *1,35*	2.181 *1,64*	4.074 *1,92*	8.529 *2,31*	12.795 *2,57*	23.982 *3,01*	47.817 *3,58*	73.359 *3,99*			

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 4 - TUBI IN ACCIAIO (pollici) Temp. acqua = 50°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

D	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
Di	12,7	16,3	21,7	27,4	36,1	42	53,1	68,7	80,6	104,9	128,8	154,2
r	G v											
2	47 *0,10*	92 *0,12*	199 *0,15*	371 *0,17*	777 *0,21*	1.166 *0,23*	2.185 *0,27*	4.357 *0,33*	6.685 *0,36*	13.542 *0,44*	23.470 *0,50*	38.014 *0,57*
4	71 *0,16*	134 *0,18*	288 *0,22*	538 *0,25*	1.126 *0,31*	1.689 *0,34*	3.166 *0,40*	6.312 *0,47*	9.684 *0,53*	19.619 *0,63*	34.001 *0,72*	55.071 *0,82*
6	85 *0,19*	166 *0,22*	358 *0,27*	668 *0,31*	1.399 *0,38*	2.098 *0,42*	3.933 *0,49*	7.841 *0,59*	12.029 *0,65*	24.369 *0,78*	42.234 *0,90*	68.405 *1,02*
8	99 *0,22*	194 *0,26*	417 *0,31*	779 *0,37*	1.631 *0,44*	2.447 *0,49*	4.586 *0,58*	9.145 *0,69*	14.030 *0,76*	28.422 *0,91*	49.258 *1,05*	79.781 *1,19*
10	112 *0,25*	218 *0,29*	470 *0,35*	878 *0,41*	1.838 *0,50*	2.757 *0,55*	5.168 *0,65*	10.304 *0,77*	15.808 *0,86*	32.024 *1,03*	55.500 *1,18*	89.892 *1,34*
12	123 *0,27*	241 *0,32*	518 *0,39*	968 *0,46*	2.026 *0,55*	3.039 *0,61*	5.697 *0,71*	11.359 *0,85*	17.427 *0,95*	35.304 *1,13*	61.184 *1,30*	99.098 *1,47*
14	134 *0,29*	261 *0,35*	563 *0,42*	1.051 *0,50*	2.200 *0,60*	3.301 *0,66*	6.187 *0,78*	12.335 *0,92*	18.924 *1,03*	38.337 *1,23*	66.442 *1,42*	107.613 *1,60*
16	144 *0,32*	281 *0,37*	604 *0,45*	1.129 *0,53*	2.363 *0,64*	3.545 *0,71*	6.644 *0,83*	13.248 *0,99*	20.325 *1,11*	41.175 *1,32*	71.360 *1,52*	115.578 *1,72*
18	153 *0,34*	299 *0,40*	644 *0,48*	1.202 *0,57*	2.517 *0,68*	3.775 *0,76*	7.076 *0,89*	14.109 *1,06*	21.646 *1,18*	43.852 *1,41*	75.999 *1,62*	123.092 *1,83*
20	162 *0,36*	316 *0,42*	681 *0,51*	1.272 *0,60*	2.663 *0,72*	3.994 *0,80*	7.487 *0,94*	14.927 *1,12*	22.901 *1,25*	46.393 *1,49*	80.404 *1,71*	130.227 *1,94*
22	171 *0,37*	333 *0,44*	716 *0,54*	1.338 *0,63*	2.802 *0,76*	4.203 *0,84*	7.878 *0,99*	15.708 *1,18*	24.098 *1,31*	48.819 *1,57*	84.608 *1,80*	137.036 *2,04*
24	179 *0,39*	349 *0,46*	751 *0,56*	1.402 *0,66*	2.935 *0,80*	4.403 *0,88*	8.253 *1,04*	16.456 *1,23*	25.246 *1,37*	51.144 *1,64*	88.638 *1,89*	143.563 *2,14*
26	187 *0,41*	364 *0,48*	783 *0,59*	1.463 *0,69*	3.064 *0,83*	4.596 *0,92*	8.614 *1,08*	17.176 *1,29*	26.350 *1,43*	53.381 *1,72*	92.514 *1,97*	149.841 *2,23*
28	194 *0,43*	379 *0,50*	815 *0,61*	1.523 *0,72*	3.187 *0,87*	4.782 *0,96*	8.962 *1,12*	17.870 *1,34*	27.415 *1,49*	55.539 *1,79*	96.254 *2,05*	155.899 *2,32*
30	201 *0,44*	393 *0,52*	846 *0,64*	1.580 *0,74*	3.307 *0,90*	4.961 *0,99*	9.299 *1,17*	18.541 *1,39*	28.446 *1,55*	57.626 *1,85*	99.872 *2,13*	161.758 *2,41*
35	219 *0,48*	427 *0,57*	918 *0,69*	1.716 *0,81*	3.591 *0,97*	5.388 *1,08*	10.098 *1,27*	20.135 *1,51*	30.890 *1,68*	62.578 *2,01*	108.453 *2,31*	175.657 *2,61*
40	235 *0,51*	458 *0,61*	986 *0,74*	1.843 *0,87*	3.857 *1,05*	5.786 *1,16*	10.846 *1,36*	21.625 *1,62*	33.177 *1,81*	67.210 *2,16*	116.481 *2,48*	188.659 *2,81*
45	250 *0,55*	488 *0,65*	1.051 *0,79*	1.962 *0,92*	4.108 *1,11*	6.163 *1,24*	11.551 *1,45*	23.031 *1,73*	35.333 *1,92*	71.579 *2,30*	124.053 *2,64*	200.925 *2,99*
50	265 *0,58*	516 *0,69*	1.111 *0,83*	2.076 *0,98*	4.346 *1,18*	6.520 *1,31*	12.220 *1,53*	24.366 *1,83*	37.381 *2,04*	75.728 *2,43*	131.243 *2,80*	212.570 *3,16*
60	292 *0,64*	569 *0,76*	1.225 *0,92*	2.289 *1,08*	4.791 *1,30*	7.187 *1,44*	13.472 *1,69*	26.861 *2,01*	41.210 *2,24*	83.483 *2,68*	144.684 *3,08*	234.339 *3,49*
70	317 *0,69*	618 *0,82*	1.331 *1,00*	2.485 *1,17*	5.203 *1,41*	7.805 *1,56*	14.629 *1,84*	29.169 *2,19*	44.751 *2,44*	90.657 *2,91*	157.116 *3,35*	254.475 *3,79*
80	340 *0,75*	664 *0,88*	1.429 *1,07*	2.669 *1,26*	5.588 *1,52*	8.383 *1,68*	15.712 *1,97*	31.328 *2,35*	48.063 *2,62*	97.367 *3,13*	168.746 *3,60*	
90	362 *0,79*	707 *0,94*	1.522 *1,14*	2.843 *1,34*	5.951 *1,62*	8.928 *1,79*	16.734 *2,10*	33.365 *2,50*	51.188 *2,79*	103.697 *3,33*	179.716 *3,83*	
100	383 *0,84*	748 *1,00*	1.610 *1,21*	3.008 *1,42*	6.296 *1,71*	9.445 *1,89*	17.704 *2,22*	35.299 *2,65*	54.154 *2,95*	109.707 *3,53*		
150	476 *1,04*	929 *1,24*	2.000 *1,50*	3.736 *1,76*	7.821 *2,12*	11.732 *2,35*	21.990 *2,76*	43.846 *3,29*	67.267 *3,66*			
200	555 *1,22*	1.084 *1,44*	2.333 *1,75*	4.357 *2,05*	9.121 *2,48*	13.683 *2,74*	25.647 *3,22*	51.137 *3,83*				

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 5 - TUBI IN ACCIAIO (pollici) Temp. acqua = 80°C

D	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"
Di	12,7	16,3	21,7	27,4	36,1	42	53,1	68,7	80,6	104,9	128,8	154,2
r	G v											
2	49 *0,11*	95 *0,13*	205 *0,15*	383 *0,18*	802 *0,22*	1.204 *0,24*	2.256 *0,28*	4.498 *0,34*	6.901 *0,38*	13.979 *0,45*	24.228 *0,52*	39.241 *0,58*
4	74 *0,16*	138 *0,18*	297 *0,22*	555 *0,26*	1.162 *0,32*	1.744 *0,35*	3.268 *0,41*	6.516 *0,49*	9.997 *0,54*	20.252 *0,65*	35.099 *0,75*	56.848 *0,85*
6	88 *0,19*	172 *0,23*	369 *0,28*	690 *0,32*	1.444 *0,39*	2.166 *0,43*	4.059 *0,51*	8.094 *0,61*	12.417 *0,68*	25.156 *0,81*	43.597 *0,93*	70.612 *1,05*
8	103 *0,22*	200 *0,27*	431 *0,32*	804 *0,38*	1.684 *0,46*	2.526 *0,51*	4.735 *0,59*	9.440 *0,71*	14.483 *0,79*	29.339 *0,94*	50.847 *1,08*	82.355 *1,22*
10	115 *0,25*	225 *0,30*	485 *0,36*	906 *0,43*	1.897 *0,51*	2.846 *0,57*	5.335 *0,67*	10.636 *0,80*	16.318 *0,89*	33.058 *1,06*	57.292 *1,22*	92.793 *1,38*
12	127 *0,28*	248 *0,33*	535 *0,40*	999 *0,47*	2.091 *0,57*	3.138 *0,63*	5.881 *0,74*	11.726 *0,88*	17.989 *0,98*	36.443 *1,17*	63.159 *1,35*	102.296 *1,52*
14	138 *0,30*	270 *0,36*	581 *0,44*	1.085 *0,51*	2.271 *0,62*	3.407 *0,68*	6.386 *0,80*	12.733 *0,95*	19.535 *1,06*	39.574 *1,27*	68.586 *1,46*	111.086 *1,65*
16	149 *0,33*	290 *0,39*	624 *0,47*	1.165 *0,55*	2.439 *0,66*	3.659 *0,73*	6.859 *0,86*	13.676 *1,02*	20.981 *1,14*	42.504 *1,37*	73.662 *1,57*	119.308 *1,77*
18	158 *0,35*	309 *0,41*	664 *0,50*	1.241 *0,58*	2.598 *0,71*	3.897 *0,78*	7.305 *0,92*	14.565 *1,09*	22.345 *1,22*	45.267 *1,45*	78.451 *1,67*	127.065 *1,89*
20	167 *0,37*	327 *0,43*	703 *0,53*	1.313 *0,62*	2.748 *0,75*	4.123 *0,83*	7.728 *0,97*	15.409 *1,15*	23.640 *1,29*	47.891 *1,54*	82.998 *1,77*	134.429 *2,00*
22	176 *0,39*	344 *0,46*	740 *0,56*	1.382 *0,65*	2.892 *0,78*	4.339 *0,87*	8.132 *1,02*	16.215 *1,22*	24.876 *1,35*	50.395 *1,62*	87.338 *1,86*	141.459 *2,10*
24	184 *0,40*	360 *0,48*	775 *0,58*	1.447 *0,68*	3.030 *0,82*	4.545 *0,91*	8.520 *1,07*	16.987 *1,27*	26.061 *1,42*	52.795 *1,70*	91.498 *1,95*	148.196 *2,20*
26	193 *0,42*	376 *0,50*	809 *0,61*	1.511 *0,71*	3.162 *0,86*	4.744 *0,95*	8.892 *1,12*	17.730 *1,33*	27.201 *1,48*	55.104 *1,77*	95.500 *2,04*	154.677 *2,30*
28	200 *0,44*	391 *0,52*	841 *0,63*	1.572 *0,74*	3.290 *0,89*	4.936 *0,99*	9.252 *1,16*	18.447 *1,38*	28.300 *1,54*	57.332 *1,84*	99.360 *2,12*	160.930 *2,39*
30	208 *0,46*	406 *0,54*	873 *0,66*	1.631 *0,77*	3.414 *0,93*	5.121 *1,03*	9.599 *1,20*	19.140 *1,43*	29.364 *1,60*	59.486 *1,91*	103.095 *2,20*	166.978 *2,48*
35	226 *0,49*	440 *0,59*	948 *0,71*	1.771 *0,83*	3.707 *1,01*	5.561 *1,12*	10.424 *1,31*	20.784 *1,56*	31.887 *1,74*	64.598 *2,08*	111.953 *2,39*	181.326 *2,70*
40	242 *0,53*	473 *0,63*	1.018 *0,76*	1.902 *0,90*	3.982 *1,08*	5.973 *1,20*	11.196 *1,40*	22.323 *1,67*	34.247 *1,86*	69.379 *2,23*	120.240 *2,56*	194.748 *2,90*
45	258 *0,57*	504 *0,67*	1.084 *0,81*	2.026 *0,95*	4.241 *1,15*	6.361 *1,28*	11.924 *1,50*	23.774 *1,78*	36.474 *1,99*	73.890 *2,37*	128.057 *2,73*	207.408 *3,09*
50	273 *0,60*	533 *0,71*	1.147 *0,86*	2.143 *1,01*	4.486 *1,22*	6.730 *1,35*	12.615 *1,58*	25.152 *1,88*	38.588 *2,10*	78.172 *2,51*	135.479 *2,89*	219.430 *3,26*
60	301 *0,66*	588 *0,78*	1.265 *0,95*	2.363 *1,11*	4.946 *1,34*	7.419 *1,49*	13.907 *1,74*	27.728 *2,08*	42.539 *2,32*	86.178 *2,77*	149.353 *3,18*	241.902 *3,60*
70	327 *0,72*	638 *0,85*	1.373 *1,03*	2.566 *1,21*	5.371 *1,46*	8.057 *1,62*	15.102 *1,89*	30.111 *2,26*	46.195 *2,51*	93.583 *3,01*	162.187 *3,46*	262.687 *3,91*
80	351 *0,77*	685 *0,91*	1.475 *1,11*	2.755 *1,30*	5.768 *1,57*	8.653 *1,73*	16.219 *2,03*	32.339 *2,42*	49.614 *2,70*	100.509 *3,23*	174.191 *3,71*	
90	374 *0,82*	730 *0,97*	1.571 *1,18*	2.935 *1,38*	6.143 *1,67*	9.216 *1,85*	17.274 *2,17*	34.442 *2,58*	52.840 *2,88*	107.044 *3,44*	185.516 *3,96*	
100	396 *0,87*	772 *1,03*	1.662 *1,25*	3.105 *1,46*	6.499 *1,76*	9.750 *1,95*	18.275 *2,29*	36.438 *2,73*	55.902 *3,04*	113.248 *3,64*		
150	491 *1,08*	959 *1,28*	2.065 *1,55*	3.856 *1,82*	8.073 *2,19*	12.111 *2,43*	22.700 *2,85*	45.261 *3,39*	69.438 *3,78*			
200	573 *1,26*	1.119 *1,49*	2.408 *1,81*	4.498 *2,12*	9.416 *2,56*	14.125 *2,83*	26.475 *3,32*	52.788 *3,96*				

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 6A - TUBI IN ACCIAIO (mm)
Temp. acqua = 10°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

De	30	33,7	38	42,4	44,5	48,3	54	57	60,3	70	76,1	88,9
Di	25,4	29,1	32,8	37,2	39,3	43,1	48,8	51,2	54,5	64,2	70,3	82,5
r	G v											
2	283 *0,16*	408 *0,17*	562 *0,18*	788 *0,20*	912 *0,21*	1.168 *0,22*	1.630 *0,24*	1.853 *0,25*	2.191 *0,26*	3.398 *0,29*	4.334 *0,31*	6.653 *0,35*
4	411 *0,23*	591 *0,25*	814 *0,27*	1.141 *0,29*	1.322 *0,30*	1.693 *0,32*	2.361 *0,35*	2.685 *0,36*	3.174 *0,38*	4.923 *0,42*	6.278 *0,45*	9.639 *0,50*
6	510 *0,28*	734 *0,31*	1.012 *0,33*	1.417 *0,36*	1.642 *0,38*	2.102 *0,40*	2.933 *0,44*	3.335 *0,45*	3.943 *0,47*	6.115 *0,52*	7.798 *0,56*	11.973 *0,62*
8	595 *0,33*	856 *0,36*	1.180 *0,39*	1.653 *0,42*	1.915 *0,44*	2.452 *0,47*	3.420 *0,51*	3.890 *0,52*	4.598 *0,55*	7.132 *0,61*	9.095 *0,65*	13.964 *0,73*
10	670 *0,37*	965 *0,40*	1.329 *0,44*	1.862 *0,48*	2.158 *0,49*	2.763 *0,53*	3.854 *0,57*	4.383 *0,59*	5.181 *0,62*	8.036 *0,69*	10.248 *0,73*	15.733 *0,82*
12	739 *0,40*	1.063 *0,44*	1.465 *0,48*	2.053 *0,52*	2.379 *0,54*	3.046 *0,58*	4.248 *0,63*	4.832 *0,65*	5.712 *0,68*	8.858 *0,76*	11.297 *0,81*	17.345 *0,90*
14	802 *0,44*	1.155 *0,48*	1.591 *0,52*	2.230 *0,57*	2.583 *0,59*	3.308 *0,63*	4.614 *0,69*	5.247 *0,71*	6.203 *0,74*	9.620 *0,83*	12.268 *0,88*	18.835 *0,98*
16	862 *0,47*	1.240 *0,52*	1.709 *0,56*	2.395 *0,61*	2.774 *0,64*	3.552 *0,68*	4.955 *0,74*	5.635 *0,76*	6.662 *0,79*	10.332 *0,89*	13.176 *0,94*	20.229 *1,05*
18	918 *0,50*	1.321 *0,55*	1.820 *0,60*	2.550 *0,65*	2.955 *0,68*	3.783 *0,72*	5.277 *0,78*	6.001 *0,81*	7.095 *0,84*	11.003 *0,94*	14.033 *1,00*	21.544 *1,12*
20	971 *0,53*	1.397 *0,58*	1.926 *0,63*	2.698 *0,69*	3.126 *0,72*	4.003 *0,76*	5.583 *0,83*	6.349 *0,86*	7.506 *0,89*	11.641 *1,00*	14.846 *1,06*	22.793 *1,18*
22	1.021 *0,56*	1.470 *0,61*	2.026 *0,67*	2.839 *0,73*	3.289 *0,75*	4.212 *0,80*	5.875 *0,87*	6.681 *0,90*	7.898 *0,94*	12.250 *1,05*	15.622 *1,12*	23.985 *1,25*
24	1.070 *0,59*	1.541 *0,64*	2.123 *0,70*	2.974 *0,76*	3.446 *0,79*	4.413 *0,84*	6.155 *0,91*	7.000 *0,94*	8.275 *0,99*	12.833 *1,10*	16.366 *1,17*	25.127 *1,31*
26	1.117 *0,61*	1.608 *0,67*	2.216 *0,73*	3.104 *0,79*	3.597 *0,82*	4.606 *0,88*	6.424 *0,95*	7.306 *0,99*	8.636 *1,03*	13.395 *1,15*	17.082 *1,22*	26.226 *1,36*
28	1.162 *0,64*	1.673 *0,70*	2.305 *0,76*	3.230 *0,83*	3.742 *0,86*	4.792 *0,91*	6.684 *0,99*	7.601 *1,03*	8.986 *1,07*	13.936 *1,20*	17.773 *1,27*	27.286 *1,42*
30	1.206 *0,66*	1.736 *0,72*	2.392 *0,79*	3.351 *0,86*	3.883 *0,89*	4.972 *0,95*	6.935 *1,03*	7.887 *1,06*	9.323 *1,11*	14.460 *1,24*	18.441 *1,32*	28.312 *1,47*
35	1.309 *0,72*	1.885 *0,79*	2.598 *0,85*	3.639 *0,93*	4.216 *0,97*	5.399 *1,03*	7.531 *1,12*	8.564 *1,16*	10.124 *1,21*	15.702 *1,35*	20.025 *1,43*	30.745 *1,60*
40	1.406 *0,77*	2.024 *0,85*	2.790 *0,92*	3.909 *1,00*	4.528 *1,04*	5.799 *1,10*	8.088 *1,20*	9.198 *1,24*	10.874 *1,29*	16.865 *1,45*	21.507 *1,54*	33.020 *1,72*
45	1.498 *0,82*	2.156 *0,90*	2.971 *0,98*	4.163 *1,06*	4.823 *1,10*	6.176 *1,18*	8.614 *1,28*	9.796 *1,32*	11.581 *1,38*	17.961 *1,54*	22.906 *1,64*	35.167 *1,83*
50	1.585 *0,87*	2.281 *0,95*	3.143 *1,03*	4.404 *1,13*	5.102 *1,17*	6.534 *1,24*	9.113 *1,35*	10.364 *1,40*	12.252 *1,46*	19.002 *1,63*	24.233 *1,73*	37.205 *1,93*
60	1.747 *0,96*	2.515 *1,05*	3.465 *1,14*	4.855 *1,24*	5.625 *1,29*	7.203 *1,37*	10.046 *1,49*	11.425 *1,54*	13.507 *1,61*	20.948 *1,80*	26.715 *1,91*	41.016 *2,13*
70	1.897 *1,04*	2.731 *1,14*	3.763 *1,24*	5.272 *1,35*	6.108 *1,40*	7.822 *1,49*	10.910 *1,62*	12.407 *1,67*	14.667 *1,75*	22.748 *1,95*	29.010 *2,08*	44.540 *2,31*
80	2.037 *1,12*	2.933 *1,22*	4.042 *1,33*	5.663 *1,45*	6.560 *1,50*	8.401 *1,60*	11.717 *1,74*	13.326 *1,80*	15.753 *1,88*	24.432 *2,10*	31.158 *2,23*	47.837 *2,49*
90	2.170 *1,19*	3.123 *1,30*	4.304 *1,42*	6.031 *1,54*	6.987 *1,60*	8.947 *1,70*	12.479 *1,85*	14.192 *1,91*	16.777 *2,00*	26.020 *2,23*	33.183 *2,37*	50.947 *2,65*
100	2.296 *1,26*	3.305 *1,38*	4.554 *1,50*	6.380 *1,63*	7.392 *1,69*	9.465 *1,80*	13.202 *1,96*	15.014 *2,03*	17.749 *2,11*	27.528 *2,36*	35.107 *2,51*	53.900 *2,80*
150	2.851 *1,56*	4.105 *1,71*	5.656 *1,86*	7.925 *2,03*	9.181 *2,10*	11.757 *2,24*	16.399 *2,44*	18.650 *2,52*	22.047 *2,63*	34.193 *2,93*	43.607 *3,12*	66.950 *3,48*
200	3.326 *1,82*	4.787 *2,00*	6.597 *2,17*	9.243 *2,36*	10.708 *2,45*	13.712 *2,61*	19.126 *2,84*	21.751 *2,93*	25.714 *3,06*	39.880 *3,42*	50.859 *3,64*	

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 6B - TUBI IN ACCIAIO (mm)
Temp. acqua = 10°C

