



Tubi di polietilene



UNIDELTA®

Manuale Tecnico T2001
Unidelta S.p.A.

Tubi di polietilene

Manuale Tecnico T2001

Copyright © 2001 Unidelta S.p.A.
Via Capparola Sotto, 4
25078 Vestone (BS) - Italy
Tel. +39 0365 878011 - Fax +39 0365 878080
e-mail: unidelta@unidelta.it
U.R.L.: www.unidelta.it

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta con sistemi elettronici, meccanici o altri, senza l'autorizzazione scritta dell'autore.

Unidelta nasce nel 1975 con la produzione di tubi di polietilene e polietilene reticolato per la realizzazione di acquedotti, gasdotti, impianti di irrigazione, condotte antincendio, linee di scarico e impianti di riscaldamento.



Unidelta è oggi tra le aziende leader del proprio settore, forte di un know-how altamente specializzato e certificato secondo la normativa UNI EN ISO 9002.



Osservazioni...

Di recente è stata emessa la nuova normativa UNI 10910 in sostituzione della UNI 7611+F.A.1 oggi ritirata.

La nuova norma prevede l'impiego del polietilene PE 80 e PE 100 per la produzione di tubi per il trasporto di fluidi in pressione. I tubi prodotti in PE 80 mantengono inalterate le caratteristiche dimensionali ma subiscono un incremento della loro classe di pressione data la riduzione del fattore di sicurezza a livelli compatibili con le caratteristiche del materiale.

Riclassificazione dei tubi di polietilene PE 80

PE 80 UNI 7611+F.A.1 Cs = 1.6	PE 80 UNI 10910-2 Cs = 1.25
PN 4	➔ PN 5
PN 6	➔ PN 8
PN 10	➔ PN 12.5
PN 16	➔ PN 20

Per quanto concerne le classi di pressione dei tubi prodotti in PE 100 nulla è cambiato, vengono ancora realizzati nelle quattro classi di pressione: PN 6.3, PN 10, PN 16 e PN 25. La situazione attuale è quindi quella riassunta nella tabella sottostante in relazione alla situazione normativa precedente.

Situazione attuale e precedente dei tubi di polietilene per fluidi in pressione

Situazione precedente	Situazione attuale
PN 4 PE 80, UNI 7611+F.A.1	PN 5 PE 80, UNI 10910-2
PN 6 PE 80, UNI 7611+F.A.1	PN 6.3 PE 100, UNI 10910-2
PN 6.3 PE 100, pr EN 12201-2	PN 8 PE 80, UNI 10910-2
PN 8 PE 100, pr EN 12201-2	PN 10 PE 100, UNI 10910-2
PN 10 PE 80, UNI 7611+F.A.1 PE 100, pr EN 12201-2	PN 12.5 PE 80, UNI 10910-2
PN 12.5 PE 100, pr EN 12201-2	PN 16 PE 100, UNI 10910-2
PN 16 PE 80, UNI 7611+F.A.1 PE 100, pr EN 12201-2	PN 20 PE 80, UNI 10910-2
PN 20 PE 100, pr EN 12201-2	PN 25 PE 100, UNI 10910-2
PN 25 PE 100, pr EN 12201-2	

Prefazione

Questa seconda edizione del manuale tecnico si è resa necessaria dopo gli aggiornamenti che si sono vissuti nel settore dei gasdotti e degli acquedotti di polietilene. Si è quindi ritenuto indispensabile rielaborare il testo approfondendo alcuni argomenti ed aggiungendone di nuovi anche in seguito alle richieste dei nostri interlocutori. Come nella precedente edizione l'obiettivo di fondo è quello di fornire dati numerici utili e non solo nozioni teoriche generalizzate in modo tale che le informazioni e le soluzioni contenute rappresentino uno strumento fondamentale e pratico per l'impiego del prodotto e per la attività di progettazione.

Questa nuova edizione è suddivisa in cinque sezioni.

La prima sezione fornisce le nozioni di base relativamente alla materia prima, al processo di estrusione dei tubi, alle caratteristiche tipiche dei tubi di polietilene, alle varie metodologie per la realizzazione di giunzioni ed ai principi di dimensionamento dei tubi. In questa sezione vengono trattati argomenti particolari come la compatibilità nella saldatura e l'evoluzione normativa nazionale ed europea.