101,6	108	114,3	133	139,7	159	168,3	193,7	219,1	244,5	273	323,9	De
94,4	100,8	107,1	125	131,7	150	159,3	182,9	207,3	231,9	260,4	309,7	Di
					G v							r
9.546 *0,38*	11.380 *0,40*	13.387 *0,41*	20.254 *0,46*	23.295 *0,48*	33.010 *0,52*	38.783 *0,54*	56.155 *0,59*	78.540 *0,65*	106.065 *0,70*	144.690 *0,75*	230.239 *0,85*	2
13.829 *0,55*	16.486 *0,57*	19.394 *0,60*	29.342 *0,66*	33.748 *0,69*	47.822 *0,75*	56.185 *0,78*	81.351 *0,86*	113.781 *0,94*	153.656 *1,01*	209.613 *1,09*	333.548 *1,23*	4
17.178 *0,68*	20.478 *0,71*	24.090 *0,74*	36.447 *0,82*	41.919 *0,85*	59.401 *0,93*	69.789 *0,97*	101.049 *1,07*	141.331 *1,16*	190.860 *1,26*	260.366 *1,36*	414.309 *1,53*	6
20.035 *0,80*	23.884 *0,83*	28.096 *0,87*	42.508 *0,96*	48.890 *1,00*	69.280 *1,09*	81.395 *1,13*	117.854 *1,25*	164.835 *1,36*	222.602 *1,46*	303.666 *1,58*	483.211 *1,78*	8
22.574 *0,90*	26.911 *0,94*	31.657 *0,98*	47.895 *1,08*	55.087 *1,12*	78.061 *1,23*	91.711 *1,28*	132.790 *1,40*	185.726 *1,53*	250.814 *1,65*	342.153 *1,78*	544.452 *2,01*	10
24.886 *0,99*	29.667 *1,03*	34.899 *1,08*	52.800 *1,20*	60.728 *1,24*	86.055 *1,35*	101.103 *1,41*	146.389 *1,55*	204.746 *1,69*	276.500 *1,82*	377.192 *1,97*	600.209 *2,21*	12
27.0.24 *1,07*	32.216 *1,12*	37.898 *1,17*	57.337 *1,30*	65.946 *1,34*	93.449 *1,47*	109.791 *1,53*	158.968 *1,68*	222.339 *1,83*	300.258 *1,97*	409.603 *2,14*	651.784 *2,40*	14
29.024 *1,15*	34.601 *1,20*	40.703 *1,26*	61.581 *1,39*	70.827 *1,44*	100.366 *1,58*	117.917 *1,64*	170.735 *1,81*	238.797 *1,97*	322.483 *2,12*	439.921 *2,29*	700.028 *2,58*	16
30.911 *1,23*	36.850 *1,28*	43.349 *1,34*	65.585 *1,48*	75.432 *1,54*	106.891 *1,68*	125.583 *1,75*	181.834 *1,92*	254.321 *2,09*	343.448 *2,26*	468.521 *2,44*	745.537 *2,75*	18
32.703 *1,30*	38.986 *1,36*	45.861 *1,41*	69.386 *1,57*	79.804 *1,63*	113.086 *1,78*	132.862 *1,85*	192.373 *2,03*	269.061 *2,21*	363.354 *2,39*	495.676 *2,59*	788.749 *2,91*	20
34.413 *1,37*	41.024 *1,43*	48.259 *1,49*	73.014 *1,65*	83.977 *1,71*	119.000 *1,87*	139.809 *1,95*	202.432 *2,14*	283.131 *2,33*	382.354 *2,51*	521.595 *2,72*	829.991 *3,06*	22
36.052 *1,43*	42.978 *1,50*	50.558 *1,56*	76.492 *1,73*	87.977 *1,79*	124.668 *1,96*	146.469 *2,04*	212.074 *2,24*	296.616 *2,44*	400.565 *2,63*	546.439 *2,85*	869.524 *3,21*	24
37.628 *1,49*	44.858 *1,56*	52.769 *1,63*	79.837 *1,81*	91.824 *1,87*	130.120 *2,05*	152.874 *2,13*	221.349 *2,34*	309.588 *2,55*	418.083 *2,75*	570.336 *2,97*	907.552 *3,35*	26
39.149 *1,55*	46.671 *1,62*	54.902 *1,69*	83.065 *1,88*	95.536 *1,95*	135.380 *2,13*	159.054 *2,22*	230.297 *2,43*	322.103 *2,65*	434.984 *2,86*	593.392 *3,10*	944.239 *3,48*	28
40.621 *1,61*	48.425 *1,69*	56.966 *1,76*	86.186 *1,95*	99.127 *2,02*	140.468 *2,21*	165.032 *2,30*	238.953 *2,53*	334.210 *2,75*	451.332 *2,97*	615.695 *3,21*	979.728 *3,61*	30
44.111 *1,75*	52.587 *1,83*	61.861 *1,91*	93.592 *2,12*	107.644 *2,19*	152.538 *2,40*	179.212 *2,50*	259.484 *2,74*	362.927 *2,99*	490.114 *3,22*	668.598 *3,49*		35
47.376 *1,88*	56.479 *1,97*	66.439 *2,05*	100.520 *2,28*	115.612 *2,36*	163.828 *2,58*	192.477 *2,68*	278.691 *2,95*	389.790 *3,21*	526.391 *3,46*	718.087 *3,75*		40
50.456 *2,00*	60.151 *2,09*	70.759 *2,18*	107.055 *2,42*	123.128 *2,51*	174.479 *2,74*	204.991 *2,86*	296.810 *3,14*	415.131 *3,42*	560.613 *3,69*	764.771 *3,99*		45
53.381 *2,12*	63.637 *2,22*	74.860 *2,31*	113.260 *2,56*	130.265 *2,66*	184.592 *2,90*	216.872 *3,02*	314.012 *3,32*	439.192 *3,61*	593.105 *3,90*			50
58.847 *2,34*	70.154 *2,44*	82.526 *2,54*	124.858 *2,83*	143.605 *2,93*	203.496 *3,20*	239.082 *3,33*	346.170 *3,66*	484.169 *3,98*				60
63.904 *2,54*	76.182 *2,65*	89.617 *2,76*	135.587 *3,07*	155.944 *3,18*	220.982 *3,47*	259.626 *3,62*	375.916 *3,97*					70
68.634 *2,72*	81.821 *2,85*	96.251 *2,97*	145.623 *3,30*	167.487 *3,42*	237.338 *3,73*	278.842 *3,89*						80
73.096 *2,90*	87.140 *3,03*	102.508 *3,16*	155.090 *3,51*	178.375 *3,64*	252.768 *3,97*							90
77.333 *3,07*	92.191 *3,21*	108.449 *3,34*	164.079 *3,71*	188.714 *3,85*								100
96.057 *3,81*	114.513 *3,99*											150
												200

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 7A - TUBI IN ACCIAIO (mm)
Temp. acqua = 50°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

De	30	33,7	38	42,4	44,5	48,3	54	57	60,3	70	76,1	88,9
Di	25,4	29,1	32,8	37,2	39,3	43,1	48,8	51,2	54,5	64,2	70,3	82,5
r	G v											
2	303 *0,17*	436 *0,18*	601 *0,20*	842 *0,22*	976 *0,22*	1.250 *0,24*	1.743 *0,26*	1.982 *0,27*	2.343 *0,28*	3.634 *0,31*	4.635 *0,33*	7.115 *0,37*
4	439 *0,24*	632 *0,26*	871 *0,29*	1.220 *0,31*	1.414 *0,32*	1.810 *0,34*	2.525 *0,37*	2.871 *0,39*	3.395 *0,40*	5.265 *0,45*	6.714 *0,48*	10.308 *0,54*
6	545 *0,30*	785 *0,33*	1.082 *0,36*	1.516 *0,39*	1.756 *0,40*	2.248 *0,43*	3.136 *0,47*	3.567 *0,48*	4.216 *0,50*	6.539 *0,56*	8.340 *0,60*	12.804 *0,67*
8	636 *0,35*	916 *0,38*	1.262 *0,41*	1.768 *0,45*	2.048 *0,47*	2.622 *0,50*	3.658 *0,54*	4.160 *0,56*	4.918 *0,59*	7.627 *0,65*	9.727 *0,70*	14.933 *0,78*
10	717 *0,39*	1.032 *0,43*	1.422 *0,47*	1.992 *0,51*	2.307 *0,53*	2.955 *0,56*	4.121 *0,61*	4.687 *0,63*	5.541 *0,66*	8.594 *0,74*	10.959 *0,78*	16.826 *0,87*
12	790 *0,43*	1.137 *0,47*	1.567 *0,52*	2.196 *0,56*	2.544 *0,58*	3.257 *0,62*	4.543 *0,67*	5.167 *0,70*	6.108 *0,73*	9.474 *0,81*	12.082 *0,86*	18.549 *0,96*
14	858 *0,47*	1.235 *0,52*	1.702 *0,56*	2.384 *0,61*	2.762 *0,63*	3.537 *0,67*	4.934 *0,73*	5.611 *0,76*	6.633 *0,79*	10.288 *0,88*	13.120 *0,94*	20.143 *1,05*
16	921 *0,51*	1.326 *0,55*	1.828 *0,60*	2.561 *0,65*	2.967 *0,68*	3.799 *0,72*	5.299 *0,79*	6.026 *0,81*	7.124 *0,85*	11.049 *0,95*	14.091 *1,01*	21.634 *1,12*
18	981 *0,54*	1.413 *0,59*	1.947 *0,64*	2.727 *0,70*	3.160 *0,72*	4.046 *0,77*	5.644 *0,84*	6.418 *0,87*	7.587 *0,90*	11.767 *1,01*	15.007 *1,07*	23.041 *1,20*
20	1.038 *0,57*	1.494 *0,62*	2.059 *0,68*	2.885 *0,74*	3.343 *0,77*	4.281 *0,82*	5.971 *0,89*	6.790 *0,92*	8.027 *0,96*	12.450 *1,07*	15.887 *1,14*	24.376 *1,27*
22	1.092 *0,60*	1.573 *0,66*	2.167 *0,71*	3.036 *0,78*	3.518 *0,81*	4.504 *0,86*	6.283 *0,93*	7.145 *0,96*	8.447 *1,01*	13.101 *1,12*	16.707 *1,20*	25.651 *1,33*
24	1.144 *0,63*	1.648 *0,69*	2.270 *0,75*	3.181 *0,81*	3.685 *0,84*	4.719 *0,90*	6.582 *0,98*	7.486 *1,01*	8.849 *1,05*	13.724 *1,18*	17.503 *1,25*	26.872 *1,40*
26	1.195 *0,65*	1.720 *0,72*	2.370 *0,78*	3.320 *0,85*	3.846 *0,88*	4.925 *0,94*	6.870 *1,02*	7.813 *1,05*	9.236 *1,10*	14.325 *1,23*	18.268 *1,31*	28.048 *1,46*
28	1.243 *0,68*	1.789 *0,75*	2.465 *0,81*	3.454 *0,88*	4.002 *0,92*	5.124 *0,98*	7.148 *1,06*	8.129 *1,10*	9.610 *1,14*	14.904 *1,28*	19.007 *1,36*	29.181 *1,52*
30	1.290 *0,71*	1.856 *0,78*	2.558 *0,84*	3.584 *0,92*	4.152 *0,95*	5.317 *1,01*	7.416 *1,10*	8.434 *1,14*	9.971 *1,19*	15.464 *1,33*	19.721 *1,41*	30.278 *1,57*
35	1.400 *0,77*	2.016 *0,84*	2.778 *0,91*	3.892 *0,99*	4.509 *1,03*	5.774 *1,10*	8.054 *1,20*	9.159 *1,24*	10.828 *1,29*	16.793 *1,44*	21.416 *1,53*	32.880 *1,71*
40	1.504 *0,82*	2.165 *0,90*	2.984 *0,98*	4.180 *1,07*	4.843 *1,11*	6.201 *1,18*	8.650 *1,28*	9.837 *1,33*	11.629 *1,38*	18.036 *1,55*	23.001 *1,65*	35.314 *1,84*
45	1.602 *0,88*	2.306 *0,96*	3.177 *1,04*	4.452 *1,14*	5.158 *1,18*	6.605 *1,26*	9.212 *1,37*	10.477 *1,41*	12.385 *1,47*	19.208 *1,65*	24.496 *1,75*	37.609 *1,95*
50	1.695 *0,93*	2.439 *1,02*	3.362 *1,11*	4.710 *1,20*	5.457 *1,25*	6.987 *1,33*	9.746 *1,45*	11.084 *1,50*	13.103 *1,56*	20.321 *1,74*	25.916 *1,85*	39.789 *2,07*
60	1.868 *1,02*	2.689 *1,12*	3.706 *1,22*	5.192 *1,33*	6.015 *1,38*	7.703 *1,47*	10.744 *1,60*	12.219 *1,65*	14.445 *1,72*	22.403 *1,92*	28.570 *2,04*	43.864 *2,28*
70	2.029 *1,11*	2.920 *1,22*	4.024 *1,32*	5.638 *1,44*	6.532 *1,50*	8.365 *1,59*	11.667 *1,73*	13.269 *1,79*	15.686 *1,87*	24.328 *2,09*	31.025 *2,22*	47.633 *2,48*
80	2.179 *1,19*	3.136 *1,31*	4.322 *1,42*	6.056 *1,55*	7.016 *1,61*	8.984 *1,71*	12.531 *1,86*	14.251 *1,92*	16.847 *2,01*	26.128 *2,24*	33.321 *2,38*	51.159 *2,66*
90	2.320 *1,27*	3.340 *1,40*	4.603 *1,51*	6.450 *1,65*	7.472 *1,71*	9.568 *1,82*	13.346 *1,98*	15.177 *2,05*	17.942 *2,14*	27.827 *2,39*	35.488 *2,54*	54.485 *2,83*
100	2.455 *1,35*	3.534 *1,48*	4.870 *1,60*	6.823 *1,74*	7.905 *1,81*	10.122 *1,93*	14.119 *2,10*	16.057 *2,17*	18.982 *2,26*	29.440 *2,53*	37.545 *2,69*	57.642 *3,00*
150	3.049 *1,67*	4.390 *1,83*	6.049 *1,99*	8.475 *2,17*	9.819 *2,25*	12.573 *2,39*	17.538 *2,60*	19.945 *2,69*	23.578 *2,81*	36.568 *3,14*	46.635 *3,34*	71.599 *3,72*
200	3.556 *1,95*	5.120 *2,14*	7.055 *2,32*	9.885 *2,53*	11.452 *2,62*	14.664 *2,79*	20.454 *3,04*	23.262 *3,14*	27.499 *3,27*	42.649 *3,66*	54.391 *3,89*	

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 7B - TUBI IN ACCIAIO (mm)
Temp. acqua = 50°C

101,6	108	114,3	133	139,7	159	168,3	193,7	219,1	244,5	273	323,9	De
94,4	100,8	107,1	125	131,7	150	159,3	182,9	207,3	231,9	260,4	309,7	Di
					G v							r
10.209 *0,41*	12.170 *0,42*	14.317 *0,44*	21.661 *0,49*	24.913 *0,51*	35.303 *0,55*	41.476 *0,58*	60.054 *0,63*	83.995 *0,69*	113.430 *0,75*	154.738 *0,81*	246.228 *0,91*	2
14.790 *0,59*	17.631 *0,61*	20.741 *0,64*	31.380 *0,71*	36.091 *0,74*	51.143 *0,80*	60.087 *0,84*	87.001 *0,92*	121.683 *1,00*	164.326 *1,08*	224.169 *1,17*	356.711 *1,32*	4
18.371 *0,73*	21.900 *0,76*	25.763 *0,79*	38.978 *0,88*	44.830 *0,91*	63.526 *1,00*	74.636 *1,04*	108.066 *1,14*	151.146 *1,24*	204.115 *1,34*	278.447 *1,45*	443.081 *1,63*	6
21.426 *0,85*	25.543 *0,89*	30.047 *0,93*	45.460 *1,03*	52.285 *1,07*	74.091 *1,16*	87.048 *1,21*	126.038 *1,33*	176.282 *1,45*	238.060 *1,57*	324.754 *1,69*	516.766 *1,91*	8
24.141 *0,96*	28.780 *1,00*	33.855 *1,04*	51.222 *1,16*	58.912 *1,20*	83.482 *1,31*	98.080 *1,37*	142.012 *1,50*	198.624 *1,63*	268.232 *1,76*	365.913 *1,91*	582.262 *2,15*	10
26.614 *1,06*	31.727 *1,10*	37.322 *1,15*	56.467 *1,28*	64.945 *1,32*	92.031 *1,45*	108.125 *1,51*	156.555 *1,66*	218.965 *1,80*	295.701 *1,94*	403.387 *2,10*	641.891 *2,37*	12
28.900 *1,15*	34.453 *1,20*	40.529 *1,25*	61.319 *1,39*	70.526 *1,44*	99.939 *1,57*	117.415 *1,64*	170.007 *1,80*	237.779 *1,96*	321.109 *2,11*	438.048 *2,28*	697.047 *2,57*	14
31.040 *1,23*	37.004 *1,29*	43.529 *1,34*	65.858 *1,49*	75.746 *1,54*	107.336 *1,69*	126.106 *1,76*	182.591 *1,93*	255.380 *2,10*	344.877 *2,27*	470.471 *2,45*	748.641 *2,76*	16
33.058 *1,31*	39.409 *1,37*	46.359 *1,43*	70.139 *1,59*	80.670 *1,64*	114.314 *1,80*	134.305 *1,87*	194.462 *2,06*	271.982 *2,24*	367.298 *2,42*	501.057 *2,61*	797.311 *2,94*	18
34.974 *1,39*	41.693 *1,45*	49.046 *1,51*	74.205 *1,68*	85.346 *1,74*	120.940 *1,90*	142.089 *1,98*	205.733 *2,18*	287.747 *2,37*	388.587 *2,56*	530.099 *2,76*	843.523 *3,11*	20
36.802 *1,46*	43.873 *1,53*	51.611 *1,59*	78.085 *1,77*	89.808 *1,83*	127.263 *2,00*	149.519 *2,08*	216.490 *2,29*	302.792 *2,49*	408.906 *2,69*	557.817 *2,91*	887.631 *3,27*	22
38.555 *1,53*	45.963 *1,60*	54.069 *1,67*	81.804 *1,85*	94.086 *1,92*	133.325 *2,10*	156.640 *2,18*	226.802 *2,40*	317.215 *2,61*	428.383 *2,82*	584.386 *3,05*	929.908 *3,43*	24
40.241 *1,60*	47.973 *1,67*	56.434 *1,74*	85.381 *1,93*	98.201 *2,00*	139.156 *2,19*	163.491 *2,28*	236.720 *2,50*	331.088 *2,72*	447.117 *2,94*	609.942 *3,18*	970.576 *3,58*	26
41.868 *1,66*	49.913 *1,74*	58.715 *1,81*	88.833 *2,01*	102.171 *2,08*	144.781 *2,28*	170.099 *2,37*	246.290 *2,60*	344.471 *2,84*	465.191 *3,06*	634.601 *3,31*		28
43.442 *1,72*	51.788 *1,80*	60.922 *1,88*	92.172 *2,09*	106.011 *2,16*	150.223 *2,36*	176.492 *2,46*	255.547 *2,70*	357.418. *2,94*	482.675 *3,17*	658.451 *3,43*		30
47.174 *1,87*	56.238 *1,96*	66.156 *2,04*	100.092 *2,27*	115.120 *2,35*	163.131 *2,56*	191.658 *2,67*	277.504 *2,93*	388.130 *3,19*	524.149 *3,45*	715.029 *3,73*		35
50.666 *2,01*	60.401 *2,10*	71.053 *2,19*	107.500 *2,43*	123.641 *2,52*	175.205 *2,75*	205.844 *2,87*	298.045 *3,15*	416.859 *3,43*	562.947 *3,70*			40
53.960 *2,14*	64.328 *2,24*	75.672 *2,33*	114.489 *2,59*	131.679 *2,69*	186.596 *2,93*	219.226 *3,06*	317.421 *3,36*	443.960 *3,65*	599.544 *3,94*			45
57.088 *2,27*	68.056 *2,37*	80.058 *2,47*	121.125 *2,74*	139.311 *2,84*	197.411 *3,10*	231.932 *3,23*	335.820 *3,55*	469.690 *3,87*				50
62.934 *2,50*	75.026 *2,61*	88.257 *2,72*	133.529 *3,02*	153.577 *3,13*	217.627 *3,42*	255.685 *3,56*	370.209 *3,91*					60
68.342 *2,71*	81.473 *2,84*	95.841 *2,96*	145.003 *3,28*	166.774 *3,40*	236.327 *3,71*	277.655 *3,87*						70
73.400 *2,91*	87.503 *3,05*	102.935 *3,17*	155.736 *3,53*	179.118 *3,65*	253.820 *3,99*							80
78.172 *3,10*	93.192 *3,24*	109.627 *3,38*	165.860 *3,75*	190.763 *3,89*								90
82.703 *3,28*	98.593 *3,43*	115.981 *3,58*	175.473 *3,97*									100
												150
												200

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 8A - TUBI IN ACCIAIO (mm)
Temp. acqua = 80°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