Nella seconda sezione si trattano i tubi di polietilene per il trasporto di fluidi in pressione. Nella prima parte vengono esposte le caratteristiche dei tubi di polietilene bassa densità e alta densità PE 80 e PE 100 quali i requisiti fisico-meccanici, le condizioni di impiego, le dimensioni, la marcatura ed i diagrammi delle perdite di carico. Nella seconda parte viene trattato il dimensionamento degli impianti per il trasporto di acqua con numerosi esempi nei quali si mostra l'impiego pratico dei diagrammi. In questa seconda parte sono esposte anche formule pratiche per il calcolo delle perdite che sono state il risultato di elaborazioni numeriche complesse. Nella terza ed ultima parte della seconda sezione viene affrontato il dimensionamento dei tubi per il trasporto di aria compressa.

Nella terza sezione sono esposti i requisiti e le caratteristiche dei tubi destinati alla realizzazione di impianti di scarico trattando anche il dimensionamento idraulico.

Nella quarta sezione si entra nell'argomento relativo al trasporto dei gas combustibili. Nella prima parte vi sono informazioni generali sul metano, i GPL e la loro combustione, nella seconda parte sono esposti i requisiti fisico-meccanici, le condizioni di impiego, le dimensioni e la marcatura dei tubi di polietilene per gas. Alcune pagine sono dedicate alle normative nazionali relative agli impianti di distribuzione e di derivazione del gas in cui si è voluto indicare con chiarezza le parti di impianto realizzabili in polietilene. Nella parte finale della sezione è trattato in maniera approfondita il dimensionamento illustrando con esempi l'impiego dei diagrammi delle perdite di carico.

Nella quinta sezione si affrontano le problematiche legate alla progettazione delle condotte di polietilene analizzando le sovrappressioni di colpo d'ariete dovute alla chiusura di una saracinesca o all'arresto di una pompa, le variazioni termiche di lunghezza ed i sistemi di compensazione, l'installazione delle condotte sospese e quindi le distanze massime fra i supporti. Viene trattato l'argomento della curvatura dei tubi durante la posa, l'impiego in impianti di aspirazione in cui i tubi sono soggetti a depressione, il traino delle condotte. Un argomento nuovo rispetto all'edizione precedente è il dimensionamento dei blocchi per l'ancoraggio delle condotte in prossimità dei giunti o nel caso di forti pendenze.

Infine in appendice sono riportate alcuni utili informazioni fra le quali la correlazione fra diametro esterno dei tubi di polietilene e diametro nominale delle condutture, le dimensioni delle flange per la realizzazione di giunzioni, i coefficienti moltiplicativi per la conversione tra unità di misura differenti, la resistenza chimica del polietilene ad alcune sostanze, l'elenco delle normative e dei decreti legislativi di riferimento.

Indice dei contenuti

Sezione I. Nozioni di base

1. Il polietilene	1
2. L'estrusione	5
3. Le caratteristiche dei tubi di polietilene Unidelta	7
4. Settori di impiego	8
5. Sistemi di giunzione dei tubi di polietilene	9
6. Principi di dimensionamento dei tubi di polietilene	12

Sezione II. Tubi di polietilene per il trasporto di fluidi in pressione

7. Tubi Unidelta di polietilene bassa densità PE 40 secondo UNI 7990	19
8. Tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910	25
9. Tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 100 secondo pr EN 12201-2	33
10. Dimensionamento delle condotte: perdite di carico per il trasporto di acqua in pressione	41
11. Dimensionamento delle condotte: perdite di carico per il trasporto di aria compressa	54

Sezione III. Tubi di polietilene per il trasporto di fluidi di scarico

12. Tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 7613	60
13. Dimensionamento idraulico delle condotte di scarico	62

Sezione IV. Tubi di polietilene per il trasporto di gas combustibile

14. Il gas combustibile	71
15. Tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437	73
16. Dimensionamento delle condotte: perdite di carico per il trasporto di gas combustibile	79

Sezione V. Elementi di progettazione delle condotte di polietilene

17. Colpo d'ariete	100
18. Variazioni termiche di lunghezza	105
19. Flessione	113
20. Curvatura	121
21. Pressione esterna o depressione	124
22. Traino	128
23. Blocchi di ancoraggio	131

Appendice

A. Definizioni e simboli	135
B. Indicazione convenzionale per la designazione: diametro nominale DN	136
C. Giunzioni flangiate	137
D. Relazione tra SDR, S e PN di tubi di polietilene secondo pr EN 12201-2	138
E. Unità di misura	138
F. Resistenza chimica	141
G. Documentazione di riferimento	145

1. Il polietilene

Le materie plastiche sono materiali a base di carbonio formate da molecole estremamente lunghe.