De	30	33,7	38	42,4	44,5	48,3	54	57	60,3	70	76,1	88,9
Di	25,4	29,1	32,8	37,2	39,3	43,1	48,8	51,2	54,5	64,2	70,3	82,5
r	G v											
2	313 *0,17*	450 *0,19*	621 *0,20*	869 *0,22*	1.007 *0,23*	1.290 *0,25*	1.799 *0,27*	2.046 *0,28*	2.419 *0,29*	3.751 *0,32*	4.784 *0,34*	7.345 *0,38*
4	453 *0,25*	652 *0,27*	899 *0,30*	1.260 *0,32*	1.459 *0,33*	1.869 *0,36*	2.606 *0,39*	2.964 *0,40*	3.504 *0,42*	5.435 *0,47*	6.931 *0,50*	10.641 *0,55*
6	563 *0,31*	810 *0,34*	1.117 *0,37*	1.565 *0,40*	1.813 *0,42*	2.321 *0,44*	3.237 *0,48*	3.682 *0,50*	4.353 *0,52*	6.750 *0,58*	8.609 *0,62*	13.217 *0,69*
8	657 *0,36*	945 *0,39*	1.302 *0,43*	1.825 *0,47*	2.114 *0,48*	2.707 *0,52*	3.776 *0,56*	4.294 *0,58*	5.076 *0,60*	7.873 *0,68*	10.041 *0,72*	15.415 *0,80*
10	740 *0,41*	1.065 *0,44*	1.467 *0,48*	2.056 *0,53*	2.382 *0,55*	3.050 *0,58*	4.254 *0,63*	4.838 *0,65*	5.720 *0,68*	8.871 *0,76*	11.313 *0,81*	17.369 *0,90*
12	815 *0,45*	1.174 *0,49*	1.618 *0,53*	2.267 *0,58*	2.626 *0,60*	3.363 *0,64*	4.690 *0,70*	5.334 *0,72*	6.306 *0,75*	9.779 *0,84*	12.472 *0,89*	19.148 *1,00*
14	886 *0,49*	1.275 *0,53*	1.757 *0,58*	2.461 *0,63*	2.851 *0,65*	3.651 *0,70*	5.093 *0,76*	5.792 *0,78*	6.847 *0,82*	10.620 *0,91*	13.543 *0,97*	20.793 *1,08*
16	951 *0,52*	1.369 *0,57*	1.887 *0,62*	2.644 *0,68*	3.063 *0,70*	3.922 *0,75*	5.470 *0,81*	6.221 *0,84*	7.354 *0,88*	11.406 *0,98*	14.546 *1,04*	22.332 *1,16*
18	1.013 *0,56*	1.458 *0,61*	2.009 *0,66*	2.815 *0,72*	3.262 *0,75*	4.177 *0,80*	5.826 *0,87*	6.625 *0,89*	7.832 *0,93*	12.147 *1,04*	15.491 *1,11*	23.784 *1,24*
20	1.072 *0,59*	1.543 *0,64*	2.126 *0,70*	2.979 *0,76*	3.451 *0,79*	4.419 *0,84*	6.163 *0,92*	7.009 *0,95*	8.286 *0,99*	12.851 *1,10*	16.389 *1,17*	25.163 *1,31*
22	1.128 *0,62*	1.623 *0,68*	2.237 *0,74*	3.134 *0,80*	3.631 *0,83*	4.650 *0,89*	6.486 *0,96*	7.376 *1,00*	8.720 *1,04*	13.523 *1,16*	17.246 *1,23*	26.478 *1,38*
24	1.181 *0,65*	1.701 *0,71*	2.344 *0,77*	3.284 *0,84*	3.804 *0,87*	4.871 *0,93*	6.795 *1,01*	7.727 *1,04*	9.135 *1,09*	14.167 *1,22*	18.068 *1,29*	27.740 *1,44*
26	1.233 *0,68*	1.775 *0,74*	2.446 *0,80*	3.427 *0,88*	3.970 *0,91*	5.084 *0,97*	7.092 *1,05*	8.065 *1,09*	9.534 *1,14*	14.787 *1,27*	18.858 *1,35*	28.953 *1,50*
28	1.283 *0,70*	1.847 *0,77*	2.545 *0,84*	3.566 *0,91*	4.131 *0,95*	5.290 *1,01*	7.378 *1,10*	8.391 *1,13*	9.920 *1,18*	15.385 *1,32*	19.620 *1,40*	30.123 *1,57*
30	1.331 *0,73*	1.916 *0,80*	2.641 *0,87*	3.700 *0,95*	4.286 *0,98*	5.489 *1,05*	7.656 *1,14*	8.707 *1,17*	10.293 *1,23*	15.963 *1,37*	20.358 *1,46*	31.255 *1,62*
35	1.446 *0,79*	2.081 *0,87*	2.868 *0,94*	4.018 *1,03*	4.655 *1,07*	5.960 *1,13*	8.314 *1,23*	9.455 *1,28*	11.177 *1,33*	17.335 *1,49*	22.107 *1,58*	33.941 *1,76*
40	1.553 *0,85*	2.235 *0,93*	3.080 *1,01*	4.315 *1,10*	4.999 *1,14*	6.401 *1,22*	8.929 *1,33*	10.155 *1,37*	12.004 *1,43*	18.618 *1,60*	23.743 *1,70*	36.453 *1,89*
45	1.653 *0,91*	2.380 *0,99*	3.280 *1,08*	4.596 *1,17*	5.324 *1,22*	6.818 *1,30*	9.509 *1,41*	10.815 *1,46*	12.785 *1,52*	19.828 *1,70*	25.287 *1,81*	38.823 *2,02*
50	1.749 *0,96*	2.518 *1,05*	3.470 *1,14*	4.862 *1,24*	5.633 *1,29*	7.213 *1,37*	10.061 *1,49*	11.442 *1,54*	13.526 *1,61*	20.977 *1,80*	26.752 *1,91*	41.073 *2,13*
60	1.928 *1,06*	2.776 *1,16*	3.826 *1,26*	5.360 *1,37*	6.209 *1,42*	7.951 *1,51*	11.091 *1,65*	12.613 *1,70*	14.911 *1,78*	23.126 *1,98*	29.492 *2,11*	45.280 *2,35*
70	2.094 *1,15*	3.015 *1,26*	4.154 *1,37*	5.820 *1,49*	6.743 *1,54*	8.635 *1,64*	12.044 *1,79*	13.697 *1,85*	16.192 *1,93*	25.113 *2,15*	32.026 *2,29*	49.170 *2,56*
80	2.249 *1,23*	3.238 *1,35*	4.462 *1,47*	6.251 *1,60*	7.242 *1,66*	9.274 *1,77*	12.935 *1,92*	14.711 *1,98*	17.391 *2,07*	26.971 *2,31*	34.397 *2,46*	52.810 *2,74*
90	2.395 *1,31*	3.448 *1,44*	4.752 *1,56*	6.658 *1,70*	7.713 *1,77*	9.877 *1,88*	13.776 *2,05*	15.667 *2,11*	18.521 *2,21*	28.725 *2,46*	36.633 *2,62*	56.243 *2,92*
100	2.534 *1,39*	3.648 *1,52*	5.027 *1,65*	7.044 *1,80*	8.160 *1,87*	10.449 *1,99*	14.575 *2,16*	16.575 *2,24*	19.595 *2,33*	30.390 *2,61*	38.756 *2,77*	59.503 *3,09*
150	3.148 *1,73*	4.531 *1,89*	6.244 *2,05*	8.749 *2,24*	10.136 *2,32*	12.979 *2,47*	18.104 *2,69*	20.589 *2,78*	24.339 *2,90*	37.748 *3,24*	48.140 *3,45*	73.910 *3,84*
200	3.671 *2,01*	5.285 *2,21*	7.283 *2,39*	10.204 *2,61*	11.821 *2,71*	15.138 *2,88*	21.114 *3,14*	24.013 *3,24*	28.387 *3,38*	44.026 *3,78*		

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 8B - TUBI IN ACCIAIO (mm)
Temp. acqua = 80°C

101,6	108	114,3	133	139,7	159	168,3	193,7	219,1	244,5	273	323,9	De
94,4	100,8	107,1	125	131,7	150	159,3	182,9	207,3	231,9	260,4	309,7	Di
					G v							r
10.538 *0,42*	12.563 *0,44*	14.779 *0,46*	22.360 *0,51*	25.717 *0,52*	36.442 *0,57*	42.815 *0,60*	61.992 *0,66*	86.705 *0,71*	117.091 *0,77*	159.732 *0,83*	254.175 *0,94*	2
15.267 *0,61*	18.200 *0,63*	21.410 *0,66*	32.393 *0,73*	37.256 *0,76*	52.794 *0,83*	62.026 *0,86*	89.808 *0,95*	125.610 *1,03*	169.630 *1,12*	231.404 *1,21*	368.223 *1,36*	4
18.964 *0,75*	22.607 *0,79*	26.594 *0,82*	40.236 *0,91*	46.277 *0,94*	65.577 *0,103*	77.044 *1,07*	111.553 *1,18*	156.024 *1,28*	210.702 *1,39*	287.433 *1,50*	457.380 *1,69*	6
22.117 *0,88*	26.367 *0,92*	31.017 *0,96*	46.927 *1,06*	53.973 *1,10*	76.482 *1,20*	89.857 *1,25*	130.106 *1,38*	181.971 *1,50*	245.743 *1,62*	335.235 *1,75*	533.445 *1,97*	8
24.920 *0,99*	29.709 *1,03*	34.948 *1,08*	52.875 *1,20*	60.813 *1,24*	86.176 *1,35*	101.246 *1,41*	146.595 *1,55*	205.034 *1,69*	276.888 *1,82*	377.722 *1,97*	601.053 *2,22*	10
27.473 *1,09*	32.751 *1,14*	38.527 *1,19*	58.289 *1,32*	67.041 *1,37*	95.001 *1,49*	111.614 *1,56*	161.608 *1,71*	226.032 *1,86*	305.244 *2,01*	416.405 *2,17*	662.607 *2,44*	12
29.833 *1,18*	35.565 *1,24*	41.837 *1,29*	63.298 *1,43*	72.802 *1,48*	103.164 *1,62*	121.204 *1,69*	175.494 *1,86*	245.454 *2,02*	331.473 *2,18*	452.185 *2,36*	719.542 *2,65*	14
32.041 *1,27*	38.198 *1,33*	44.934 *1,39*	67.983 *1,54*	78.190 *1,59*	110.800 *1,74*	130.176 *1,81*	188.484 *1,99*	263.622 *2,17*	356.008 *2,34*	485.655 *2,53*	772.801 *2,85*	16
34.124 *1,35*	40.681 *1,42*	47.855 *1,48*	72.403 *1,64*	83.274 *1,70*	118.003 *1,85*	138.639 *1,93*	200.737 *2,12*	280.760 *2,31*	379.152 *2,49*	517.228 *2,70*	823.042 *3,03*	18
36.102 *1,43*	43.039 *1,50*	50.629 *1,56*	76.599 *1,73*	88.100 *1,80*	124.843 *1,96*	146.674 *2,04*	212.372 *2,25*	297.033 *2,44*	401.127 *2,64*	547.206 *2,85*	870.746 *3,21*	20
37.990 *1,51*	45.289 *1,58*	53.276 *1,64*	80.605 *1,82*	92.707 *1,89*	131.371 *2,07*	154.344 *2,15*	223.477 *2,36*	312.565 *2,57*	422.103 *2,78*	575.820 *3,00*	916.277 *3,38*	22
39.800 *1,58*	47.446 *1,65*	55.814 *1,72*	84.444 *1,91*	97.122 *1,98*	137.628 *2,16*	161.695 *2,25*	234.121 *2,48*	327.452 *2,70*	442.206 *2,91*	603.245 *3,15*	959.919 *3,54*	24
41.540 *1,65*	49.521 *1,72*	58.255 *1,80*	88.137 *2,00*	101.370 *2,07*	143.647 *2,26*	168.767 *2,35*	244.360 *2,58*	341.772 *2,81*	461.546 *3,04*	629.627 *3,28*		26
43.219 *1,72*	51.523 *1,79*	60.610 *1,87*	91.700 *2,08*	105.468 *2,15*	149.454 *2,35*	175.589 *2,45*	254.238 *2,69*	355.589 *2,93*	480.204 *3,16*	655.080 *3,42*		28
44.844 *1,78*	53.460 *1,86*	62.888 *1,94*	95.146 *2,15*	109.432 *2,23*	155.071 *2,44*	182.189 *2,54*	263.794 *2,79*	368.953 *3,04*	498.253 *3,28*	679.702 *3,55*		30
48.697 *1,93*	58.053 *2,02*	68.291 *2,11*	103.322 *2,34*	118.835 *2,42*	168.395 *2,65*	197.843 *2,76*	286.460 *3,03*	400.656 *3,30*	541.066 *3,56*	738.104 *3,85*		35
52.301 *2,08*	62.350 *2,17*	73.346 *2,26*	110.970 *2,51*	127.631 *2,60*	180.860 *2,84*	212.487 *2,96*	307.664 *3,25*	430.312 *3,54*	581.114 *3,82*			40
55.702 *2,21*	66.404 *2,31*	78.115 *2,41*	118.184 *2,68*	135.928 *2,77*	192.618 *3,03*	226.301 *3,15*	327.665 *3,46*	458.287 *3,77*				45
58.930 *2,34*	70.253 *2,45*	82.642 *2,55*	125.034 *2,83*	143.807 *2,93*	203.782 *3,20*	239.418 *3,34*	346.657 *3,67*	484.849 *3,99*				50
64.965 *2,58*	77.447 *2,70*	91.105 *2,81*	137.839 *3,12*	158.534 *3,23*	224.651 *3,53*	263.936 *3,68*						60
70.547 *2,80*	84.102 *2,93*	98.934 *3,05*	149.683 *3,39*	172.156 *3,51*	243.955 *3,83*	286.616 *3,99*						70
75.769 *3,01*	90.327 *3,14*	106.257 *3,28*	160.762 *3,64*	184.899 *3,77*								80
80.695 *3,20*	96.199 *3,35*	113.165 *3,49*	171.213 *3,88*									90
85.372 *3,39*	101.775 *3,54*	119.724 *3,69*										100
												150
												200

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TUBI IN ACCIAIO DOLCE

Sono tubi a parete sottile, realizzati con acciai speciali ad alto grado di purezza e a basso contenuto di carbonio. Sono facilmente pieghevoli, e per questa loro caratteristica vengono denominati anche tubi in acciaio "morbido" o tubi in acciaio "tenero".

Sono disponibili in rotoli di circa 50 metri, e le giunzioni fra tubo e tubo si ottengono con raccordi filettati in ottone.

I tubi in acciaio dolce sono protetti contro la corrosione e le "offese" di cantiere da uno strato superficiale di Rilsan (materiale plastico molto resistente) e da una guaina di polietilene. Lo strato di Rilsan è strettamente connesso alla superficie esterna del tubo e sopra di esso vanno infilati i dadi e le guarnizioni dei raccordi.

- Pressione massima di esercizio: 15 ÷ 16 atm.
- Temperatura massima di esercizio: 95 ÷ 100°C.

Tabelle allegate:

- Nella tabella 1 sono riportate le caratteristiche principali dei tubi in acciaio dolce normalmente commercializzati. Il diametro esterno indicato è comprensivo dello strato plastico di rivestimento (0,15 mm di spessore).
- Dalla tabella 2 alla tabella 4 sono riportate le PERDITE DI CARICO CONTINUE (ved. relativa voce) dei tubi in acciaio dolce, calcolate mediante le formule:
  (6.2) per il moto laminare;
  (11.2) per il moto turbolento.

Nota: I valori delle portate segnati con asterisco si riferiscono a condizioni di moto laminare.

TAB. 1 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN ACCIAIO DOLCE

diametro esterno mm	diametro interno mm	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
10	7,7	47	0,05	0,25
12	9,7	74	0,07	0,31
14	11,7	107	0,11	0,36
16	13,7	147	0,15	0,42
18	15,7	193	0,19	0,47

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 2 - TUBI IN ACCIAIO DOLCE
Temp. acqua = 10°C

De	10	12	14	16	18
Di	7,7	9,7	11,7	13,7	15,7
r	G v				
2	5* *0,03*	12* *0,04*	25* *0,06*	47* *0,09*	81* *0,12*
4	9* *0,06*	24* *0,09*	50* *0,13*	79 *0,15*	113 *0,16*
6	14* *0,08*	35* *0,13*	64 *0,17*	98 *0,18*	141 *0,20*
8	19* *0,11*	47* *0,18*	75 *0,19*	114 *0,21*	164 *0,24*
10	23* *0,14*	51 *0,19*	84 *0,22*	128 *0,24*	185 *0,26*
12	28* *0,17*	56 *0,21*	93 *0,24*	141 *0,27*	204 *0,29*
14	33* *0,20*	61 *0,23*	101 *0,26*	153 *0,29*	221 *0,32*
16	37* *0,22*	65 *0,25*	108 *0,28*	165 *0,31*	237 *0,34*
18	39* *0,23*	70 *0,26*	115 *0,30*	176 *0,33*	253 *0,36*
20	40 *0,24*	74 *0,28*	122 *0,31*	186 *0,35*	268 *0,38*
22	42 *0,25*	77 *0,29*	128 *0,33*	195 *0,37*	281 *0,40*
24	44 *0,26*	81 *0,31*	134 *0,35*	205 *0,39*	295 *0,42*
26	46 *0,27*	85 *0,32*	140 *0,36*	214 *0,40*	308 *0,44*
28	47 *0,28*	88 *0,33*	146 *0,38*	222 *0,42*	320 *0,46*
30	49 *0,29*	91 *0,34*	151 *0,39*	231 *0,43*	332 *0,48*
35	53 *0,32*	99 *0,37*	164 *0,42*	250 *0,47*	361 *0,52*
40	57 *0,34*	107 *0,40*	176 *0,46*	269 *0,51*	388 *0,56*
45	61 *0,37*	114 *0,43*	188 *0,49*	286 *0,54*	413 *0,59*
50	65 *0,39*	120 *0,45*	199 *0,51*	303 *0,57*	437 *0,63*
60	71 *0,43*	132 *0,50*	219 *0,57*	334 *0,63*	481 *0,69*
70	78 *0,46*	144 *0,54*	238 *0,61*	363 *0,68*	523 *0,75*
80	83 *0,50*	155 *0,58*	255 *0,66*	390 *0,73*	561 *0,81*
90	89 *0,53*	165 *0,62*	272 *0,70*	415 *0,78*	598 *0,86*
100	94 *0,56*	174 *0,65*	288 *0,74*	439 *0,83*	633 *0,91*
150	117 *0,69*	216 *0,81*	357 *0,92*	545 *1,03*	786 *1,13*
200	136 *0,81*	252 *0,95*	417 *1,08*	636 *1,20*	916 *1,31*

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 3 - TUBI IN ACCIAIO DOLCE
Temp. acqua = 50°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

De	10	12	14	16	18
Di	7,7	9,7	11,7	13,7	15,7
r	G v				
2	11* *0,07*	23 *0,09*	38 *0,10*	58 *0,11*	84 *0,12*
4	18 *0,11*	33 *0,13*	55 *0,14*	84 *0,16*	121 *0,17*
6	22 *0,13*	41 *0,16*	68 *0,18*	104 *0,20*	150 *0,22*
8	26 *0,16*	48 *0,18*	80 *0,21*	122 *0,23*	175 *0,25*
10	29 *0,17*	54 *0,20*	90 *0,23*	137 *0,26*	197 *0,28*
12	32 *0,19*	60 *0,23*	99 *0,26*	151 *0,28*	218 *0,31*
14	35 *0,21*	65 *0,24*	108 *0,28*	164 *0,31*	236 *0,34*
16	38 *0,22*	70 *0,26*	115 *0,30*	176 *0,33*	254 *0,36*
18	40 *0,24*	74 *0,28*	123 *0,32*	188 *0,35*	270 *0,39*
20	42 *0,25*	79 *0,30*	130 *0,34*	199 *0,37*	286 *0,41*
22	45 *0,27*	83 *0,31*	137 *0,35*	209 *0,39*	301 *0,43*
24	47 *0,28*	87 *0,33*	143 *0,37*	219 *0,41*	315 *0,45*
26	49 *0,29*	91 *0,34*	150 *0,39*	228 *0,43*	329 *0,47*
28	51 *0,30*	94 *0,35*	156 *0,40*	238 *0,45*	342 *0,49*
30	53 *0,31*	98 *0,37*	162 *0,42*	247 *0,46*	355 *0,51*
35	57 *0,34*	106 *0,40*	176 *0,45*	268 *0,50*	386 *0,55*
40	61 *0,37*	114 *0,43*	188 *0,49*	288 *0,54*	414 *0,59*
45	65 *0,39*	121 *0,46*	201 *0,52*	306 *0,58*	441 *0,63*
50	69 *0,41*	129 *0,48*	212 *0,55*	324 *0,61*	467 *0,67*
60	76 *0,46*	142 *0,53*	234 *0,60*	357 *0,67*	515 *0,74*
70	83 *0,49*	154 *0,58*	254 *0,66*	388 *0,73*	559 *0,80*
80	89 *0,53*	165 *0,62*	273 *0,71*	417 *0,79*	600 *0,86*
90	95 *0,57*	176 *0,66*	291 *0,75*	444 *0,84*	639 *0,92*
100	100 *0,60*	186 *0,70*	308 *0,79*	470 *0,88*	677 *0,97*
150	125 *0,74*	231 *0,87*	382 *0,99*	583 *1,10*	840 *1,21*
200	145 *0,87*	270 *1,01*	446 *1,15*	680 *1,28*	980 *1,41*

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 4 - TUBI IN ACCIAIO DOLCE
Temp. acqua = 80°C

De	10	12	14	16	18
Di	7,7	9,7	11,7	13,7	15,7
r	G v				
2	13 *0,08*	24 *0,09*	39 *0,10*	60 *0,11*	86 *0,12*
4	19 *0,11*	34 *0,13*	57 *0,15*	87 *0,16*	125 *0,18*
6	23 *0,14*	43 *0,16*	71 *0,18*	108 *0,20*	155 *0,22*
8	27 *0,16*	50 *0,19*	82 *0,21*	126 *0,24*	181 *0,26*
10	30 *0,18*	56 *0,21*	93 *0,24*	142 *0,27*	204 *0,29*
12	33 *0,20*	62 *0,23*	102 *0,26*	156 *0,29*	225 *0,32*
14	36 *0,22*	67 *0,25*	111 *0,29*	169 *0,32*	244 *0,35*
16	39 *0,23*	72 *0,27*	119 *0,31*	182 *0,34*	262 *0,38*
18	41 *0,25*	77 *0,29*	127 *0,33*	194 *0,37*	279 *0,40*
20	44 *0,26*	81 *0,31*	134 *0,35*	205 *0,39*	295 *0,42*
22	46 *0,27*	86 *0,32*	141 *0,37*	216 *0,41*	311 *0,45*
24	48 *0,29*	90 *0,34*	148 *0,38*	226 *0,43*	326 *0,47*
26	50 *0,30*	94 *0,35*	155 *0,40*	236 *0,44*	340 *0,49*
28	52 *0,31*	97 *0,37*	161 *0,42*	245 *0,46*	354 *0,51*
30	54 *0,32*	101 *0,38*	167 *0,43*	255 *0,48*	367 *0,53*
35	59 *0,35*	110 *0,41*	181 *0,47*	277 *0,52*	398 *0,57*
40	63 *0,38*	118 *0,44*	195 *0,50*	297 *0,56*	428 *0,61*
45	68 *0,40*	125 *0,47*	207 *0,54*	316 *0,60*	456 *0,65*
50	71 *0,43*	133 *0,50*	219 *0,57*	335 *0,63*	482 *0,69*
60	79 *0,47*	146 *0,55*	242 *0,62*	369 *0,70*	531 *0,76*
70	86 *0,51*	159 *0,60*	262 *0,68*	401 *0,75*	577 *0,83*
80	92 *0,55*	171 *0,64*	282 *0,73*	430 *0,81*	620 *0,89*
90	98 *0,58*	182 *0,68*	300 *0,78*	458 *0,86*	660 *0,95*
100	104 *0,62*	192 *0,72*	318 *0,82*	485 *0,91*	698 *1,00*
150	129 *0,77*	239 *0,90*	395 *1,02*	602 *1,13*	867 *1,24*
200	150 *0,89*	278 *1,05*	460 *1,19*	702 *1,32*	1.012 *1,45*

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TUBI IN MATERIALE PLASTICO

Sono utilizzati soprattutto negli impianti di riscaldamento (con acqua non surriscaldata), negli impianti idrici e di scarico.

E' bene che la scelta di questi tubi sia fatta con molta attenzione. In particolare si deve verificare l'attendibilità delle prove e dei collaudi attestanti la loro resistenza a lungo termine (di norma si fa riferimento ad un periodo di 50 anni).

Per i tubi che convogliano acqua potabile, si deve, inoltre, poter disporre di una documentazione idonea a provare che essi non cedono sostanze tossiche all'acqua.

La TAB. 1 definisce i campi d'impiego delle materie plastiche più comunemente impiegate nella fabbricazione dei tubi.

TAB. 1 - Campi di impiego e di idoneità dei principali materiali plastici per tubi

Materiale	sigle di individuazione	impianti di riscaldamento	acqua fredda (potabile)	acqua calda (sanitaria)
Polietilene a bassa densità	LDPE, PEbd	±	+	-
Polietilene ad alta densità	HDPE, PEad	-	+	-
Polietilene reticolato	PEX, VPE, XLPE	+	+	+
Polipropilene	PP	+	+	-
Polipropilene copolimero	PP-COP	+	+	-
Polibutene	PB-1	+	+	±

\+ impiego normale
± impiego limitato
\- impiego sconsigliato

Di seguito sono riportate le caratteristiche principali dei tubi in: polietilene reticolato e in polietilene ad alta densità: cioè dei tubi in materiale plastico più comunemente utilizzati negli impianti di riscaldamento e idrosanitari.

TUBI IN POLIETILENE RETICOLATO

Sono realizzati con polietilene ad alta densità, trattato in modo da ottenere molecole disposte a reticolo e legate fra loro.
Tale struttura conferisce a questi tubi una buona resistenza meccanica e una specifica proprietà - chiamata "memoria termica" - che consente di riportare i tubi stessi alla loro forma originaria (mediante riscaldamento a fiamma o ad aria calda) anche nel caso di curve sbagliate o di schiacciamenti.

I tubi in polietilene reticolato si curvano con facilità sia a freddo che a caldo. Per eseguire curve strette si impiegano apposite graffe metalliche.

Le giunzioni fra tubo e tubo si realizzano con raccordi tradizionali in ottone, oppure con raccordi serrati a pressione sul tubo (raccordi press fitting).

- Pressione massima di esercizio: 6 ÷ 10 atm.
- Temperatura massima di esercizio: 95°C.

Sigle di individuazione:

- PEX, XLPE: sigle inglesi, Polietilene Reticolato con legami X-Linked;
- VPE: sigla tedesca, Polietilene Reticolato (Vernetztes Poliethylen).

Tabelle allegate:

- Nella tabelle 2 e 3 sono riportate le caratteristiche principali dei tubi in polietilene reticolato normalmente commercializzati:
  TAB. 2 - pressione massima di esercizio = 10 atm; temperatura massima di esercizio = 95°C;
  TAB. 3 - pressione massima di esercizio = 6 atm; temperatura massima di esercizio = 95°C.

- Dalla tabella 4 alla tabella 6 sono riportate le PERDITE DI CARICO CONTINUE (ved. relativa voce) dei tubi in polietilene reticolato, calcolate mediante le formule:
  (6.2) per il moto laminare;
  (9.2) per il moto turbolento.

Nota: I valori delle portate segnati con asterisco si riferiscono a condizioni di moto laminare.

TAB. 2 - CARATTERISTICHE TUBI PEX 10 atm - 95°C

diametro esterno mm	diametro interno mm	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
12	8	50	0,05	0,059
15	10	79	0,08	0,092
18	13	133	0,13	0,114
22	16	201	0,20	0,168
28	20	314	0,31	0,283

TAB. 3 - CARATTERISTICHE TUBI PEX 6 atm - 95°C

diametro esterno mm	diametro interno mm	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
20	16	201	0,20	0,106
32	26	531	0,53	0,257
40	32,6	834	0,83	0,396
50	40,8	1.307	1,31	0,616
63	51,4	2.074	2,07	0,979
75	61,2	2.940	2,94	1,387
90	73,6	4.252	4,25	1,980
110	90,0	6.359	6,36	2,952

TAB. 4 - TUBI IN PEX
Temp. acqua = 10°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

Dn	12	15	18	20-22	28	32	40	50	63	75	90	110
Di	8	10	13	16	20	26	32,6	40,8	51,4	61,2	73,6	90
r	G v											
2	5* *0,03*	13* *0,05*	38* *0,08*	87* *0,12*	146 *0,13*	297 *0,16*	548 *0,18*	1.008 *0,21*	1.887 *0,25*	3.031 *0,29*	5.001 *0,33*	8.633 *0,38*
4	11* *0,06*	27* *0,09*	76* *0,16*	118 *0,17*	216 *0,19*	441 *0,23*	815 *0,27*	1.498 *0,32*	2.804 *0,38*	4.504 *0,43*	7.431 *0,49*	12.828 *0,56*
6	16* *0,09*	40* *0,14*	85 *0,18*	149 *0,21*	273 *0,24*	556 *0,29*	1.027 *0,34*	1.889 *0,40*	3.536 *0,47*	5.678 *0,54*	9.368 *0,61*	16.173 *0,71*
8	22* *0,12*	53* *0,19*	100 *0,21*	175 *0,24*	322 *0,28*	655 *0,34*	1.211 *0,40*	2.226 *0,47*	4.167 *0,56*	6.692 *0,63*	11.042 *0,72*	19.063 *0,83*
10	27* *0,15*	56 *0,20*	113 *0,24*	199 *0,28*	365 *0,32*	744 *0,39*	1.376 *0,46*	2.529 *0,54*	4.734 *0,63*	7.602 *0,72*	12.544 *0,82*	21.655 *0,95*
12	33* *0,18*	62 *0,22*	126 *0,26*	221 *0,31*	405 *0,36*	826 *0,43*	1.527 *0,51*	2.807 *0,60*	5.254 *0,70*	8.437 *0,80*	13.921 *0,91*	24.033 *1,05*
14	38* *0,21*	67 *0,24*	137 *0,29*	242 *0,33*	443 *0,39*	902 *0,47*	1.667 *0,55*	3.065 *0,65*	5.738 *0,77*	9.214 *0,87*	15.203 *0,99*	26.246 *1,15*
16	40* *0,22*	73 *0,26*	148 *0,31*	261 *0,36*	478 *0,42*	974 *0,51*	1.799 *0,60*	3.308 *0,70*	6.193 *0,83*	9.945 *0,94*	16.409 *1,07*	28.327 *1,24*
18	42 *0,23*	78 *0,28*	159 *0,33*	279 *0,39*	511 *0,45*	1.042 *0,54*	1.925 *0,64*	3.539 *0,75*	6.624 *0,89*	10.637 *1,00*	17.551 *1,15*	30.299 *1,32*
20	45 *0,25*	83 *0,29*	169 *0,35*	296 *0,41*	543 *0,48*	1.106 *0,58*	2.044 *0,68*	3.758 *0,80*	7.035 *0,94*	11.297 *1,07*	18.640 *1,22*	32.180 *1,41*
22	48 *0,26*	87 *0,31*	178 *0,37*	313 *0,43*	573 *0,51*	1.168 *0,61*	2.159 *0,72*	3.969 *0,84*	7.429 *0,99*	11.929 *1,13*	19.683 *1,29*	33.981 *1,48*
24	50 *0,28*	92 *0,32*	187 *0,39*	329 *0,45*	602 *0,53*	1.228 *0,64*	2.269 *0,75*	4.171 *0,89*	7.807 *1,05*	12.537 *1,18*	20.687 *1,35*	35.713 *1,56*
26	52 *0,29*	96 *0,34*	196 *0,41*	344 *0,48*	631 *0,56*	1.285 *0,67*	2.375 *0,79*	4.366 *0,93*	8.173 *1,09*	13.124 *1,24*	21.655 *1,41*	37.384 *1,63*
28	55 *0,30*	100 *0,35*	204 *0,43*	359 *0,50*	658 *0,58*	1.341 *0,70*	2.478 *0,82*	4.555 *0,97*	8.526 *1,14*	13.692 *1,29*	22.592 *1,48*	39.002 *1,70*
30	57 *0,31*	104 *0,37*	213 *0,44*	373 *0,52*	684 *0,60*	1.395 *0,73*	2.577 *0,86*	4.738 *1,01*	8.869 *1,19*	14.242 *1,34*	23.500 *1,53*	40.570 *1,77*
35	62 *0,34*	114 *0,40*	232 *0,49*	408 *0,56*	747 *0,66*	1.523 *0,80*	2.814 *0,94*	5.175 *1,10*	9.686 *1,30*	15.554 *1,47*	25.664 *1,68*	44.306 *1,93*
40	67 *0,37*	123 *0,43*	250 *0,52*	440 *0,61*	806 *0,71*	1.644 *0,86*	3.038 *1,01*	5.585 *1,19*	10.454 *1,40*	16.787 *1,59*	27.699 *1,81*	47.819 *2,09*
45	72 *0,40*	131 *0,46*	268 *0,56*	471 *0,65*	863 *0,76*	1.758 *0,92*	3.249 *1,08*	5.974 *1,27*	11.181 *1,50*	17.956 *1,70*	29.628 *1,93*	51.148 *2,23*
50	76 *0,42*	140 *0,49*	285 *0,60*	500 *0,69*	916 *0,81*	1.867 *0,98*	3.451 *1,15*	6.344 *1,35*	11.875 *1,59*	19.070 *1,80*	31.466 *2,05*	54.322 *2,37*
60	85 *0,47*	155 *0,55*	316 *0,66*	555 *0,77*	1.017 *0,90*	2.072 *1,08*	3.830 *1,27*	7.041 *1,50*	13.179 *1,76*	21.164 *2,00*	34.921 *2,28*	60.287 *2,63*
70	92 *0,51*	169 *0,60*	345 *0,72*	606 *0,84*	1.110 *0,98*	2.263 *1,18*	4.182 *1,39*	7.689 *1,63*	14.393 *1,93*	23.113 *2,18*	38.137 *2,49*	65.838 *2,87*
80	100 *0,55*	183 *0,65*	372 *0,78*	654 *0,90*	1.198 *1,06*	2.443 *1,28*	4.514 *1,50*	8.299 *1,76*	15.534 *2,08*	24.946 *2,36*	41.161 *2,69*	71.058 *3,10*
90	107 *0,59*	195 *0,69*	398 *0,83*	700 *0,97*	1.282 *1,13*	2.613 *1,37*	4.828 *1,61*	8.877 *1,89*	16.616 *2,22*	26.682 *2,52*	44.026 *2,87*	76.005 *3,32*
100	113 *0,63*	207 *0,73*	423 *0,88*	743 *1,03*	1.361 *1,20*	2.775 *1,45*	5.128 *1,71*	9.428 *2,00*	17.647 *2,36*	28.338 *2,68*	46.758 *3,05*	80.722 *3,52*
150	143 *0,79*	262 *0,92*	533 *1,12*	937 *1,29*	1.716 *1,52*	3.499 *1,83*	6.465 *2,15*	11.886 *2,53*	22.248 *2,98*	35.727 *3,37*	58.950 *3,85*	
200	168 *0,93*	308 *1,09*	628 *1,31*	1.104 *1,53*	2.023 *1,79*	4.124 *2,16*	7.620 *2,54*	14.010 *2,98*	26.223 *3,51*	42.111 *3,98*		

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 5 - TUBI IN PEX
Temp. acqua = 50°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

Dn	12	15	18	20-22	28	32	40	50	63	75	90	110
Di	8	10	13	16	20	26	32,6	40,8	51,4	61,2	73,6	90
r	G v											
2	13* *0,07*	25 *0,09*	52 *0,11*	91 *0,13*	166 *0,15*	339 *0,18*	626 *0,21*	1.150 *0,24*	2.153 *0,29*	3.458 *0,33*	5.705 *0,37*	9.849 *0,43*
4	21 *0,11*	38 *0,13*	77 *0,16*	135 *0,19*	247 *0,22*	503 *0,26*	930 *0,31*	1.709 *0,36*	3.199 *0,43*	5.138 *0,49*	8.478 *0,55*	14.636 *0,64*
6	26 *0,14*	47 *0,17*	97 *0,20*	170 *0,23*	311 *0,28*	634 *0,33*	1.172 *0,39*	2.155 *0,46*	4.034 *0,54*	6.478 *0,61*	10.688 *0,70*	18.452 *0,81*
8	30 *0,17*	56 *0,20*	114 *0,24*	200 *0,28*	367 *0,32*	748 *0,39*	1.382 *0,46*	2.540 *0,54*	4.754 *0,64*	7.635 *0,72*	12.598 *0,82*	21.748 *0,95*
10	35 *0,19*	63 *0,22*	129 *0,27*	227 *0,31*	417 *0,37*	849 *0,44*	1.569 *0,52*	2.886 *0,61*	5.401 *0,72*	8.673 *0,82*	14.311 *0,93*	24.706 *1,08*
12	38 *0,21*	70 *0,25*	144 *0,30*	252 *0,35*	462 *0,41*	943 *0,49*	1.742 *0,58*	3.202 *0,68*	5.994 *0,80*	9.626 *0,91*	15.882 *1,04*	27.419 *1,20*
14	42 *0,23*	77 *0,27*	157 *0,33*	276 *0,38*	505 *0,45*	1.029 *0,54*	1.902 *0,63*	3.497 *0,74*	6.546 *0,88*	10.512 *0,99*	17.345 *1,13*	29.944 *1,31*
16	45 *0,25*	83 *0,29*	169 *0,35*	297 *0,41*	545 *0,48*	1.111 *0,58*	2.053 *0,68*	3.775 *0,80*	7.065 *0,95*	11.346 *1,07*	18.720 *1,22*	32.318 *1,41*
18	48 *0,27*	89 *0,31*	181 *0,38*	318 *0,44*	583 *0,52*	1.188 *0,62*	2.196 *0,73*	4.037 *0,86*	7.557 *1,01*	12.135 *1,15*	20.024 *1,31*	34.568 *1,51*
20	51 *0,28*	94 *0,33*	192 *0,40*	338 *0,47*	619 *0,55*	1.262 *0,66*	2.332 *0,78*	4.288 *0,91*	8.026 *1,07*	12.889 *1,22*	21.266 *1,39*	36.713 *1,60*
22	54 *0,30*	100 *0,35*	203 *0,42*	357 *0,49*	654 *0,58*	1.333 *0,70*	2.463 *0,82*	4.528 *0,96*	8.475 *1,13*	13.610 *1,29*	22.457 *1,47*	38.768 *1,69*
24	57 *0,32*	105 *0,37*	213 *0,45*	375 *0,52*	687 *0,61*	1.401 *0,73*	2.588 *0,86*	4.759 *1,01*	8.907 *1,19*	14.304 *1,35*	23.601 *1,54*	40.744 *1,78*
26	60 *0,33*	110 *0,39*	223 *0,47*	393 *0,54*	719 *0,64*	1.466 *0,77*	2.709 *0,90*	4.981 *1,06*	9.324 *1,25*	14.973 *1,41*	24.706 *1,61*	42.651 *1,86*
28	62 *0,34*	114 *0,40*	233 *0,49*	410 *0,57*	750 *0,66*	1.530 *0,80*	2.827 *0,94*	5.197 *1,10*	9.727 *1,30*	15.621 *1,48*	25.775 *1,68*	44.496 *1,94*
30	65 *0,36*	119 *0,42*	242 *0,51*	426 *0,59*	781 *0,69*	1.591 *0,83*	2.940 *0,98*	5.406 *1,15*	10.118 *1,35*	16.249 *1,53*	26.811 *1,75*	46.286 *2,02*
35	71 *0,39*	130 *0,46*	265 *0,55*	465 *0,64*	853 *0,75*	1.738 *0,91*	3.211 *1,07*	5.904 *1,25*	11.050 *1,48*	17.745 *1,68*	28.280 *1,91*	50.548 *2,21*
40	77 *0,42*	140 *0,50*	286 *0,60*	502 *0,69*	920 *0,81*	1.875 *0,98*	3.466 *1,15*	6.372 *1,35*	11.962 *1,60*	19.152 *1,81*	31.601 *2,06*	54.555 *2,38*
45	82 *0,45*	150 *0,53*	306 *0,64*	537 *0,74*	984 *0,87*	2.006 *1,05*	3.707 *1,23*	6.815 *1,45*	12.757 *1,71*	20.486 *1,93*	33.802 *2,21*	58.354 *2,55*
50	87 *0,48*	159 *0,56*	325 *0,68*	570 *0,79*	1.045 *0,92*	2.131 *1,11*	3.937 *1,31*	7.238 *1,54*	13.548 *1,81*	21.757 *2,05*	35.899 *2,34*	61.975 *2,71*
60	96 *0,53*	177 *0,63*	360 *0,75*	633 *0,87*	1.160 *1,03*	2.364 *1,24*	4.369 *1,45*	8.033 *1,71*	15.036 *2,01*	24.146 *2,28*	39.841 *2,60*	68.780 *3,00*
70	105 *0,58*	193 *0,68*	393 *0,82*	691 *0,96*	1.267 *1,12*	2.582 *1,35*	4.771 *1,59*	8.773 *1,86*	16.421 *2,20*	26.369 *2,49*	43.510 *2,84*	75.114 *3,28*
80	114 *0,63*	208 *0,74*	425 *0,89*	746 *1,03*	1.367 *1,21*	2.787 *1,46*	5.150 *1,71*	9.468 *2,01*	17.723 *2,37*	28.460 *2,69*	46.959 *3,07*	81.069 *3,54*
90	122 *0,67*	223 *0,79*	454 *0,95*	798 *1,10*	1.462 *1,29*	2.981 *1,56*	5.508 *1,83*	10.128 *2,15*	18.956 *2,54*	30.442 *2,87*	50.229 *3,28*	86.713 *3,79*
100	129 *0,71*	237 *0,84*	482 *1,01*	848 *1,17*	1.553 *1,37*	3.166 *1,66*	5.850 *1,95*	10.756 *2,29*	20.133 *2,70*	32.331 *3,05*	53.346 *3,48*	
150	163 *0,90*	298 *1,06*	608 *1,27*	1.069 *1,48*	1.958 *1,73*	3.991 *2,09*	7.375 *2,45*	13.561 *2,88*	25.382 *3,40*	40.760 *3,85*		
200	192 *1,06*	352 *1,24*	717 *1,50*	1.260 *1,74*	2.308 *2,04*	4.705 *2,46*	8.693 *2,89*	15.983 *3,40*				

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 6 - TUBI IN PEX
Temp. acqua = 80°C

Dn	12	15	18	20-22	28	32	40	50	63	75	90	110
Di	8	10	13	16	20	26	32,6	40,8	51,4	61,2	73,6	90
r	G v											
2	15 *0,08*	27 *0,09*	55 *0,11*	96 *0,13*	176 *0,16*	358 *0,19*	662 *0,22*	1.217 *0,26*	2.278 *0,30*	3.658 *0,35*	6.036 *0,39*	10.421 *0,46*
4	22 *0,12*	40 *0,14*	81 *0,17*	143 *0,20*	261 *0,23*	532 *0,28*	984 *0,33*	1.809 *0,38*	3.385 *0,45*	5.436 *0,51*	8.970 *0,59*	15.485 *0,68*
6	27 *0,15*	50 *0,18*	102 *0,21*	180 *0,25*	329 *0,29*	671 *0,35*	1.240 *0,41*	2.280 *0,48*	4.268 *0,57*	6.854 *0,65*	11.309 *0,74*	19.523 *0,85*
8	32 *0,18*	59 *0,21*	121 *0,25*	212 *0,29*	388 *0,34*	791 *0,41*	1.462 *0,49*	2.688 *0,57*	5.030 *0,67*	8.078 *0,76*	13.329 *0,87*	23.011 *1,00*
10	37 *0,20*	67 *0,24*	137 *0,29*	241 *0,33*	441 *0,39*	899 *0,47*	1.661 *0,55*	3.053 *0,65*	5.715 *0,77*	9.177 *0,87*	15.142 *0,99*	26.141 *1,14*
12	41 *0,22*	75 *0,26*	152 *0,32*	267 *0,37*	489 *0,43*	997 *0,52*	1.843 *0,61*	3.888 *0,72*	6.342 *0,85*	10.185 *0,96*	16.805 *1,10*	29.011 *1,27*
14	44 *0,25*	81 *0,29*	166 *0,35*	292 *0,40*	534 *0,47*	1.089 *0,57*	2.013 *0,67*	3.700 *0,79*	6.926 *0,93*	11.122 *1,05*	18.352 *1,20*	31.682 *1,38*
16	48 *0,27*	88 *0,31*	179 *0,37*	315 *0,43*	577 *0,51*	1.176 *0,62*	2.172 *0,72*	3.994 *0,85*	7.475 *1,00*	12.004 *1,13*	19.807 *1,29*	34.194 *1,49*
18	51 *0,28*	94 *0,33*	192 *0,40*	337 *0,47*	617 *0,55*	1.257 *0,66*	2.323 *0,77*	4.272 *0,91*	7.996 *1,07*	12.840 *1,21*	21.186 *1,38*	36.575 *1,60*
20	54 *0,30*	100 *0,35*	203 *0,43*	358 *0,49*	655 *0,58*	1.335 *0,70*	2.468 *0,82*	4.537 *0,96*	8.492 *1,14*	13.637 *1,29*	22.501 *1,47*	38.845 *1,70*
22	58 *0,32*	105 *0,37*	215 *0,45*	378 *0,52*	692 *0,61*	1.410 *0,74*	2.606 *0,87*	4.791 *1,02*	8.967 *1,20*	14.400 *1,36*	23.760 *1,55*	41.019 *1,79*
24	60 *0,33*	111 *0,39*	226 *0,47*	397 *0,55*	727 *0,64*	1.482 *0,78*	2.738 *0,91*	5.035 *1,07*	9.424 *1,26*	15.134 *1,43*	24.972 *1,63*	43.110 *1,88*
26	63 *0,35*	116 *0,41*	236 *0,49*	415 *0,57*	761 *0,67*	1.551 *0,81*	2.867 *0,95*	5.271 *1,12*	9.865 *1,32*	15.843 *1,50*	26.140 *1,71*	45.128 *1,97*
28	66 *0,36*	121 *0,43*	247 *0,52*	433 *0,60*	794 *0,70*	1.618 *0,85*	2.991 *1,00*	5.499 *1,17*	10.292 *1,38*	16.528 *1,56*	27.271 *1,78*	47.080 *2,06*
30	69 *0,38*	126 *0,45*	257 *0,54*	451 *0,62*	826 *0,73*	1.684 *0,88*	3.111 *1,04*	5.720 *1,22*	10.706 *1,43*	17.192 *1,62*	28.368 *1,85*	48.973 *2,14*
35	75 *0,41*	137 *0,49*	280 *0,59*	492 *0,68*	902 *0,80*	1.839 *0,96*	3.397 *1,13*	6.246 *1,33*	11.692 *1,57*	18.776 *1,77*	30.980 *2,02*	53.483 *2,34*
40	81 *0,45*	148 *0,52*	302 *0,63*	531 *0,73*	974 *0,86*	1.984 *1,04*	3.667 *1,22*	6.742 *1,43*	12.619 *1,69*	20.264 *1,91*	33.436 *2,18*	57.723 *2,52*
45	87 *0,48*	159 *0,56*	323 *0,68*	568 *0,79*	1.041 *0,92*	2.123 *1,11*	3.992 *1,31*	7.211 *1,53*	13.497 *1,81*	21.675 *2,05*	35.764 *2,34*	61.742 *2,70*
50	92 *0,51*	169 *0,60*	343 *0,72*	604 *0,83*	1.106 *0,98*	2.254 *1,18*	4.165 *1,39*	7.659 *1,63*	14.335 *1,92*	23.020 *2,17*	37.983 *2,48*	65.573 *2,86*
60	102 *0,56*	187 *0,66*	381 *0,80*	670 *0,93*	1.227 *1,09*	2.502 *1,31*	4.623 *1,54*	8.500 *1,81*	15.909 *2,13*	25.548 *2,41*	42.154 *2,75*	72.774 *3,18*
70	111 *0,62*	204 *0,72*	416 *0,87*	731 *1,01*	1.340 *1,19*	2.732 *1,43*	5.048 *1,68*	9.282 *1,97*	17.374 *2,33*	27.900 *2,63*	46.036 *3,01*	79.475 *3,47*
80	120 *0,66*	220 *0,78*	449 *0,94*	789 *1,09*	1.447 *1,28*	2.949 *1,54*	5.449 *1,81*	10.018 *2,13*	18.752 *2,51*	30.113 *2,84*	49.686 *3,24*	85.776 *3,75*
90	129 *0,71*	236 *0,83*	481 *1,01*	844 *1,17*	1.547 *1,37*	3.154 *1,65*	5.828 *1,94*	10.716 *2,28*	20.057 *2,69*	32.209 *3,04*	53.145 *3,47*	
100	137 *0,76*	250 *0,89*	510 *1,07*	897 *1,24*	1.643 *1,45*	3.350 *1,75*	6.190 *2,06*	11.381 *2,42*	21.302 *2,85*	34.208 *3,23*	56.443 *3,69*	
150	172 *0,95*	316 *1,12*	644 *1,35*	1.131 *1,56*	2.072 *1,83*	4.223 *2,21*	7.804 *2,60*	14.348 *3,05*	26.856 *3,60*			
200	203 *1,12*	372 *1,32*	758 *1,59*	1.333 *1,84*	2.442 *2,16*	4.978 *2,60*	9.198 *3,06*	16.911 *3,59*				

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TUBI IN POLIETILENE AD ALTA DENSITA'

Sono prodotti con polietilene ad alta densità al quale vengono aggiunti additivi e stabilizzanti per migliorarne le caratteristiche di resistenza e di invecchiamento.