Le materie plastiche appartengono al gruppo dei polimeri e sono prodotte generalmente attraverso la polimerizzazione di semplici composti organici. Nel processo di polimerizzazione vengono formate molecole estremamente lunghe formate dal susseguirsi dei composti organici di base.

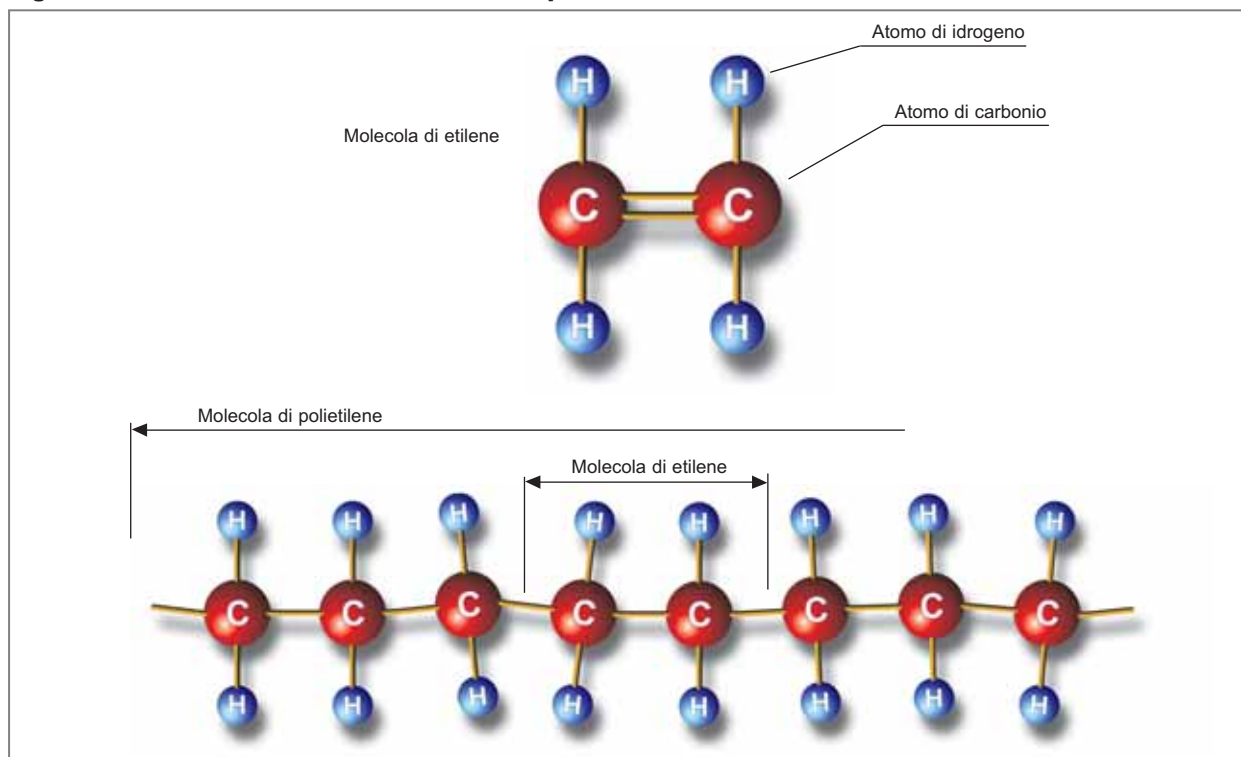
Le materie plastiche possono essere divise in due categorie: termoplastici e termoindurenti.

I termoplastici sono plastiche che rammolliscono, fondono e raggiungono una fluidità simile a quella dei liquidi densi e viscosi quando riscaldati oltre determinate temperature. E' in questo stato che i materiali plastici sono generalmente trasformati nel prodotto finito. Dopo raffreddamento, i materiali termoplastici induriscono e raggiungono un comportamento simile ad un solido ma se riscaldati nuovamente possono essere formati ulteriormente. Questo processo può essere ripetuto più volte tenendo sempre in considerazione che le proprietà fisiche del materiale subiscono variazioni tali per cui lo stesso materiale non può essere utilizzato per la stessa applicazione. Il polietilene è un materiale termoplastico.