Le giunzioni tra tubo e tubo si possono effettuare con raccordi in ottone o in materiale plastico, con flange, mediante saldatura di testa o con manicotti elettrici.

Questi tubi sono utilizzati prevalentemente per la distribuzione dell'acqua fredda potabile, per impianti antincendio e di irrigazione.

Sono disponibili nei tipi sotto elencati, definiti secondo il valore della loro pressione massima di esercizio a 20°C:

- PN 6, pressione massima di esercizio 6 atm;
- PN 10, pressione massima di esercizio 10 atm;
- PN 16, pressione massima di esercizio 16 atm.

Sigle di individuazione:

- PEad: abbreviazione per Polietilene ad alta densità;
- PEHD, HDPE: abbreviazione per High Density Polyethylene.

Tabelle allegate:

- Nelle tabelle 7, 8 e 9 sono riportate le caratteristiche principali dei tubi in PEad, tipo PN 6, PN 10, PN 16, conformi alla norma:
  UNI 7611 - Tubi di polietilene ad alta densità per condotte di fluidi in pressione.
- Dalla tabella 10 alla tabella 12 sono riportate le PERDITE DI CARICO CONTINUE (ved. relativa voce) dei tubi in polietilene ad alta densità, calcolate con la formula:
  (9.2) valida per il moto turbolento.

TAB. 7 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN PEad PN 6

diametro esterno mm	diametro interno mm	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
25	21,8	373	0,37	0,11
32	28,2	624	0,62	0,17
40	35,4	984	0,98	0,26
50	44,2	1.534	1,53	0,41
63	55,8	2.444	2,44	0,64
75	66,4	3.461	3,46	0,91
90	79,8	4.999	5,00	1,30
110	97,4	7.447	7,45	1,96
125	110,8	9.637	9,64	2,51
140	124,0	12.070	12,07	3,16
160	141,8	15.784	15,78	4,11
180	159,6	19.996	20,00	5,19

TAB. 8 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN PEad PN 10

diametro esterno mm	diametro interno mm	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
20	16,2	206	0,21	0,10
25	20,4	327	0,33	0,16
32	26,0	531	0,53	0,26
40	32,6	834	0,83	0,40
50	40,8	1.307	1,31	0,63
63	51,4	2.074	2,07	0,99
75	61,2	2.940	2,94	1,41
90	73,6	4.252	4,25	2,01
110	90,0	6.359	6,36	3,00
125	102,2	8.199	8,20	3,88
140	114,4	10.274	10,27	4,88
160	130,8	13.430	13,43	6,36
180	147,2	17.009	17,01	8,04

TAB. 9 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN PEad PN 16

diametro esterno mm	diametro interno mm	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
20	14,4	163	0,16	0,14
25	18,0	254	0,25	0,23
32	23,0	415	0,42	0,37
40	28,8	651	0,65	0,58
50	36,2	1.029	1,03	0,89
63	45,6	1.632	1,63	1,42
75	54,2	2.306	2,31	2,01
90	65,2	3.337	3,34	2,8
110	79,6	4.974	4,97	4,32

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 10 -TUBI IN PEad PN 6 Temp. acqua = 10°C

De	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180
Di	21,8	28,2	35,4	44,2	55,8	66,4	79,8	97,4	110,8	124	141,8	159,6
r	G v											
5	311 *0,23*	625 *0,28*	1.158 *0,33*	2.115 *0,38*	3.981 *0,45*	6.384 *0,51*	10.514 *0,58*	18.059 *0,67*	25.623 *0,74*	34.779 *0,80*	50.054 *0,88*	68.998 *0,96*
10	461 *0,34*	928 *0,41*	1.720 *0,49*	3.143 *0,57*	5.916 *0,67*	9.486 *0,76*	15.623 *0,87*	26.835 *1,00*	38.076 *1,10*	51.682 *1,19*	74.380 *1,31*	102.530 *1,42*
15	582 *0,43*	1.170 *0,52*	2.169 *0,61*	3.962 *0,72*	7.459 *0,85*	11.959 *0,96*	19.697 *1,09*	33.832 *1,26*	48.004 *1,38*	65.157 *1,50*	93.773 *1,65*	129.263 *1,79*
20	686 *0,51*	1.379 *0,61*	2.556 *0,72*	4.670 *0,85*	8.792 *1,00*	14.096 *1,13*	23.216 *1,29*	39.877 *1,49*	56.581 *1,63*	76.799 *1,77*	110.528 *1,94*	152.359 *2,12*
25	779 *0,58*	1.567 *0,70*	2.904 *0,82*	5.306 *0,96*	9.987 *1,13*	16.013 *1,28*	26.373 *1,46*	45.300 *1,69*	64.276 *1,85*	87.243 *2,01*	125.559 *2,21*	173.080 *2,40*
30	865 *0,64*	1.739 *0,77*	3.223 *0,91*	5.888 *1,07*	11.084 *1,26*	17.771 *1,43*	29.269 *1,63*	50.275 *1,87*	71.334 *2,06*	96.823 *2,23*	139.346 *2,45*	192.085 *2,67*
35	944 *0,70*	1.899 *0,84*	3.520 *0,99*	6.430 *1,16*	12.105 *1,37*	19.408 *1,56*	31.964 *1,78*	54.904 *2,05*	77.902 *2,24*	105.178 *2,43*	152.178 *2,68*	209.772 *2,91*
40	1.019 *0,76*	2.049 *0,91*	3.799 *1,07*	6.940 *1,26*	13.064 *1,48*	20.946 *1,68*	34.499 *1,92*	59.257 *2,21*	84.079 *2,42*	114.122 *2,63*	164.244 *2,89*	226.405 *3,14*
45	1.090 *0,81*	2.192 *0,97*	4.063 *1,15*	7.423 *1,34*	13.974 *1,59*	22.405 *1,80*	36.901 *2,05*	63.383 *2,36*	89.933 *2,59*	122.068 *2,81*	175.679 *3,09*	242.167 *3,36*
50	1.158 *0,86*	2.328 *1,04*	4.316 *1,22*	7.884 *1,43*	14.841 *1,69*	23.795 *1,91*	39.191 *2,18*	67.316 *2,51*	95.514 *2,75*	129.642 *2,98*	186.581 *3,28*	257.195 *3,57*
55	1.222 *0,91*	2.458 *1,09*	4.557 *1,29*	8.325 *1,51*	15.672 *1,78*	25.127 *2,02*	41.384 *2,30*	71.084 *2,65*	100.860 *2,91*	136.899 *3,15*	197.024 *3,47*	271.592 *3,77*
60	1.285 *0,96*	2.584 *1,15*	4.789 *1,35*	8.750 *1,58*	16.471 *1,87*	26.408 *2,12*	43.494 *2,42*	74.708 *2,79*	106.002 *3,05*	143.878 *3,31*	207.068 *3,64*	285.437 *3,96*
65	1.345 *1,00*	2.705 *1,20*	5.014 *1,41*	9.159 *1,66*	17.242 *1,96*	27.644 *2,22*	45.530 *2,53*	78.204 *2,92*	110.963 *3,20*	150.611 *3,46*	216.759 *3,81*	298.796 *4,15*
70	1.403 *1,04*	2.822 *1,25*	5.230 *1,48*	9.555 *1,73*	17.987 *2,04*	28.840 *2,31*	47.499 *2,64*	81.587 *3,04*	115.763 *3,34*	157.126 *3,61*	226.135 *3,98*	311.720 *4,33*
75	1.459 *1,09*	2.935 *1,31*	5.441 *1,54*	9.940 *1,80*	18.711 *2,13*	29.999 *2,41*	49.409 *2,74*	84.868 *3,16*	120.418 *3,47*	163.445 *3,76*	235.229 *4,14*	324.256 *4,50*
80	1.514 *1,13*	3.045 *1,35*	5.645 *1,59*	10.313 *1,87*	19.414 *2,21*	31.126 *2,50*	51.265 *2,85*	88.056 *3,28*	124.941 *3,60*	169.585 *3,90*	244.066 *4,29*	336.437 *4,67*
85	1.568 *1,17*	3.153 *1,40*	5.844 *1,65*	10.677 *1,93*	20.098 *2,28*	32.223 *2,58*	53.072 *2,95*	91.160 *3,40*	129.346 *3,73*	175.563 *4,04*	252.668 *4,44*	348.296 *4,84*
90	1.620 *1,21*	3.257 *1,45*	6.038 *1,70*	11.031 *2,00*	20.765 *2,36*	33.293 *2,67*	54.834 *3,05*	94.187 *3,51*	133.640 *3,85*	181.392 *4,17*	261.057 *4,59*	359.860 *5,00*
95	1.670 *1,24*	3.360 *1,49*	6.228 *1,76*	11.377 *2,06*	21.417 *2,43*	34.338 *2,75*	56.555 *3,14*	97.142 *3,62*	137.834 *3,97*	187.083 *4,30*	269.249 *4,74*	
100	1.720 *1,28*	3.459 *1,54*	6.413 *1,81*	11.716 *2,12*	22.054 *2,51*	35.359 *2,84*	58.237 *3,23*	100.032 *3,73*	141.933 *4,09*	192.648 *4,43*	277.258 *4,88*	
120	1.909 *1,42*	3.839 *1,71*	7.117 *2,01*	13.002 *2,35*	24.475 *2,78*	39.242 *3,15*	64.632 *3,59*	111.015 *4,14*	157.518 *4,54*	213.801 *4,92*		
140	2.085 *1,55*	4.193 *1,86*	7.772 *2,19*	14.199 *2,57*	26.729 *3,04*	42.855 *3,44*	70.583 *3,92*	121.238 *4,52*	172.023 *4,96*			
160	2.250 *1,67*	4.525 *2,01*	8.389 *2,37*	15.325 *2,77*	28.849 *3,28*	46.254 *3,71*	76.180 *4,23*	130.851 *4,88*				
180	2.407 *1,79*	4.840 *2,15*	8.973 *2,53*	16.392 *2,97*	30.857 *3,51*	49.474 *3,97*	81.484 *4,53*					
200	2.556 *1,90*	5.141 *2,29*	9.530 *2,69*	17.409 *3,15*	32.772 *3,72*	52.544 *4,21*	86.540 *4,81*					
300	3.223 *2,40*	6.481 *2,88*	12.014 *3,39*	21.949 *3,97*	41.317 *4,69*							

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 11 -TUBI IN PEad PN 10
Temp. acqua = 10°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

De	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180
Di	16,2	20,4	26	32,6	40,8	51,4	61,2	73,6	90	102,2	114,4	130,8	147,2
r	G v												
5	139 *0,19*	259 *0,22*	501 *0,26*	926 *0,31*	1.702 *0,36*	3.186 *0,43*	5.116 *0,48*	8.441 *0,55*	14.573 *0,64*	20.578 *0,70*	27.947 *0,76*	40.202 *0,83*	55.398 *0,90*
10	206 *0,28*	385 *0,33*	744 *0,39*	1.376 *0,46*	2.529 *0,54*	4.736 *0,63*	7.602 *0,72*	12.544 *0,82*	21.655 *0,95*	30.578 *1,04*	41.529 *1,12*	59.741 *1,23*	82.321 *1,34*
15	260 *0,35*	486 *0,41*	939 *0,49*	1.734 *0,58*	3.189 *0,68*	5.968 *0,80*	9.584 *0,91*	15.814 *1,03*	27.302 *1,19*	38.551 *1,31*	52.357 *1,41*	75.317 *1,56*	103.785 *1,69*
20	306 *0,41*	573 *0,49*	1.106 *0,58*	2.044 *0,68*	3.758 *0,80*	7.035 *0,94*	11.297 *1,07*	18.640 *1,22*	32.180 *1,41*	45.439 *1,54*	61.711 *1,67*	88.774 *1,84*	122.329 *2,00*
25	348 *0,47*	651 *0,55*	1.257 *0,66*	2.322 *0,77*	4.270 *0,91*	7.992 *1,07*	12.833 *1,21*	21.175 *1,38*	36.556 *1,60*	51.619 *1,75*	70.104 *1,89*	100.847 *2,08*	138.965 *2,27*
30	386 *0,52*	722 *0,61*	1.395 *0,73*	2.577 *0,86*	4.738 *1,01*	8.869 *1,19*	14.242 *1,34*	23.500 *1,53*	40.570 *1,77*	57.287 *1,94*	77.802 *2,10*	111.921 *2,31*	154.224 *2,52*
35	422 *0,57*	788 *0,67*	1.523 *0,80*	2.814 *0,94*	5.175 *1,10*	9.686 *1,30*	15.554 *1,47*	25.664 *1,68*	44.306 *1,93*	62.562 *2,12*	84.966 *2,30*	122.227 *2,53*	168.425 *2,75*
40	455 *0,61*	851 *0,72*	1.644 *0,86*	3.038 *1,01*	5.585 *1,19*	10.454 *1,40*	16.787 *1,59*	27.699 *1,81*	47.819 *2,09*	67.523 *2,29*	91.703 *2,48*	131.918 *2,73*	181.780 *2,97*
45	487 *0,66*	910 *0,77*	1.758 *0,92*	3.249 *1,08*	5.974 *1,27*	11.181 *1,50*	17.956 *1,70*	29.628 *1,93*	51.148 *2,23*	72.224 *2,45*	98.087 *2,65*	141.102 *2,92*	194.436 *3,17*
50	517 *0,70*	967 *0,82*	1.867 *0,98*	3.451 *1,15*	6.344 *1,35*	11.875 *1,59*	19.070 *1,80*	31.466 *2,05*	54.322 *2,37*	76.705 *2,60*	104.174 *2,82*	149.858 *3,10*	206.501 *3,37*
55	546 *0,74*	1.021 *0,87*	1.972 *1,03*	3.644 *1,21*	6.700 *1,42*	12.540 *1,68*	20.138 *1,90*	33.227 *2,17*	57.362 *2,50*	80.999 *2,74*	110.005 *2,97*	158.246 *3,27*	218.060 *3,56*
60	574 *0,77*	1.073 *0,91*	2.072 *1,08*	3.830 *1,27*	7.041 *1,50*	13.179 *1,76*	21.164 *2,00*	34.921 *2,28*	60.287 *2,63*	85.128 *2,88*	115.613 *3,12*	166.313 *3,44*	229.176 *3,74*
65	601 *0,81*	1.123 *0,95*	2.169 *1,14*	4.009 *1,33*	7.371 *1,57*	13.796 *1,85*	22.155 *2,09*	36.555 *2,39*	63.108 *2,76*	89.112 *3,02*	121.023 *3,27*	174.097 *3,60*	239.902 *3,92*
70	627 *0,84*	1.172 *1,00*	2.263 *1,18*	4.182 *1,39*	7.689 *1,63*	14.393 *1,93*	23.113 *2,18*	38.137 *2,49*	65.838 *2,87*	92.967 *3,15*	126.259 *3,41*	181.628 *3,75*	250.279 *4,09*
75	652 *0,88*	1.219 *1,04*	2.354 *1,23*	4.350 *1,45*	7.999 *1,70*	14.972 *2,00*	24.043 *2,27*	39.670 *2,59*	68.485 *2,99*	96.705 *3,27*	131.335 *3,55*	188.931 *3,91*	260.344 *4,25*
80	676 *091*	1,265 *1,07*	2.443 *1,28*	4.514 *1,50*	8.299 *1,76*	15.534 *2,08*	24.946 *2,36*	41.161 *2,69*	71.058 *3,10*	100.338 *3,40*	136.270 *3,68*	196.029 *4,05*	270.124 *4,41*
85	700 *0,94*	1.309 *1,11*	2.529 *1,32*	4.673 *1,56*	8.592 *1,83*	16.082 *2,15*	25.825 *2,44*	42.612 *2,78*	73.563 *3,21*	103.875 *3,52*	141.073 *3,81*	202.939 *4,20*	279.646 *4,56*
90	724 *0,98*	1.353 *1,15*	2.613 *1,37*	4.828 *1,61*	8.877 *1,89*	16.616 *2,22*	26.682 *2,52*	44.026 *2,87*	76.005 *3,32*	107.324 *3,63*	145.757 *3,94*	209.677 *4,33*	288.930 *4,72*
95	746 *1,01*	1.395 *1,19*	2.695 *1,41*	4.980 *1,66*	9.156 *1,95*	17.137 *2,29*	27.520 *2,60*	45.408 *2,96*	78.390 *3,42*	110.691 *3,75*	150.330 *4,06*	216.256 *4,47*	297.996 *4,86*
100	768 *1,04*	1.437 *1,22*	2.775 *1,45*	5.128 *1,71*	9.428 *2,00*	17.647 *2,36*	28.338 *2,68*	46.758 *3,05*	80.722 *3,52*	133.984 *3,86*	154.802 *4,18*	222.689 *4,60*	
120	853 *1,15*	1.594 *1,35*	3.080 *1,61*	5.691 *1,89*	10.463 *2,22*	19.584 *2,62*	31.450 *2,97*	51.893 *3,39*	89.586 *3,91*	126.500 *4,28*	171.800 *4,64*		
140	931 *1,26*	1.741 *1,48*	3.363 *1,76*	6.215 *2,07*	11.427 *2,43*	21.388 *2,86*	34.346 *3,24*	56.671 *3,70*	97.835 *4,27*	138.148 *4,68*			
160	1.005 *1,35*	1.879 *1,60*	3.630 *1,90*	6.708 *2,23*	12.333 *2,62*	23.084 *3,09*	37.069 *3,50*	61.164 *3,99*	105.592 *4,61*				
180	1.075 *1,45*	2.010 *1,71*	3.883 *2,03*	7.175 *2,39*	13.191 *2,80*	24.691 *3,31*	39.650 *3,74*	65423 *4,27*	112.944 *4,93*				
200	1.142 *1,54*	2.135 *1,81*	4.124 *2,16*	7.620 *2,54*	14.010 *2,98*	26.223 *3,51*	42.111 *3,98*	69.483 *4,54*					
300	1.440 *1,94*	2.691 *2,29*	5.199 *2,72*	9.607 *3,20*	17.663 *3,75*	33.060 *4,43*							

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 12 -TUBI IN PEad PN 16 Temp. acqua = 10°C

De	20	25	32	40	50	63	75	90	110
Di	14,4	18	23	28,8	36,2	45,6	54,2	65,2	79,6
r	G v								
5	101 *0,17*	185 *0,20*	359 *0,24*	661 *0,28*	1.230 *0,33*	2.302 *0,39*	3.679 *0,44*	6.075 *0,51*	10.442 *0,58*
10	150 *0,26*	274 *0,30*	534 *0,36*	983 *0,42*	1.828 *0,49*	3.421 *0,58*	5.467 *0,67*	9.028 *0,75*	15.517 *0,87*
15	189 *0,32*	346 *0,38*	673 *0,45*	1.239 *0,53*	2.305 *0,62*	4.312 *0,73*	6.893 *0,83*	11.382 *0,95*	19.563 *1,09*
20	223 *0,38*	408 *0,45*	793 *0,53*	1.460 *0,62*	2.716 *0,73*	5.083 *0,86*	8.124 *0,98*	13.415 *1,12*	23.058 *1,29*
25	253 *0,43*	463 *0,51*	901 *0,60*	1.659 *0,71*	3.086 *0,83*	5.774 *0,98*	9.229 *1,11*	15.240 *1,27*	26.194 *1,46*
30	281 *0,48*	514 *0,56*	1.000 *0,67*	1.841 *0,78*	3.425 *0,92*	6.408 *1,09*	10.242 *1,23*	16.913 *1,41*	29.071 *1,62*
35	306 *0,52*	561 *0,61*	1.092 *0,73*	2.010 *0,86*	3.740 *1,01*	6.998 *1,19*	11.186 *1,35*	18.470 *1,54*	31.747 *1,77*
40	331 *0,56*	606 *0,66*	1.179 *0,79*	2.170 *0,93*	4.037 *1,09*	7.553 *1,28*	12.072 *1,45*	19.935 *1,66*	34.265 *1,91*
45	354 *0,60*	648 *0,71*	1.261 *0,84*	2.321 *0,99*	4.318 *1,17*	8.079 *1,37*	12.913 *1,55*	21.323 *1,77*	36.650 *2,05*
50	376 *0,64*	688 *0,75*	1.339 *0,90*	2.465 *1,05*	4.585 *1,24*	8.580 *1,46*	13.714 *1,65*	22.646 *1,88*	38.925 *2,17*
55	397 *0,68*	727 *0,79*	1.414 *0,95*	2.603 *1,11*	4.842 *1,31*	9.061 *1,54*	14.482 *1,74*	23.913 *1,99*	41.103 *2,29*
60	417 *0,71*	764 *0,83*	1.486 *0,99*	2.736 *1,17*	5.089 *1,37*	9.523 *1,62*	15.220 *1,83*	25.133 *2,09*	43.199 *2,41*
65	436 *0,74*	800 *0,87*	1.555 *1,04*	2.864 *1,22*	5.327 *1,44*	9.968 *1,70*	15.932 *1,92*	26.309 *2,19*	45.220 *2,52*
70	455 *0,78*	834 *0,91*	1.623 *1,08*	2.988 *1,27*	5.558 *1,50*	10.399 *1,77*	16.622 *2,00*	27.447 *2,28*	47.176 *2,63*
75	474 *0,81*	868 *0,95*	1.688 *1,13*	3.108 *1,33*	5.781 *1,56*	10.818 *1,84*	17.290 *2,08*	28.550 *2,38*	49.074 *2,74*
80	491 *0,84*	900 *0,98*	1.751 *1,17*	3.224 *1,37*	5.998 *1,62*	11.224 *1,91*	17.940 *2,16*	29.623 *2,46*	50.917 *2,84*
85	509 *0,87*	932 *1,02*	1.813 *1,21*	3.338 *1,42*	6.210 *1,68*	11.620 *1,98*	18.572 *2,24*	30.667 *2,55*	52.712 *2,94*
90	526 *0,90*	963 *1,05*	1.873 *1,25*	3.449 *1,47*	6.416 *1,73*	12.005 *2,04*	19.189 *2,31*	31.685 *2,64*	54.462 *3,04*
95	542 *0,92*	993 *1,08*	1.932 *1,29*	3.557 *1,52*	6.617 *1,79*	12.382 *2,11*	19.791 *2,38*	32.680 *2,72*	56.171 *3,14*
100	558 *0,95*	1.023 *1,12*	1.989 *1,33*	3.663 *1,56*	6.814 *1,84*	12.750 *2,17*	20.379 *2,45*	33.652 *2,80*	57.842 *3,23*
120	619 *1,06*	1.135 *1,24*	2.208 *1,48*	4.065 *1,73*	7.562 *2,04*	14.150 *2,41*	22.617 *2,72*	37.347 *3,11*	64.193 *3,58*
140	676 *1,15*	1.240 *1,35*	2.411 *1,61*	4.439 *1,89*	8.259 *2,23*	15.453 *2,63*	24.700 *2,97*	40.786 *3,39*	70.104 *3,91*
160	730 *1,25*	1.338 *1,46*	2.602 *1,74*	4.791 *2,04*	8.913 *2,41*	16.679 *2,84*	26.658 *3,21*	44.020 *3,66*	75.662 *4,22*
180	781 *1,33*	1.431 *1,56*	2.784 *1,86*	5.125 *2,19*	9.534 *2,57*	17.840 *3,03*	28.514 *3,43*	47.084 *3,92*	80.930 *4,52*
200	829 *1,41*	1.520 *1,66*	2.956 *1,98*	5.443 *2,32*	10.126 *2,73*	18.947 *3,22*	30.284 *3,65*	50.006 *4,16*	85.952 *4,80*
300	1.046 *1,78*	1.916 *2,09*	3.727 *2,49*	6.862 *2,93*	12.766 *3,45*	23.887 *4,06*	38.179 *4,60*		

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TUBI IN RAME

Sono ottenuti da lingotti cilindrici con operazioni di laminazione (o estrusione), trafilatura e calibratura.

I tubi in rame possono essere forniti allo stato crudo o allo stato ricotto. Allo stato crudo sono commercializzati solo in verghe; allo stato ricotto sono invece disponibili in verghe e in rotoli.

Questi tubi sono disponibili anche con protezioni contro la corrosione e con preisolamento termico.
La protezione contro la corrosione è ottenuta mediante rivestimento dei tubi con guaine in PVC aventi superficie interna a sviluppo "stellare".
Il preisolamento termico è realizzato, invece, con schiume di polietilene a cellule chiuse o aperte.

I collegamenti fra tubo e tubo si possono eseguire con raccordi a brasare, raccordi misti o raccordi meccanici.

- I raccordi a brasare sono fabbricati in rame, ottone e bronzo. Se di rame, vengono ottenuti direttamente dai tubi.
- I raccordi misti del tipo a "brasare-filettare", oppure del tipo a "brasare-raccordo meccanico", sono usati quasi esclusivamente per collegare tubazioni in rame con tubazioni in ferro.
- I raccordi meccanici sono ottenuti da barre lavorate alle macchine utensili.

La pressione massima dei tubi in rame può essere calcolata con la formula:

$$P = 200 \cdot \frac{s \cdot R}{De \cdot K} \qquad (1)$$

dove:
- P = pressione massima di esercizio, kgf/cm^2
- s = spessore pareti tubo, mm
- R = carico di rottura, kgf/mm^2
- De = diametro esterno tubo, mm
- K = coefficiente di sicurezza, adimensionale

normalmente si assume:
- R = 21 (kgf/mm^2) per tubi in rame ricotto a 20°C
- R = 30 (kgf/mm^2) per tubi in rame crudo a 20°C
- K = 4

Ricottura

E' un trattamento termico impiegato per ridurre lo stato delle tensioni interne (l'incrudimento) dei materiali metallici sottoposti a lavorazioni meccaniche, quali, ad esempio, la fucinatura e la trafilatura.

La ricottura si ottiene riscaldando i materiali interessati fino ad una temperatura ben determinata e lasciandoli poi raffreddare lentamente in forno o in aria libera.
Possono essere sottoposti a ricottura i tubi in rame e i tubi in acciaio a parete sottile.

I tubi "ricotti" sono meno resistenti dei tubi "crudi", ma sono più malleabili, e quindi più facilmente lavorabili.

Brasatura

E' un processo fisico che permette il collegamento continuo di due materiali metallici mediante l'infiltrazione tra essi di una lega di apporto.

La brasatura si ottiene riscaldando la zona interessata al collegamento in modo da fondere la lega di apporto, ma non i materiali da congiungere.

In campo impiantistico la brasatura si utilizza principalmente per collegare fra loro i tubi in rame e in acciaio inox.

La brasatura può essere di tipo "dolce" o di tipo "forte".
La brasatura "dolce" viene eseguita con leghe a basso punto di fusione (150-200°C) costituite essenzialmente da stagno e piombo.
La brasatura "forte" si realizza invece con leghe che fondono al di sopra dei 600°C e che hanno come componenti principali l'argento, il nichel e il fosforo.

Tabelle allegate:

- Nella tabella 1 sono riportate le caratteristiche principali delle tubazioni conformi alla norma: UNI 6507 - Tubi di rame senza saldatura per la distribuzione dei fluidi.

- Dalla tabella 2 alla tabella 4 sono riportate le PERDITE DI CARICO CONTINUE (ved. relativa voce) dei tubi in rame, calcolate mediante le formule:
  (6.2) per il moto laminare;
  (9.2) per il moto turbolento.

  Nota: I valori delle portate segnati con asterisco si riferiscono a condizioni di moto laminare.

TAB. 1 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN RAME

diametro esterno mm	diametro interno mm	sezione interna mm^2	contenuto acqua l/m	peso tubo kg/m
10	8,0	50	0,05	0,25
12	10,0	79	0,08	0,31
14	12,0	113	0,11	0,37
16	14,0	154	0,15	0,42
18	16,0	201	0,20	0,48
22	20,0	314	0,31	0,59
28	25,0	491	0,49	1,12
35	32,0	804	0,80	1,41
42	39,0	1.194	1,19	1,70

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 2 -TUBI IN RAME
Temp. acqua = 10°C

De	10	12	14	16	18	22	28	35	42
Di	8	10	12	14	16	20	25	32	39
r	G v								
2	5* *0,03*	13* *0,05*	28* *0,07*	51* *0,09*	87* *0,12*	146 *0,13*	267 *0,15*	521 *0,18*	892 *0,21*
4	11* *0,06*	27* *0,09*	55* *0,14*	82 *0,15*	118 *0,17*	216 *0,19*	396 *0,22*	775 *0,27*	1.326 *0,31*
6	16* *0,09*	40* *0,14*	68 *0,17*	104 *0,19*	149 *0,21*	273 *0,24*	500 *0,28*	977 *0,34*	1.671 *0,39*
8	22* *0,12*	53* *0,19*	80 *0,20*	122 *0,22*	175 *0,24*	322 *0,28*	589 *0,33*	1.151 *0,40*	1.970 *0,46*
10	27* *0,15*	56 *0,20*	91 *0,22*	139 *0,25*	199 *0,28*	365 *0,32*	669 *0,38*	1.308 *0,45*	2.238 *0,52*
12	33* *0,18*	62 *0,22*	101 *0,25*	154 *0,28*	221 *0,31*	405 *0,36*	743 *0,42*	1.452 *0,50*	2.483 *0,58*
14	38* *0,21*	67 *0,24*	111 *0,27*	168 *0,30*	242 *0,33*	443 *0,39*	811 *0,46*	1.585 *0,55*	2.712 *0,63*
16	40* *0,22*	73 *0,26*	119 *0,29*	181 *0,33*	261 *0,36*	478 *0,42*	875 *0,50*	1.711 *0,59*	2.927 *0,68*
18	42 *0,23*	78 *0,28*	128 *0,31*	194 *0,35*	279 *0,39*	511 *0,45*	936 *0,53*	1.830 *0,63*	3.131 *0,73*
20	45 *0,25*	83 *0,29*	136 *0,33*	206 *0,37*	296 *0,41*	543 *0,48*	995 *0,56*	1.944 *0,67*	3.325 *0,77*
22	48 *0,26*	87 *0,31*	143 *0,35*	218 *0,39*	313 *0,43*	573 *0,51*	1.050 *0,59*	2.052 *0,71*	3.511 *0,82*
24	50 *0,28*	92 *0,32*	151 *0,37*	229 *0,41*	329 *0,45*	602 *0,53*	1.104 *0,62*	2.157 *0,75*	3.690 *0,86*
26	52 *0,29*	96 *0,34*	158 *0,39*	239 *0,43*	344 *0,48*	631 *0,56*	1.155 *0,65*	2.258 *0,78*	3.863 *0,90*
28	55 *0,30*	100 *0,35*	164 *0,40*	250 *0,45*	359 *0,50*	658 *0,58*	1.205 *0,68*	2.356 *0,81*	4.030 *0,94*
30	57 *0,31*	104 *0,37*	171 *0,42*	260 *0,47*	373 *0,52*	384 *0,60*	1.254 *0,71*	2.450 *0,85*	4.192 *0,97*
35	62 *0,34*	114 *0,40*	187 *0,46*	284 *0,51*	408 *0,56*	747 *0,66*	1.369 *0,77*	2.676 *0,92*	4.578 *1,06*
40	67 *0,37*	123 *0,43*	202 *0,50*	306 *0,55*	440 *0,61*	806 *0,71*	1.478 *0,84*	2.888 *1,00*	4.941 *1,15*
45	72 *0,40*	131 *0,46*	216 *0,53*	328 *0,59*	471 *0,65*	863 *0,76*	1.581 *0,89*	3.089 *1,07*	5.285 *1,23*
50	76 *0,42*	140 *0,49*	229 *0,56*	348 *0,63*	500 *0,69*	916 *0,81*	1.679 *0,95*	3.281 *1,13*	5.613 *1,31*
60	85 *0,47*	155 *0,55*	254 *0,62*	386 *0,70*	555 *0,77*	1.017 *0,90*	1.863 *1,05*	3.641 *1,26*	6.230 *1,45*
70	92 *0,51*	169 *0,60*	278 *0,68*	422 *0,76*	606 *0,84*	1.110 *0,98*	2.035 *1,15*	3.977 *1,37*	6.803 *1,58*
80	100 *0,55*	183 *0,65*	300 *0,74*	455 *0,82*	654 *0,90*	1.198 *1,06*	2.196 *1,24*	4.292 *1,48*	7.343 *1,71*
90	107 *0,59*	195 *0,69*	320 *0,79*	487 *0,88*	700 *0,97*	1.282 *1,13*	2.349 *1,33*	4.591 *1,59*	7.854 *1,83*
100	113 *0,63*	207 *0,73*	340 *0,84*	517 *0,93*	743 *1,03*	1.361 *1,20*	2.495 *1,41*	4.876 *1,68*	8.341 *1,94*
150	143 *0,79*	262 *0,92*	429 *1,05*	652 *1,18*	937 *1,29*	1.716 *1,52*	3.145 *1,78*	6.147 *2,12*	10.516 *2,45*
200	168 *0,93*	308 *1,09*	506 *1,24*	768 *1,39*	1.104 *1,53*	2.023 *1,79*	3.707 *2,10*	7.245 *2,50*	12.395 *2,88*

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

TAB. 3 -TUBI IN RAME
Temp. acqua = 50°C

PERDITE DI CARICO CONTINUE

De	10	12	14	16	18	22	28	35	42
Di	8	10	12	14	16	20	25	32	39
r	G v								
2	13* *0,07*	25 *0,09*	42 *0,10*	63 *0,11*	91 *0,13*	166 *0,15*	304 *0,17*	595 *1,21*	1.018 *0,24*
4	21 *0,11*	38 *0,13*	62 *0,15*	94 *0,17*	135 *0,19*	247 *0,22*	452 *0,26*	884 *0,31*	1.512 *0,35*
6	26 *0,14*	47 *0,17*	78 *0,19*	118 *0,21*	170 *0,23*	311 *0,28*	570 *0,32*	1.114 *0,38*	1.907 *0,44*
8	30 *0,17*	56 *0,20*	92 *0,23*	139 *0,25*	200 *0,28*	367 *0,32*	672 *0,38*	1.314 *0,45*	2.247 *0,52*
10	35 *0,19*	63 *0,22*	104 *0,26*	158 *0,29*	227 *0,31*	417 *0,37*	764 *0,43*	1.492 *0,52*	2.553 *0,59*
12	38 *0,21*	70 *0,25*	116 *0,28*	176 *0,32*	252 *0,35*	462 *0,41*	847 *0,48*	1.656 *0,57*	2.833 *0,66*
14	42 *0,23*	77 *0,27*	126 *0,31*	192 *0,35*	276 *0,38*	505 *0,45*	925 *0,52*	1.809 *0,62*	3.094 *0,72*
16	45 *0,25*	83 *0,29*	136 *0,33*	207 *0,37*	297 *0,41*	545 *0,48*	999 *0,57*	1.952 *0,67*	3.339 *0,78*
18	48 *0,27*	89 *0,31*	146 *0,36*	221 *0,40*	318 *0,44*	583 *0,52*	1.068 *0,60*	2.088 *0,72*	3.572 *0,83*
20	51 *0,28*	94 *0,33*	155 *0,38*	235 *0,42*	338 *0,47*	619 *0,55*	1.135 *0,64*	2.217 *0,77*	3.794 *0,88*
22	54 *0,30*	100 *0,35*	163 *0,40*	248 *0,45*	357 *0,49*	654 *0,58*	1.198 *0,68*	2.342 *0,81*	4.006 *0,93*
24	57 *0,32*	105 *0,37*	172 *0,42*	261 *0,47*	375 *0,52*	687 *0,61*	1.259 *0,71*	2.461 *0,85*	4.210 *0,98*
26	60 *0,33*	110 *0,39*	180 *0,44*	273 *0,49*	393 *0,54*	719 *0,64*	1.318 *0,75*	2.576 *0,89*	4.407 *1,02*
28	62 *0,34*	114 *0,40*	188 *0,46*	285 *0,51*	410 *0,57*	750 *0,66*	1.375 *0,78*	2.688 *0,93*	4.598 *1,07*
30	65 *0,36*	119 *0,42*	195 *0,48*	296 *0,53*	426 *0,59*	781 *0,69*	1.430 *0,81*	2.796 *0,97*	4.783 *1,11*
35	71 *0,39*	130 *0,46*	213 *0,52*	324 *0,58*	465 *0,64*	853 *0,75*	1.562 *0,88*	3.053 *1,05*	5.223 *1,21*
40	77 *0,42*	140 *0,50*	230 *0,56*	349 *0,63*	502 *0,69*	920 *0,81*	1.686 *0,95*	3.295 *1,14*	5.637 *1,31*
45	82 *0,45*	150 *0,53*	246 *0,60*	374 *0,67*	537 *0,74*	984 *0,87*	1.803 *1,02*	3.525 *1,22*	6.030 *1,40*
50	87 *0,48*	159 *0,56*	261 *0,64*	397 *0,72*	570 *0,79*	1.045 *0,92*	1.915 *1,08*	3.743 *1,29*	6.404 *1,49*
60	96 *0,53*	177 *0,63*	290 *0,71*	441 *0,79*	633 *0,87*	1.160 *1,03*	2.126 *1,20*	4.154 *1,43*	7.107 *1,65*
70	105 *0,58*	193 *0,68*	317 *0,78*	481 *0,87*	691 *0,96*	1.267 *1,12*	2.321 *1,31*	4.537 *1,57*	7.762 *1,80*
80	114 *0,63*	208 *0,74*	342 *0,84*	519 *0,94*	764 *1,03*	1.367 *1,21*	2.505 *1,42*	4.897 *1,69*	8.377 *1,95*
90	122 *0,67*	223 *0,79*	366 *0,90*	555 *1,00*	798 *1,10*	1.462 *1,29*	2.680 *1,52*	5.237 *1,81*	8.960 *2,08*
100	129 *0,71*	237 *0,84*	388 *0,95*	590 *1,06*	848 *1,17*	1.553 *1,37*	2.846 *1,61*	5.562 *1,92*	9.516 *2,21*
150	163 *0,90*	298 *1,06*	489 *1,20*	744 *1,34*	1.069 *1,48*	1.958 *1,73*	3.588 *2,03*	7.013 *2,42*	11.997 *2,79*
200	192 *1,06*	352 *1,24*	577 *1,42*	877 *1,58*	1.260 *1,74*	2.308 *2,04*	4.229 *2,39*	8.266 *2,85*	14.141 *3,29*

r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

TAB. 4 -TUBI IN RAME
Temp. acqua = 80°C

De	10	12	14	16	18	22	28	35	42
Di	8	10	12	14	16	20	25	32	39
r	G v								
2	19* *0,10*	27 *0,09*	44 *0,11*	67 *0,12*	96 *0,13*	176 *0,16*	322 *0,18*	629 *0,22*	1.077 *0,25*
4	22 *0,12*	40 *0,14*	65 *0,16*	99 *0,18*	143 *0,20*	261 *0,23*	479 *0,27*	935 *0,32*	1.600 *0,37*
6	27 *0,15*	50 *0,18*	82 *0,20*	125 *0,23*	180 *0,25*	329 *0,29*	603 *0,34*	1.179 *0,41*	2.017 *0,47*
8	32 *0,18*	59 *0,21*	97 *0,24*	147 *0,27*	212 *0,29*	388 *0,34*	711 *0,40*	1.390 *0,48*	2.378 *0,55*
10	37 *0,20*	67 *0,24*	110 *0,27*	167 *0,30*	241 *0,33*	441 *0,39*	808 *0,46*	1.579 *0,55*	2.701 *0,63*
12	41 *0,22*	75 *0,26*	122 *0,30*	186 *0,34*	267 *0,37*	489 *0,43*	897 *0,51*	1.752 *0,61*	2.998 *0,70*
14	44 *0,25*	81 *0,29*	134 *0,33*	203 *0,37*	292 *0,40*	534 *0,47*	979 *0,55*	1.914 *0,66*	3.274 *0,76*
16	48 *0,27*	88 *0,31*	144 *0,35*	219 *0,40*	315 *0,43*	577 *0,51*	1.057 *0,60*	2.065 *0,71*	3.533 *0,82*
18	51 *0,28*	94 *0,33*	154 *0,38*	234 *0,42*	337 *0,47*	617 *0,55*	1.130 *0,64*	2.209 *0,76*	3.779 *0,88*
20	54 *0,30*	100 *0,35*	164 *0,40*	249 *0,45*	358 *0,49*	655 *0,58*	1.201 *0,68*	2.346 *0,81*	4.014 *0,93*
22	58 *0,32*	105 *0,37*	173 *0,42*	263 *0,47*	378 *0,52*	692 *0,61*	1.268 *0,72*	2.478 *0,86*	4.239 *0,99*
24	60 *0,33*	111 *0,39*	182 *0,45*	276 *0,50*	397 *0,55*	727 *0,64*	1.332 *0,75*	2.604 *0,90*	4.455 *1,04*
26	63 *0,35*	116 *0,41*	190 *0,47*	289 *0,52*	415 *0,57*	761 *0,67*	1.395 *0,79*	2.726 *0,94*	4.663 *1,08*
28	66 *0,36*	121 *0,43*	198 *0,49*	302 *0,54*	433 *0,60*	794 *0,70*	1.455 *0,82*	2.844 *0,98*	4.865 *1,13*
30	69 *0,38*	126 *0,45*	206 *0,51*	314 *0,57*	451 *0,62*	826 *0,73*	1.514 *0,86*	2.958 *1,02*	5.060 *1,18*
35	75 *0,41*	137 *0,49*	225 *0,55*	343 *0,62*	492 *0,68*	902 *0,80*	1.653 *0,94*	3.230 *1,12*	5.526 *1,29*
40	81 *0,45*	148 *0,52*	243 *0,60*	370 *0,67*	531 *0,73*	974 *0,86*	1.784 *1,01*	3.486 *1,20*	5.965 *1,39*
45	87 *0,48*	159 *0,56*	260 *0,64*	395 *0,71*	568 *0,79*	1.041 *0,92*	1.908 *1,08*	3.729 *1,29*	6.380 *1,48*
50	92 *0,51*	169 *0,60*	276 *0,68*	420 *0,76*	604 *0,83*	1.106 *0,98*	2.027 *1,15*	3.961 *1,37*	6.776 *1,58*
60	102 *0,56*	187 *0,66*	307 *0,75*	466 *0,84*	670 *0,93*	1.227 *1,09*	2.249 *1,27*	4.396 *1,52*	7.520 *1,75*
70	111 *0,62*	204 *0,72*	335 *0,82*	509 *0,92*	731 *1,01*	1.340 *1,19*	2.456 *1,39*	4.800 *1,66*	8.212 *1,91*
80	120 *0,66*	220 *0,78*	362 *0,89*	549 *0,99*	789 *1,09*	1.447 *1,28*	2.651 *1,50*	5.181 *1,79*	8.863 *2,06*
90	129 *0,71*	236 *0,83*	387 *0,95*	588 *1,06*	844 *1,17*	1.547 *1,37*	2.836 *1,60*	5.542 *1,91*	9.480 *2,20*
100	137 *0,76*	250 *0,89*	411 *1,01*	624 *1,13*	897 *1,24*	1.643 *1,45*	3.011 *1,70*	5.885 *2,03*	10.069 *2,34*
150	172 *0,95*	316 *1,12*	518 *1,27*	787 *1,42*	1.131 *1,56*	2.072 *1,83*	3.797 *2,15*	7.420 *2,56*	12.694 *2,95*
200	203 *1,12*	372 *1,32*	610 *1,50*	927 *1,67*	1.333 *1,84*	2.442 *2,16*	4.475 *2,53*	8.746 *3,02*	14.962 *3,48*

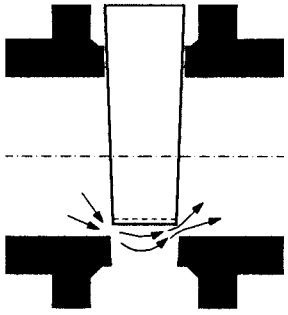
r = resistenza, mm c.a./m G = portata, l/h v = velocità, m/s

VALVOLE DI INTERCETTAZIONE

Sono organi atti ad interrompere, oppure ad acconsentire, il flusso di un fluido all'interno di un condotto. Secondo il tipo di intercettazione, si distinguono in: valvole a saracinesca, a disco e a tappo, a maschio, a sfera e a farfalla.