I termoindurenti sono plastiche che induriscono se riscaldate oltre una determinata temperatura. L'indurimento è il risultato di una reazione di vulcanizzazione o di reticolazione che causa la formazione di legami tridimensionali fra le molecole di base. Queste reazioni non sono reversibili quindi i materiali termoindurenti non possono essere fusi nuovamente come i termoplastici.

Il polietilene è un polimero termoplastico formato dalla polimerizzazione dell'etilene che ne costituisce il composto organico di base (monomero).

Figura 1.1. Molecola di etilene e molecola di polietilene



A seconda delle caratteristiche fisiche del materiale ottenuto attraverso il processo di polimerizzazione si possono avere polietileni di diverso tipo: LDPE (Low Density Polyethylene) o PEBD (polietilene a bassa densità), LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) o PEBDL (polietilene a bassa densità lineare), MDPE (Medium Density Polyethylene) o PEMD (polietilene a media densità), HDPE (High Density Polyethylene) o PEAD (polietilene ad alta densità).

Si sono sviluppati diversi gradi di polietileni con l'obiettivo di incrementare le caratteristiche a lungo termine e la processabilità; il risultato più recente in questo senso è stato la nascita del PE 100. Questo nuovo materiale presenta caratteristiche meccaniche superiori rispetto ai polietileni delle generazioni precedenti tali da consentire di produrre tubi con pressioni nominali di 25 bar o spessori ridotti fino al 35% rispetto a quelli tradizionali.

Di seguito sono mostrate le caratteristiche tipiche dei polietileni impiegati nella produzione dei tubi per il trasporto di fluidi. Si tenga comunque in considerazione che alcuni valori possono variare tra un produttore di materia prima e l'altro.

Polietilene bassa densità PE 40

E' il polietilene impiegato per la produzione di tubi secondo la normativa UNI 7990 destinati alla realizzazione di impianti per il trasporto di fluidi in pressione, per le sue elevate caratteristiche di elasticità e flessibilità questa tubazione è largamente utilizzata negli impianti di irrigazione.

Tabella 1.1. Caratteristiche tipiche del polietilene bassa densità PE 40

Caratteristiche	Unità	Valore	Metodo
Massa volumica a 23°C	kg/m ³	935	ISO 1183
Indice di fluidità a 190°C peso 2.16 kg (MFR 190/2.16)	g/10·min	0.40÷0.60	ISO 1133
Carico di snervamento	MPa	≥11	ASTM D 638
Carico di rottura	MPa	≥17	ASTM D 638
Allungamento a rottura	%	≥600	ASTM D 638
Durezza SHORE D	-	≥48	ASTM D 2240
Punto di rammollimento VICAT (1 kg)	°C	91÷101	ASTM D 1525
Punto di fusione (DSC)	°C	103÷118	ASTM D 3417
Tempo di induzione all'ossidazione a 210°C (OIT)	min	>30	EN 728

Polietilene alta densità PE 80

Con il polietilene alta densità PE 80 vengono prodotti tubi secondo le normative UNI 10910 per la realizzazione di condotte per il trasporto di fluidi in pressione, UNI ISO 4437 per la realizzazione di gasdotti, UNI 7613 per linee di scarico interrate.