VALVOLE A SARACINESCA

Queste valvole intercettano i fluidi mediante un otturatore a forma di cuneo che scorre in apposite guide come una saracinesca. L'azione di chiusura è garantita dalla pressione dell'otturatore sui seggi anulari del corpo valvola.



Valvole a saracinesca: schema tipo di intercettazione

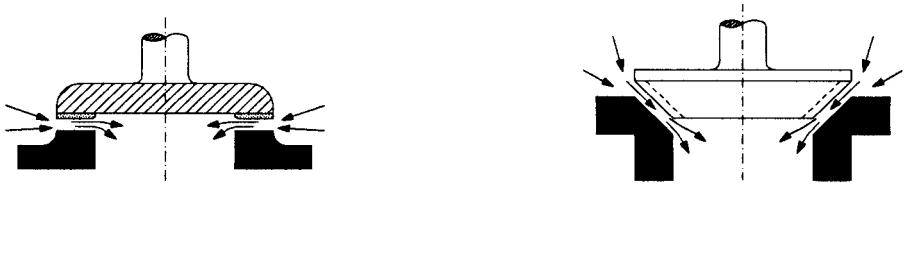
Caratteristiche costruttive

- Materiali: bronzo, ghisa, acciaio fuso, acciaio fucinato.
- Forma: a corpo piatto, a corpo ovale, a corpo cilindrico.
- Attacchi: filettati, flangiati, a saldare.

VANTAGGI	SVANTAGGI
• basse perdite di carico; • manovra lenta di chiusura, che evita possibili colpi d'ariete; • peso e ingombro limitati.	• difficile regolazione della portata; • chiusura non sempre affidabile, per depositi di materiale o incrostazioni sulle sedi anulari e nell'incavo di fondo.

VALVOLE A DISCO E A TAPPO

Queste valvole intercettano i fluidi mediante un otturatore (a disco o a tappo) che, mosso da uno stelo, apre o chiude una sezione circolare di passaggio ricavata nel corpo della valvola stessa.



Valvole a disco e a tappo: schemi tipo di intercettazione

Caratteristiche costruttive

- Materiali: bronzo, ghisa, acciaio fuso, acciaio fucinato.
- Forma: a flusso libero, a squadra, a flusso avviato.
- Attacchi: filettati, flangiati, a saldare.

VANTAGGI	SVANTAGGI
• buona chiusura, in genere è possibile ripristinare le sedi di tenuta;	• elevate perdite di carico dovute alla conformazione del corpo valvola;
• possibilità di regolare la portata del fluido;	• peso ed ingombro elevati;
• manovra lenta di chiusura, che evita possibili colpi d'ariete.	• la loro forma può impedire lo svuotamento completo del circuito su cui sono installate.

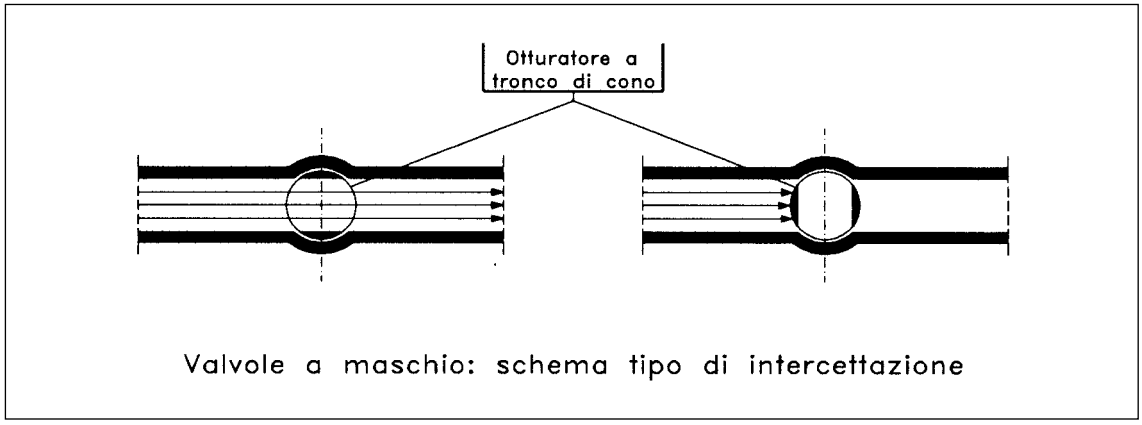
Per limitare le perdite di carico di queste valvole si possono utilizzare valvole a flusso avviato oppure ad Y.

Nelle valvole a flusso avviato, la limitazione delle perdite di carico è ottenuta realizzando passaggi interni "dolci" e ben raccordati, in grado di evitare elevate irregolarità di flusso e turbolenze.

Nelle valvole ad Y (o a flusso libero), valori ridotti delle perdite di carico sono, invece, ottenuti sfruttando la possibilità, offerta dall'inclinazione dell'otturatore, di realizzare percorsi rettilinei e ampie sezioni di passaggio del fluido.

VALVOLE A MASCHIO

Queste valvole intercettano i fluidi mediante un otturatore tronco-conico a foro passante.
L'azione di apertura e di chiusura si ottiene ruotando l'otturatore di un quarto di giro. La tenuta è data dal contatto diretto fra l'otturatore e le superfici del corpo valvola.



Valvole a maschio: schema tipo di intercettazione

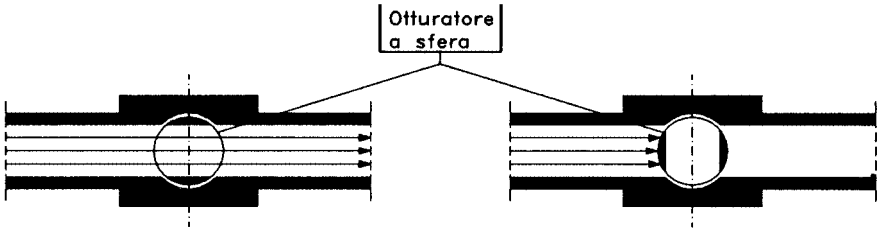
Caratteristiche costruttive

- Materiali: bronzo, ghisa, acciaio fuso.
- Forma: a due o a più vie.
- Attacchi: a manicotto o flangiati.

VANTAGGI	SVANTAGGI
• basse perdite di carico;	• difficile regolazione della portata;
• buona tenuta;	• chiusura rapida (possibili colpi d'ariete);
• peso e ingombro limitati.	• limitata resistenza alla pressione.

VALVOLE A SFERA

Queste valvole intercettano i fluidi mediante un otturatore sferico a foro passante.
L'azione di apertura e di chiusura si ottiene, come nel caso delle valvole a maschio, ruotando l'otturatore di un quarto di giro. La tenuta - tra sfera e superficie interna del corpo valvola - è assicurata da guarnizioni in materiale plastico (PTFE e etilene-propilene).



Valvole a sfera: schema tipo di intercettazione

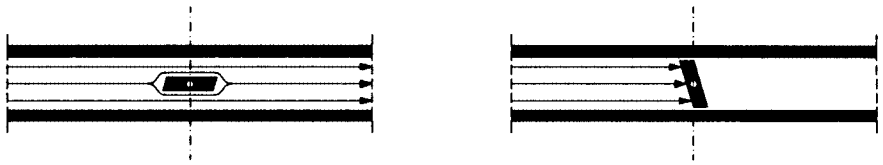
Caratteristiche costruttive

- Materiali: corpo valvola, in ottone o in acciaio al carbonio;
  sfera, in ottone stampato e cromato, oppure in acciaio inox.
- Forma: a passaggio ridotto, a passaggio totale, a più vie.
- Attacchi: filettati, flangiati, a wafer.

VANTAGGI	SVANTAGGI
• basse perdite di carico; • buona tenuta con i fluidi degli impianti idro-termosanitari; • peso e ingombro limitati.	• difficile regolazione della portata; • chiusura rapida (possibili colpi d'ariete); • problemi di tenuta nei circuiti di raffreddamento (alle basse temperature le guarnizioni di tenuta tendono ad indurire); • costi elevati nei diametri superiori a 2".

VALVOLE A FARFALLA

Sono valvole che intercettano i fluidi mediante un otturatore a disco di forma lenticolare.
L'azione di apertura e di chiusura si ottiene ruotando l'otturatore di un quarto di giro. La tenuta tra il disco e il corpo valvola è assicurata da guarnizioni in gomma vulcanizzata.



Valvole a farfalla: schema tipo di intercettazione

Caratteristiche costruttive

- Materiali: ghisa, acciaio fuso, acciaio fucinato o bronzo.
- Forma: con o senza dispositivo di bloccaggio.
- Attacchi: a manicotto, con flange, a wafer.

VANTAGGI	SVANTAGGI
• basse perdite di carico; • facile accoppiamento con i servocomandi; • peso e ingombro limitati; • basso costo nei diametri elevati (maggiori di 100 mm).	• regolazione della portata alquanto imprecisa; • chiusura rapida (possibili colpi d'ariete); • tenuta non sempre affidabile.

VALVOLE DI RITEGNO

Consentono il passaggio del fluido in un solo senso, opponendosi automaticamente a qualsiasi ritorno in contro-flusso. Possono essere classificate secondo i tipi di seguito riportati:

VALVOLE A BATTENTE O A CLAPET

Sono caratterizzate dall'avere un otturatore a battente (o a clapet) incernierato al corpo valvola.
Il flusso normale mantiene aperto il battente, mentre il suo peso e il contro-flusso lo mandano in chiusura.

- Applicazioni: sono utilizzate dove si richiedono basse perdite di carico.
- Limiti d'uso: le normali valvole a battente provocano vibrazioni e sfarfallamenti nei regimi idraulici variabili. In tali regimi è bene installare valvole speciali con battente equilibrato a contrappeso.

Nota:
La messa in opera di queste valvole deve essere fatta in modo che l'otturatore resti chiuso in assenza di flusso.

VALVOLE A TAPPO O A DISCO

Aprono e chiudono mediante un otturatore (a tappo o a disco) che scorre come un pistone in una apposita guida.
Il flusso normale solleva il pistone, mentre il suo peso, il contro-flusso e l'eventuale azione di molle lo mandano in chiusura.

- Applicazioni: possono essere utilizzate anche in regimi idraulici pulsanti.
- Limiti d'uso: depositi e incrostazioni possono compromettere la tenuta della chiusura.

VALVOLE A SFERA

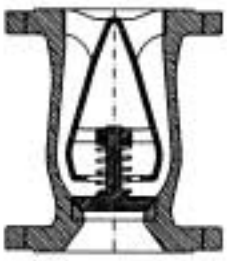
La loro azione di apertura-chiusura è affidata ad un otturatore a sfera.
Il flusso normale solleva la sfera, mentre il suo peso e il contro-flusso la mandano in chiusura.

- Applicazioni: sono utilizzate con fluidi viscosi e con liquidi sporchi.
- Limiti d'uso: è sconsigliabile il loro uso in regimi idraulici pulsanti.

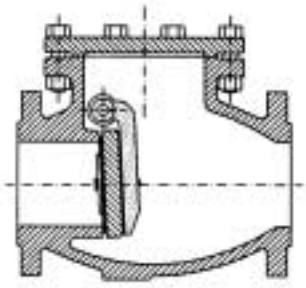
VALVOLE A FUSO

Aprono e chiudono mediante un otturatore a forma di fuso e con richiamo a molla.
Il flusso normale solleva il fuso, mentre il peso del fuso stesso, l'azione di una o più molle e il contro-flusso lo mandano in chiusura.

- Applicazioni: sono utilizzate per limitare gli effetti dei colpi d'ariete.
- Limiti d'uso: depositi e incrostazioni possono compromettere la tenuta della chiusura.



Valvola di ritegno a fuso



Valvola di ritegno a battente

V E L O C I T À

Misura la distanza percorsa da un corpo nell'unità di tempo.
Per il dimensionamento delle reti di distribuzione, interessa soprattutto conoscere la velocità con cui un fluido si muove all'interno di un condotto; tale velocità si può esprimere con la formula:

$$v = \frac{G}{A} \qquad (1)$$

dove: v = velocità, m/s
G = portata volumetrica, m^3/s
A = sezione netta del condotto, m^2.

In un condotto circolare, la formula (1) può assumere le seguenti forme:

$$v = 10^6 \cdot \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D^2} \qquad (1.1)$$

dove: v = velocità (m/s); D = diametro interno (mm) G = portata (m^3/s)

$$v = 277{,}8 \cdot \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D^2} \qquad (1.2)$$

dove: v = velocità (m/s); D = diametro interno (mm) G = portata (m^3/h)

$$v = 10^3 \cdot \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D^2} \qquad (1.3)$$

dove: v = velocità (m/s); D = diametro interno (mm) G = portata (l/s)

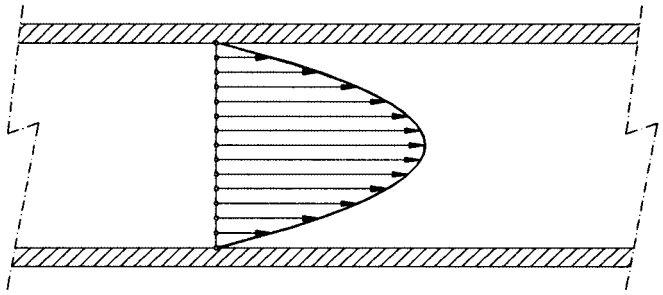
$$v = 0{,}28 \cdot \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D^2} \qquad (1.4)$$

dove: v = velocità (m/s); D = diametro interno (mm) G = portata (l/h)

Quella che normalmente si considera come velocità di un fluido all'interno di un condotto è, in vero, la sua velocità media. La velocità effettiva del fluido è, invece, una grandezza variabile in relazione al tipo di moto e alla distanza dalle pareti del condotto.

Nel moto laminare, vale a dire quando il fluido si muove per strati paralleli, la sua velocità effettiva varia secondo un profilo parabolico e assume valore massimo nella sezione assiale del condotto, dove risulta:

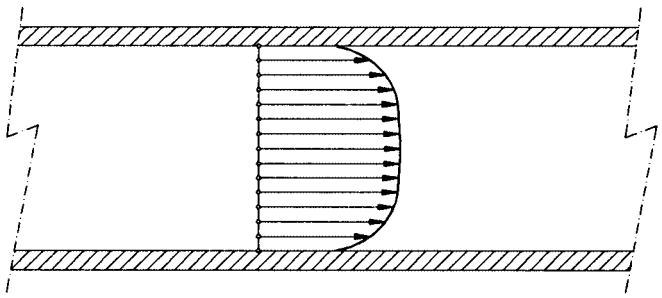
$$v_{max} = 2 \cdot v$$



Moto laminare: profilo delle velocita' interne

Nel moto turbolento, quando cioè il fluido si muove in modo discontinuo e irregolare, la sua velocità effettiva varia secondo un profilo più schiacciato di quello relativo al moto laminare e assume valore massimo ancora in corrispondenza della sezione assiale, dove risulta:

$$v_{max} \approx (1{,}16 \div 1{,}24) \cdot v$$



Moto turbolento: profilo delle velocita' interne

VELOCITA' CONSIGLIATE

Nei tubi che convogliano acqua per il riscaldamento o per il condizionamento, il valore ottimale della velocità dipende essenzialmente da quattro fattori: l'entità delle perdite di carico, la rumorosità, la corrosione-erosione e il trascinamento dell'aria.

TAB. 1 - Velocità (m/s) consigliate per reti ad acqua calda e refrigerata

	tubazioni principali	tubazioni secondarie	derivazioni ai corpi scaldanti
tubi in acciaio	1,5 ÷ 2,5	0,5 ÷ 1,5	0,2 ÷ 0,7
tubi in rame	0,9 ÷ 1,2	0,5 ÷ 0,9	0,2 ÷ 0,5
tubi in mat. plastico	1,5 ÷ 2,5	0,5 ÷ 1,5	0,2 ÷ 0,7

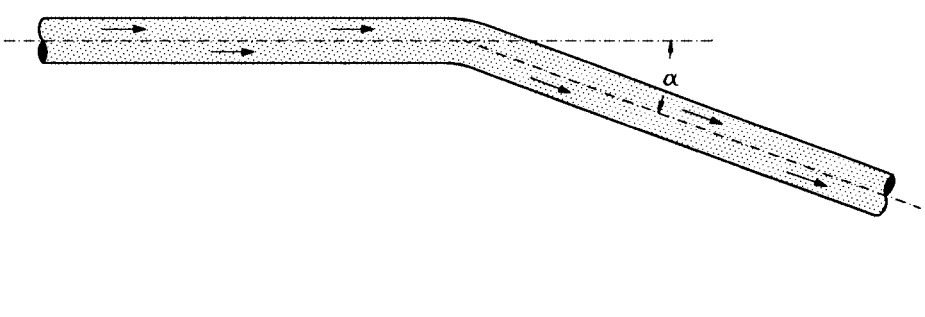
Nei canali che convogliano aria per impianti di climatizzazione la velocità ottimale dipende, invece, soprattutto dal valore delle perdite di carico e dalla rumorosità.

TAB. 2 - Velocità (m/s) consigliate per canali d'aria in impianti a bassa velocità

	tubazioni principali	tubazioni secondarie
edifici residenziali	3,0 ÷ 4,0	2,0 ÷ 3,0
alberghi, ospedali	5,0 ÷ 6,5	3,5 ÷ 5,0
uffici	6,0 ÷ 7,5	4,0 ÷ 6,0
teatri, auditorium	4,0 ÷ 5,5	3,0 ÷ 4,0
ristoranti	7,5 ÷ 9,0	4,0 ÷ 6,0
grandi magazzini	8,0 ÷ 9,0	4,0 ÷ 6,0
industrie	10,0 ÷ 12,5	5,0 ÷ 7,5

VELOCITA' MINIMA DI TRASCINAMENTO DELL'ARIA

E' la velocità minima che consente di evitare la formazione di bolle o sacche d'aria quando un liquido scorre in tubazioni poste in contropendenza. Essa dipende dal tipo di liquido, dalla sua temperatura, dal diametro dei tubi e dall'angolo di contropendenza.



Esempio di flusso in contropendenza

Nel caso dell'acqua, la velocità minima di trascinameto può essere determinata mediante la TAB.3 e la TAB.4.
La TAB.3 indica i valori della velocità minima di trascinamento acqua-aria alla temperatura di 80°C; la TAB.4 consente di determinare i fattori di correzione al variare di tale temperatura.

TAB. 3 - Velocità minima (m/s) di trascinamento dell'aria per acqua a 80°C

diametro tubi, mm	valori dell'angolo di contropendenza α in gradi sessagesimali								
	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
6 < d < 10	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,25	0,20	0,15
10 < d < 15	0,50	0,50	0,50	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
15 < d < 20	0,80	0,80	0,70	0,70	0,65	0,60	0,50	0,40	0,30
20 < d < 25	0,95	0,90	0,90	0,80	0,80	0,70	0,60	0,45	0,35
25 < d < 40	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,80	0,70	0,55	0,40
40 < d	1,10	1,10	1,05	1,00	0,95	0,85	0,75	0,60	0,45

TAB. 4 - Fattori di correzione delle velocità di trascinamento acqua-aria per temperature diverse da 80°C

temperature	100°	90°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
fatt. correzione	1,10	1,05	0,93	0,86	0,80	0,74	0,68	0,62	0,56

Esempio:

Determinare la velocità minima di trascinamento acqua-aria in un tubo posto in contropendenza, nel caso in cui si abbia:

d = 27,4 mm (diametro interno tubo);

α = 30° (angolo di contropendenza);

t = 50°C (temperatura acqua).

Soluzione:

Dalla TAB. 3 per d = 27,4 mm e α = 30° si ricava la velocità minima di trascinamento acqua-aria per t= 80°C. Velocità che risulta:

v_{tr} = 0,70 m/s

Dalla TAB. 4 per t = 50°C, si ottiene: f = 0,80 (fattore di correzione).

La velocità minima di trascinamento richiesta risulta pertanto: $v_{tr} = 0,70 \cdot 0,80 = 0,56$ m/s.

VINCOLI DELLE TUBAZIONI

Sono dispositivi meccanici che servono ad equilibrare le forze, statiche e dinamiche, che normalmente agiscono sulle reti di distribuzione.

Forze di natura statica sono il peso proprio dei tubi, il peso del fluido in essi contenuto e il peso di eventuali apparecchiature e accessori (raccordi, valvolame, pompe, rivestimenti, ecc...).
Forze di natura dinamica sono, invece, quelle che derivano dalle dilatazioni termiche dei tubi.

I vincoli delle tubazioni devono essere disposti in modo da evitare:

- sollecitazioni troppo elevate, specie in prossimità di attacchi flangiati e di saldature;
- percorsi a onda, che possono causare sacche d'aria (negli impianti di riscaldamento) e depositi di acqua condensata (negli impianti a vapore).

TAB. 1 - Distanze massime consigliate per i vincoli dei tubi metallici orizzontali

TUBI IN ACCIAIO		TUBI IN RAME	
diam. esterno pollici	distanza m	diam. esterno mm	distanza m
1/2”	2,0	18	2,0
3/4” ÷ 1 1/4”	2,5	20 ÷ 28	2,5
1 1/2” ÷ 2 1/2”	3,0	32 ÷ 40	3,0
3” ÷ 3 1/2”	3,5	42 ÷ 54	3,5
4” ÷ 6”	4,0	63 ÷ 100	4,0
6” ÷ 8”	5,0		

In base al tipo di azione esercitata, i vincoli si possono così classificare:

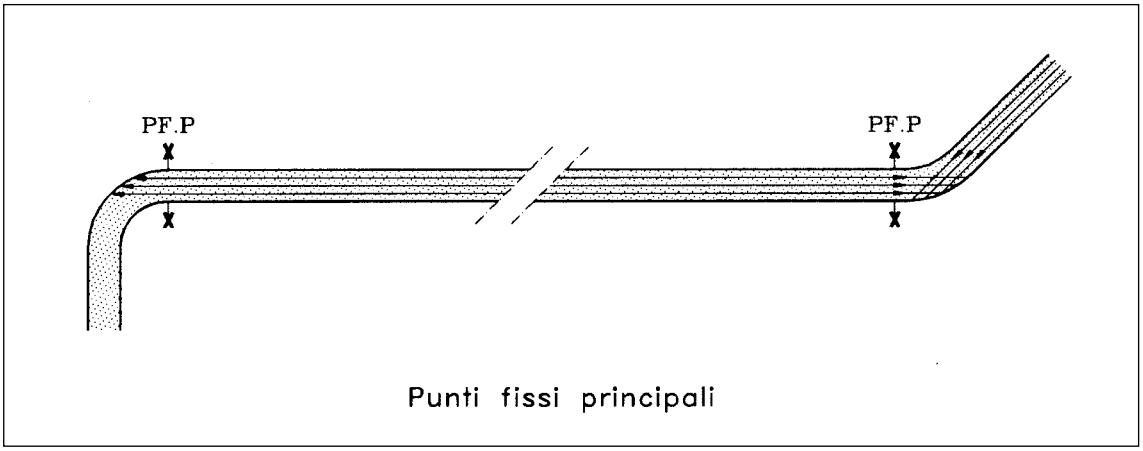
- punti fissi, servono a “bloccare” le tubazioni nei punti voluti;
- guide, permettono lo spostamento dei tubi in una sola direzione;
- appoggi o sostegni, hanno esclusivamente il compito di sostenere il peso delle tubazioni.

PUNTI FISSI

Sono vincoli che bloccano le tubazioni in modo da impedire qualsiasi movimento.
Si possono classificare in punti fissi principali e punti fissi secondari.

PUNTI FISSI PRINCIPALI

Si trovano all'inizio e alla fine dell'impianto, come pure nei tratti con curve.



Punti fissi principali

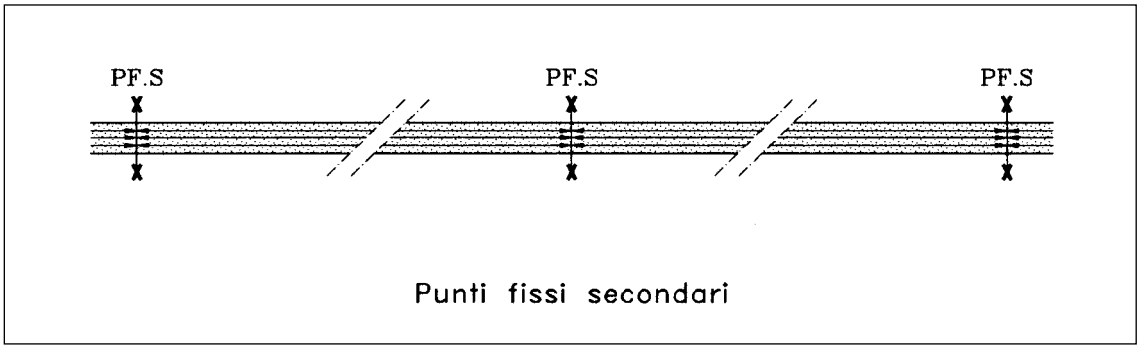
Devono essere dimensionati in modo da poter resistere all'azione delle seguenti forze:

- spinte conseguenti alla deformazione dei dilatatori (per i dilatatori artificiali, il valore di tale spinta è in genere fornito dal costruttore);
- resistenza dovuta agli di attriti delle guide che sono comprese fra il compensatore e il punto fisso;
- spinta dovuta alla pressione del fluido (praticamente da considerarsi solo in impianti a vapore o ad acqua surriscaldata);
- forza centrifuga indotta dalla velocità del fluido (generalmente questa spinta si considera solo per tubazioni che hanno diametro superiore a 300 mm).

PUNTI FISSI SECONDARI O INTERMEDI

Sono posti su tubazioni rettilinee con lo scopo di suddividere queste in tratti di minor lunghezza, aventi ciascuno una dilatazione propria.

Se si utilizzano compensatori artificiali, la lunghezza dei tratti compresi fra due punti fissi è generalmente scelta in base alla corsa massima dei compensatori stessi.



Punti fissi secondari

I punti fissi secondari devono resistere alle spinte conseguenti alla deformazione dei dilatatori e alla resistenza dovuta agli attriti delle guide.

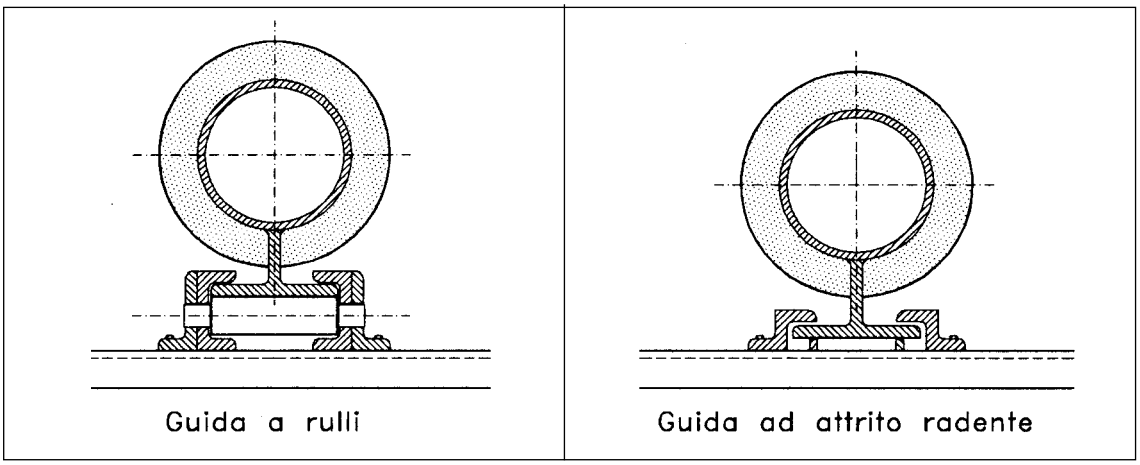
GUIDE

Sono vincoli che consentono alle tubazioni di muoversi solamente lungo una direzione prefissata.

In base al tipo di scorrimento, si possono classificare in guide ad attrito radente e in guide ad attrito volvente.

Le guide ad attrito radente scorrono per strisciamento sulle superfici di appoggio.

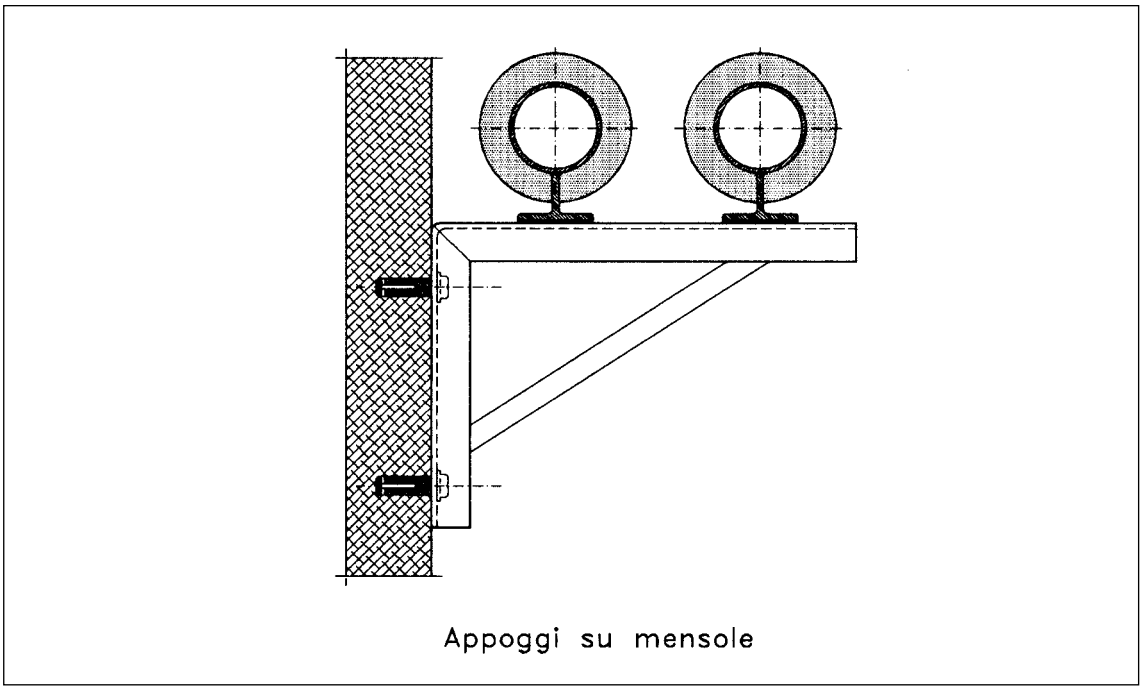
Le guide ad attrito volvente si muovono, invece, su appositi rulli e consentono spostamenti più uniformi. Sono da preferirsi per i tubi di grande diametro.



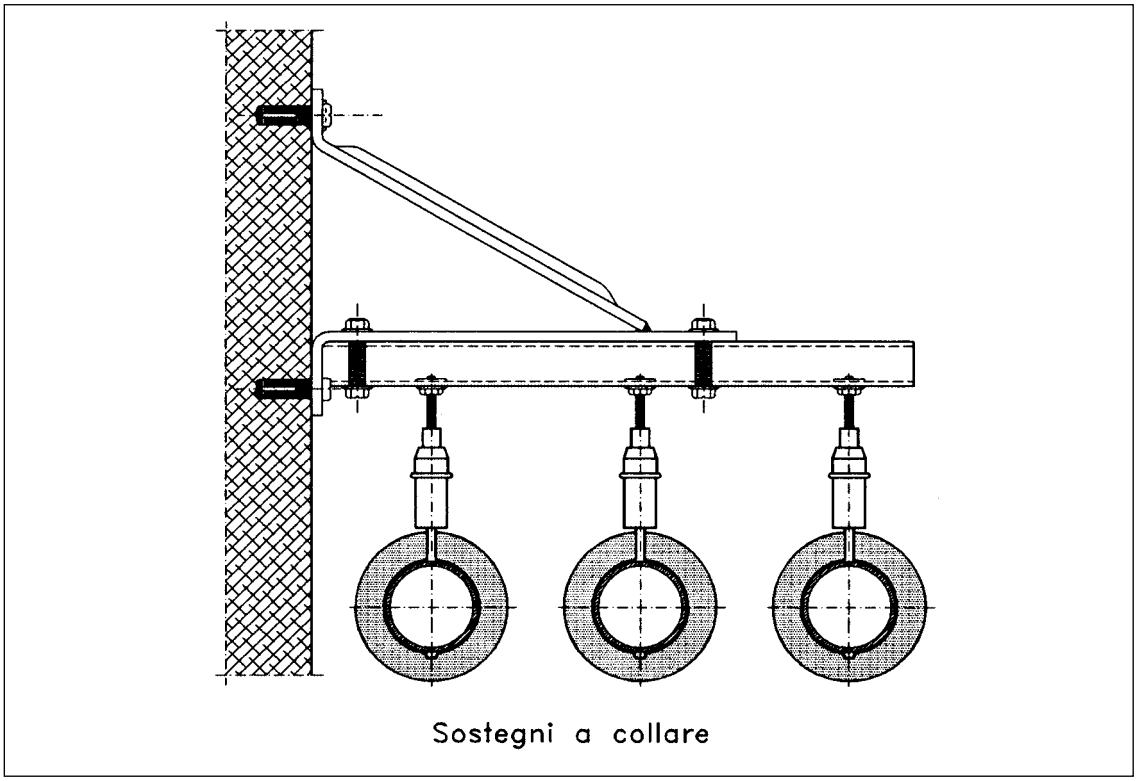
APPOGGI E SOSTEGNI

Sono vincoli che lasciano alle tubazioni la possibilità di muoversi assialmente e lateralmente.

Gli appoggi lavorano in compressione e scaricano il peso dei tubi su travi o mensole di supporto.



I sostegni sono vincoli che lavorano in trazione e tengono sospesi i tubi mediante collari pensili.



Sostegni a collare

V I S C O S I T À

E' una grandezza che esprime l'attrito interno di un fluido. Il suo contrario è la fluidità.

La viscosità assoluta è data dalla forza di trascinamento esercitata da uno strato di fluido di area unitaria su uno strato adiacente che si muove, relativamente ad esso, con una differenza di velocità unitaria.

Nello studio del moto dei fluidi, interessa soprattutto conoscere la viscosità cinematica, definita come rapporto tra la viscosità assoluta del fluido e la sua densità.

Nel Sistema Internazionale, la viscosità cinematica si misura in m^2/s, mentre nel sistema tecnico si esprime in stokes (St) o in centistokes (cSt). Tali unità di misura risultano così correlate fra loro:

$$1\ m^2/s = 10^4\ St = 10^6\ cSt$$

In termotecnica è ancora in uso il grado Engler (°E).

La corrispondenza fra centistokes e gradi Engler è data, con buona approssimazione, dall'uguaglianza:

$$1\ cSt = 7{,}32 \cdot °E - \frac{6{,}31}{°E}$$

Al variare della temperatura, il valore della viscosità cinematica dell'acqua può essere calcolato mediante la formula sotto riportata, oppure può essere derivato dalla (TAB. 1).

$$\nu = 10^{-6} \cdot (1{,}67952 - 0{,}042328 \cdot t + 0{,}000499 \cdot t^2 - 0{,}00000214 \cdot t^3)$$

dove: ν = viscosità cinematica, m^2/s
t = temperatura dell'acqua, °C

TAB. 1 - Viscosità dell'acqua in relazione alla temperatura (°C)

temperatura	m^2/s	cSt	°E
10°	$0{,}00000130 = 1{,}30 \cdot 10^{-6}$	1,30	1,022
20°	$0{,}00000102 = 1{,}02 \cdot 10^{-6}$	1,03	1,000
30°	$0{,}00000080 = 0{,}80 \cdot 10^{-6}$	0,80	0,985
40°	$0{,}00000065 = 0{,}65 \cdot 10^{-6}$	0,65	0,974
50°	$0{,}00000054 = 0{,}54 \cdot 10^{-6}$	0,54	0,966
60°	$0{,}00000047 = 0{,}47 \cdot 10^{-6}$	0,47	0,961
70°	$0{,}00000043 = 0{,}43 \cdot 10^{-6}$	0,43	0,958
80°	$0{,}00000039 = 0{,}39 \cdot 10^{-6}$	0,39	0,956
90°	$0{,}00000035 = 0{,}35 \cdot 10^{-6}$	0,35	0,953

B I B L I O G R A F I A

1 J. RIETSCHEL - W. RAISS
Traité de chauffage et de ventilation
Librairie Polytechnique Ch. Béranger - Paris et Liège

2 GEORGES RIGOT
La trasmission de la chaleur
Les Editionnes Parisiennes

3 PIERRE FRIDMANN
L'équilibrage des installations de chauffage
Numero special de CFP - CHAUD FROID PLOMBERIE

4 FRANK KREITH
Principi di trasmissione del calore
Liguori Editore

5 W. F. HUGHES - J. A. BRIGHTON
Teoria e problemi di fluidodinamica
Collana SCHAUM - ETAS LIBRI

6 RANALD V. GILES
Teoria ed applicazioni di meccanica dei fluidi e idraulica
Collana SCHAUM - ETAS LIBRI

7 Autori vari per conto del CISAR
Manuale del tubo di rame
CISAR: Centro Italiano Sviluppo e Applicazioni Rame

8 Autori vari per conto della DALMINE S.p.A.
Tubi di acciaio senza saldatura e saldati per il trasporto e la distribuzione dell'acqua
Servizi Applicazione Prodotto della Dalmine

NOTE

INDICE ANALITICO

A

Adduttanza unitaria 26, 28, 29, 30
Appoggi 123

B

Bollitori (tubi) 74
Brasatura 103

C

Chiocciola 15
Circolatori 17, 18, 24
Circuito a tre tubi 1
Circuito compensato 1

CIRCUITO INVERSO 1

Coeff. dilatazione termica lineare 6
Coeff. perdita carico localizzata 52, 54, 55
Colebrook 45

COLLETTORI 2

Collettori a circuito compensato 4
Collettori a circuito semplice 3
Collettori di zona 2
Compensatori a L 10
– a soffietto metallico 12
– a tubo flessibile 13
– a U 9
– a Z 11
– artificiali 12
– in gomma 13
– naturali 8
– telescopici 13
Condensa superficiale delle tubazioni 25
Conduttività dei materiali 26
Convezione 28
Curva di resistenza di un circuito 23

D

Densità 40
Diffusore 15

DILATAZIONE TERMICA 5

Dilatazione termica dei tubi in acciaio 7
Dilatazione termica lineare 6
Dispersione termica delle tubazioni 26, 27

E

ELETTROPOMPE 14
Elettropompe – curva caratteristica 19
– grippaggio 18
– messa in opera 24
– NPSH 22, 24
– potenza assorbita 22
– rendimento 18, 21
– resistenza agli antigelo 24
– resistenza alla condensa 24
– rumorosità 18, 24
Elettropompe a rotore bagnato 17, 18
– a tenuta meccanica 16, 18
– in parallelo 20
– in serie 20
Engler 125
ERW (tubi) 74
Etilene–propilene 111

F

Fattore di bilanciamento della portata 67
Fretz Moon (tubi) 74

G

Giunti antivibranti 24
Glicole etilico 39
Guide 122

H

HDPE 90, 96

I

Incrudimento 103
Irraggiamento 28

ISOLAMENTO TERMICO
DELLE TUBAZIONI 25

Isolanti term. – aggressività chimica 35
– calore specifico 35
– comportamento al fuoco .. 35
– posa in opera 36
– a base di gomma sintetica .. 35
– in schiuma di poliuretano .. 36
– in lana di roccia 36
– in lana di vetro 36

K

KV (1 bar) 59
KV (0,01 bar) 60

L

LDPE, ... 90
Limitatori di portata 1

LIQUIDI ANTIGELO 39

M

Mannesmann (tubi) 73
Manometri 24

MASSA VOLUMICA 40

Memoria termica 91
Moto laminare 42, 43, 116
Moto transitorio 42
Moto turbolento 42, 45, 116

N

NPSH 22, 24
Numero di Reynolds 42, 43

P

PB–1 90
PEad 90, 96
PEbd 90
PEHD 96
Perdite di carico accidentali 51

PERDITE DI CARICO CONTINUE ... 41

Perdite di carico continue moto laminare . 43

Perdite di carico continue nel moto turbolento:
– tubi a bassa rugosità 46
– tubi a elevata rugosità 50
– tubi a media rugosità 48

PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE 51

Perdite di carico localizzate:
– metodo caratteristica di flusso 51, 59
– metodo coefficiente di portata 51, 59
– metodo diretto 51, 52
– metodo lunghezze equivalenti 51, 61
– metodo portate nominali 51, 59
Perdite di carico singolari 51

PERDITE DI CARICO TOTALI 66

PEX 90, 91
Poiseuille (regime di) 43

Polibutene 90
Polietilene a alta densità 90, 96
Polietilene a bassa densità 90
Polietilene reticolato 90, 91
Polipropilene 90
Portata..... 19, 20, 21, 22, 23, 39

PORTATA DI BILANCIAMENTO 67

Portata–velocità (formule)..... 115
Potabilità 90
Potenza assorbita da una elettropompa..... 22
PP 90
Pretensione dei compensatori..... 8
Prevalenza 19, 20, 21, 22, 23, 39
PTFE..... 111
Punti fissi principali 121
Punti fissi secondari..... 122

R

Rendimento di una elettropompa 18, 21, 22
Reynolds (numero di) 42, 43
Ricottura 103

RUGOSITA' 72

Rugosità delle tubazioni 45

S

Scelta di una elettropompa..... 24
Sostegni..... 123
Stokes 125

T

Temperatura superficiale delle tubazioni .. 26
Temperatura superficiale di condensa 25

TUBI IN ACCIAIO 73

Tubi in acciaio (mm) caratt. generali..... 76
Tubi in acciaio (pollici) caratt. generali 75

Tubi in acciaio:
PERDITE DI CARICO CONTINUE
– diam. mm, temp. acqua 10°C..... 80
– diam. mm, temp. acqua 50°C..... 82
– diam. mm, temp. acqua 80°C..... 84
– diam. pollici, temp. acqua 10°C 77
– diam. pollici, temp. acqua 50°C 78
– diam. pollici, temp. acqua 80°C 79

TUBI IN ACCIAIO DOLCE..... 86

Tubi in acciaio dolce caratt. generali 86

Tubi in acciaio dolce:
PERDITE CARICO CONTINUE
– temp. acqua 10°C..... 87
– temp. acqua 50°C..... 88
– temp. acqua 80°C..... 89

TUBI IN MATERIALE PLASTICO 90

Tubi in PEad, PN 6 caratt. generali 97
– PN 10 caratt. generali..... 98
– PN 16 caratt. generali..... 98

Tubi in PEad:
PERDITE DI CARICO CONTINUE
– PN 6, temp. acqua 10°C..... 99
– PN 10, temp. acqua 10°C..... 100
– PN 16, temp. acqua 10°C..... 101

Tubi in PEX, 6 atm, 95°C caratt. generali..... 92
– 10 atm, 95°C caratt. generali 92

Tubi in PEX:
PERDITE DI CARICO CONTINUE
– temp. acqua 10°C..... 93
– temp. acqua 50°C..... 94
– temp. acqua 80°C..... 95

TUBI IN RAME..... 102
Tubi in rame caratteristiche generali 104

Tubi in rame:
PERDITE DI CARICO CONTINUE
– temp. acqua 10°C..... 105
– temp. acqua 50°C..... 106
– temp. acqua 80°C 107

V

VALVOLE DI INTERCETTAZIONE . 108
Valvole a disco 109
– a farfalla..... 112
– a flusso avviato 109
– a flusso libero 109
– a maschio..... 110
– a saracinesca..... 108
– a sfera 111
– a tappo 109
– ad Y 109

VALVOLE DI RITEGNO..... 113
Valvole di ritegno a battente 113
– a clapet..... 113
– a disco..... 113
– a fuso 114
– a sfera..... 114
– a tappo 113

VELOCITA' 115
Velocità consigliate..... 117
Velocità di trascinamento dell'aria 118

VINCOLI DELLE TUBAZIONI 120

VISCOSITA' 125
Viscosità 39, 46, 48
VPE..... 90, 91