Tabella 1.2. Caratteristiche tipiche del polietilene alta densità PE 80

Caratteristiche fisiche	Unità	Valore	Metodo
Massa volumica a 23°C	kg/m ³	954	ISO 1183
Viscosità	cm ³ /g	320	ISO 1628-3
Indice di fluidità a 190°C peso 5 kg (MFR 190/5)	g/10·min	0.43	ISO 1133
Indice di fluidità a 190°C peso 21.6 kg (MFR 190/21.6)	g/10·min	12.0	ISO 1133
Caratteristiche meccaniche			
Carico di snervamento a 23°C	MPa	22	ISO 527
Allungamento a snervamento a 23°C	%	8	ISO 527
Allungamento a rottura	%	≥350	EN 638
Modulo di elasticità a trazione a 23°C	MPa	850	ISO 527
Modulo di elasticità a flessione (1 min)	MPa	1000	DIN 54852 Z4
Durezza SHORE D			
a 0°C	-	67	
a 20°C	-	61	DIN 53505
a 40°C	-	59	ASTM D 2240
a 60°C	-	53	
a 80°C	-	49	
Caratteristiche termiche			
Punto di rammollimento VICAT (1 kg)	°C	127	DIN 53460 – ISO 306
Conducibilità termica a 23°C	W/m·K	0.45	DIN 52612
Coefficiente di dilatazione lineare	K ⁻¹	1.3·10 ⁻⁴	ASTM D 696
Calore specifico			
a 23°C	kJ/kg·K	1.48	Calorimetrico
a 100°C	kJ/kg·K	2.74	Calorimetrico
Temperatura di fragilità	°C	<-118	ASTM D 746
Caratteristiche elettriche			
Resistenza di isolamento superficiale	Ohm	>10 ¹⁴	DIN 53482 – VDE 0303/3
Costante dielettrica a 23°C fra 10 ² e 10 ⁸ Hz	-	2.6	DIN 53483 – VDE 0303/4
Rigidità dielettrica	kV/cm	2.2·10 ²	DIN 53481 – VDE 0303/2
Altre proprietà			
Resistenza minima richiesta (MRS)	MPa	8	ISO TR 9080
Resistenza alla crescita lenta della frattura SCG (σ = 4.0 MPa, 80°C, >165 ore, Notchtest)	ore	>3000	EN 33 479
Resistenza alla propagazione rapida della frattura RCP (Provino Ø110x10, Test S4)	bar	≥5	ISO DIS 13477
Tempo di induzione all'ossidazione a 210°C (OIT)	min	≥30	ISO TR 10837
Modulo di scorrimento a flessione			
1 min	MPa	1000	DIN 19537
24 h	MPa	470	DIN 19537
2000 h	MPa	300	DIN 19537

Polietilene alta densità PE 100

Con questo materiale vengono prodotti tubi per la realizzazione di impianti per il trasporto di acqua in pressione. Le elevate caratteristiche meccaniche del materiale consentono di realizzare tubi con pressioni nominali fino a 25 bar o con spessori ridotti.

Tabella 1.3. Caratteristiche tipiche del polietilene alta densità PE 100

Caratteristiche fisiche	Unità	Valore	Metodo
Massa volumica a 23°C	kg/m ³	958	ISO 1183
Viscosità	cm ³ /g	≥360	ISO 1628-3
Indice di fluidità a 190°C peso 5 kg (MFR 190/5)	g/10 min	0.22	ISO 1133
Indice di fluidità a 190°C peso 21.6 kg (MFR 190/21.6)	g/10 min	6.6	ISO 1133
Caratteristiche meccaniche			
Carico di snervamento a 23°C	MPa	23	ISO 527
Allungamento a snervamento a 23°C	%	9	ISO 527
Allungamento a rottura	%	≥350	EN 638
Modulo di elasticità a trazione a 23°C	MPa	900	ISO 527
Modulo di elasticità a flessione (1 min)	MPa	1200	DIN 54852 Z4
Durezza SHORE D			
a 0°C	-	63	
a 20°C	-	59	DIN 53505
a 40°C	-	56	ASTM D 2240
a 60°C	-	54	
a 80°C	-	52	
Caratteristiche termiche			
Punto di rammollimento VICAT (1 kg)	°C	127	DIN 53460 – ISO 306
Conducibilità termica a 23°C	W/m·K	0.38	DIN 52612
Coefficiente di dilatazione lineare	K ⁻¹	1.3·10 ⁻⁴	ASTM D 696
Calore specifico			
a 23°C	kJ/kg·K	1.9	Calorimetrico
a 100°C	kJ/kg·K	3.2	Calorimetrico
Temperatura di fragilità	°C	<-100	ASTM D 746
Caratteristiche elettriche			
Resistenza di isolamento superficiale	Ohm	>10 ¹⁴	DIN 53482 – VDE 0303/3
Costante dielettrica a 23°C fra 10 ² e 10 ⁶ Hz	-	2.6	DIN 53483 – VDE 0303/4
Rigidità dielettrica	kV/cm	2.2·10 ²	DIN 53481 – VDE 0303/2
Altre proprietà			
Resistenza minima richiesta (MRS)	MPa	>10	ISO TR 9080
Resistenza alla crescita lenta della frattura SCG (σ = 4.0 MPa, 80°C, >165 ore, Notchtest)	ore	>1000	EN 33479
Resistenza alla propagazione rapida della frattura RCP (Provino Ø110x10, Test S4)	bar	>25	ISO DIS 13477
Tempo di induzione all'ossidazione a 210°C (OIT)	min	≥30	ISO TR 10837

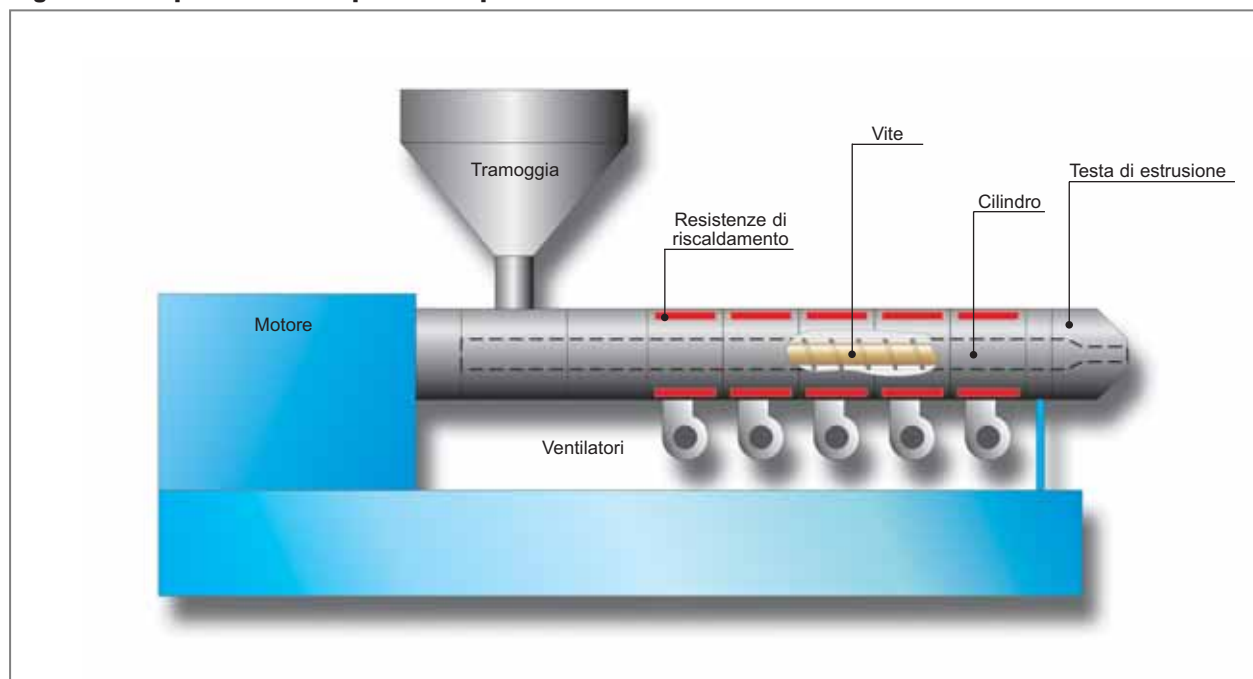
2. L'estrusione

Quando un materiale viene estruso viene forzato attraverso una matrice che gli conferisce la stessa forma della sezione di passaggio così come schiacciando il tubetto del dentifricio si genera la pressione sufficiente a spingere il dentifricio attraverso il foro di passaggio.

La funzione principale di un estrusore è quella di sviluppare la pressione necessaria a forzare il materiale attraverso la matrice, tale pressione dipende dalle caratteristiche geometriche della matrice, dalle proprietà di fluidità del materiale da estrudere e dalla portata richiesta. La pressione necessaria al processo viene generata dalla rotazione della vite di estrusione all'interno del cilindro di estrusione. Il convogliamento, la fusione e l'omogeneizzazione del materiale dipendono in gran parte dal profilo della vite che risulta essere quindi uno degli elementi più importanti della macchina.

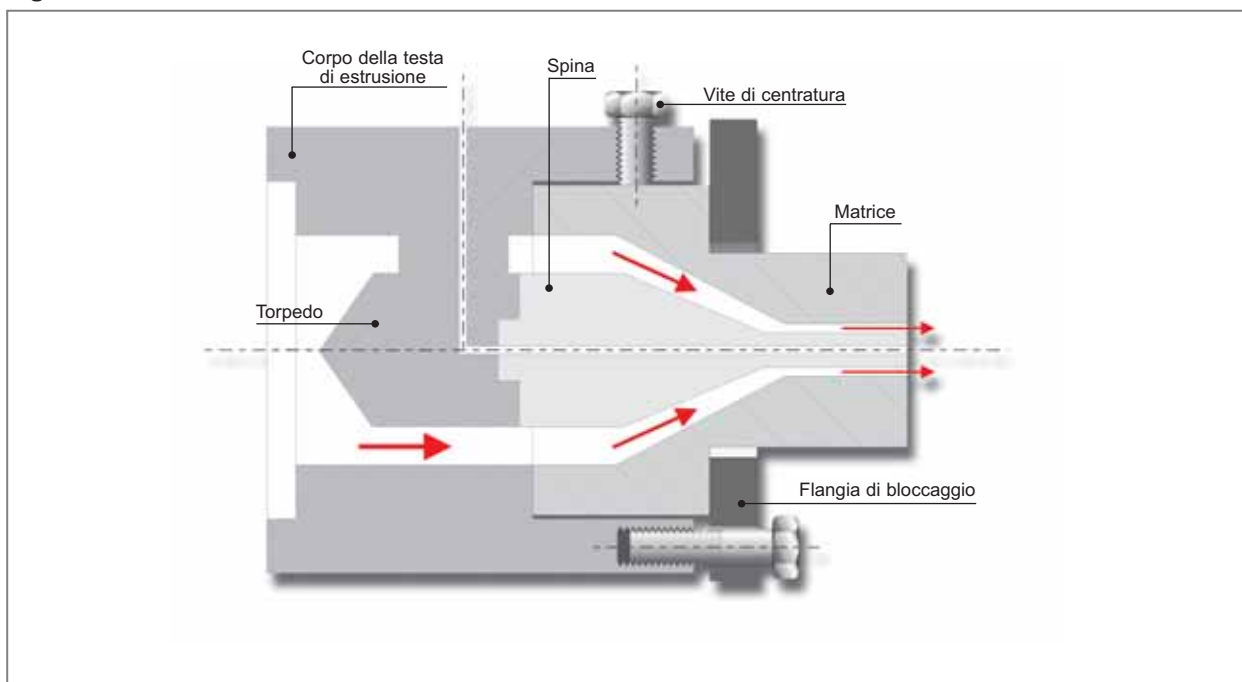
Il materiale in forma di granuli viene immesso nell'estrusore attraverso la tramoggia di alimentazione ed in prossimità della base della vite. Il materiale viene convogliato verso la matrice dalla vite e lungo il tragitto viene portato a fusione. Per poter mantenere costanti i profili di temperatura lungo tutta la lunghezza dell'estrusore il cilindro presenta sistemi di riscaldamento (resistenze elettriche) e di raffreddamento (ventilatori).

Figura 2.1. Tipico estrusore per tubi di polietilene



Raggiunta la testa di estrusione il polietilene fuso fluendo intorno al torpedo (figura 2.2) passa attraverso lo spazio esistente tra la spina e la matrice. La spina è fissata al corpo mediante accoppiamento filettato e la matrice è pressata sul corpo attraverso la flangia di bloccaggio. Due serie di viti consentono di muovere orizzontalmente e verticalmente la matrice per regolare la concentricità del tubo.

Figura 2.2. Sezione schematica di una testa di estrusione



Il materiale fuoriesce dalla matrice che gli conferisce la forma desiderata e passa immediatamente nella camera di calibrazione che ha lo scopo di raffreddare il tubo conferendogli il diametro richiesto.

La calibrazione avviene sottovuoto ed il raffreddamento avviene a spruzzo o per immersione.

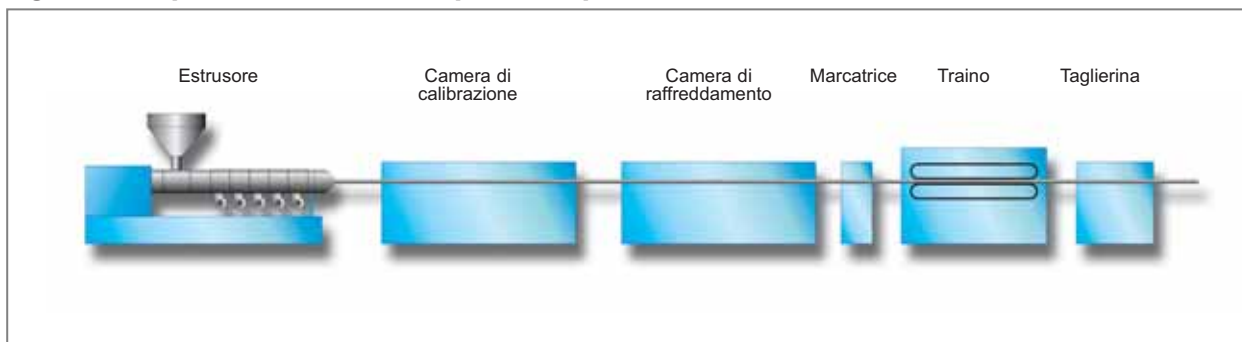
Dopo la camera di calibrazione il tubo passa all'interno di ulteriori camere di raffreddamento in modo tale da fargli raggiungere la consistenza sufficiente per entrare prima nel sistema di marcatura, poi nel dispositivo di traino e successivamente nella taglierina.

I tubi vengono marcati su ogni metro con i dati tecnici del prodotto quali: diametro, classe di pressione, tipo di tubo, norma di riferimento, marchio di prodotto, nome commerciale, anno, mese, turno di produzione, operatore, linea di estrusione, ecc.

La velocità di traino del tubo può essere variata in continuo in modo tale da poter regolare con precisione lo spessore del tubo; aumentando la velocità del traino si riduce lo spessore del tubo, riducendo la velocità si può aumentare lo spessore.

All'uscita della taglierina il tubo può essere avvolto in bobine o mantenuto in forma di barre a seconda delle esigenze del cliente.

Figura 2.3. Tipica linea di estrusione per tubi di polietilene



3. Le caratteristiche dei tubi di polietilene Unidelta

Il polietilene risulta essere una alternativa estremamente valida alle condotte realizzate con i materiali tradizionali quali la ghisa, l'acciaio o il cemento per motivi tecnici ed economici. Il notevole sviluppo e l'ampia diffusione delle condotte di polietilene è attribuibile alle particolari caratteristiche del materiale.

Abrasione

Il polietilene ha una resistenza all'abrasione superiore a quella dell'acciaio e del cemento; tale caratteristica lo rende idoneo al trasporto di sostanze solide in acqua (fanghi) e a operazioni di dragatura di sabbia e di ghiaia. Durante la posa in opera la superficie esterna del tubo non deve essere comunque graffiata ed intagliata da oggetti aguzzi; è quindi opportuno maneggiare con cura le condotte per evitare di generare sulla superficie intagli di profondità elevata che ridurrebbero le caratteristiche meccaniche della tubazione.

Flessibilità

L'elevata flessibilità del polietilene e la sua capacità di riprendere la forma originaria in seguito a deformazione lo rendono idoneo ad assorbire vibrazioni, urti e sollecitazioni dovute al movimento del suolo e quindi adatto ad essere installato in aree instabili.

Leggerezza

Le condotte di polietilene hanno un basso peso specifico e sono pertanto facili da trasportare e da installare consentendo notevoli riduzioni dei costi.

Corrosione

Il polietilene è chimicamente inerte alle temperature normali di utilizzo; per tale motivo non si fessura, non corrode o non riduce lo spessore di parete in seguito a reazioni elettrochimiche con il terreno circostante. Non favorisce la crescita di alghe, batteri o funghi.

Effetti chimici

Il polietilene ha una buona resistenza ad un'ampia gamma di sostanze chimiche; nel lungo periodo, in contatto con alcuni agenti chimici fortemente ossidanti, quali gli acidi forti, può tuttavia degradare. I detergenti possono favorire la propagazione della frattura soprattutto ad alte temperature; alcuni solventi poi (idrocarburi quali petroli ed oli) possono essere assorbiti riducendo la resistenza meccanica e dando luogo a problemi di gusto sul fluido trasportato.

Stabilità termica

L'esposizione del polietilene alle normali variazioni ambientali di temperatura non ne causa la degradazione; durante la produzione del tubo il materiale è invece soggetto a temperature di 200°C÷240°C; per evitarne il deperimento chimico-fisico vengono quindi aggiunti opportuni stabilizzanti.

Basse temperature

Le proprietà meccaniche del polietilene consentono alle condotte di poter operare anche a temperature molto basse nell'ordine di -60°C.

Resistenza ai raggi UV

Per evitare la degradazione del polietilene (invecchiamento) dovuta all'esposizione ai raggi ultravioletti (luce del sole) viene aggiunto il carbon black, opportuno stabilizzante che consente di immagazzinare i tubi anche all'aperto per lunghi periodi di tempo.

Conduzione termica ed elettrica

Il polietilene ha una conducibilità termica molto bassa ma è infiammabile, non devono quindi essere utilizzate fiamme libere per sgelare le condotte o per altre particolari operazioni. Queste devono essere inoltre protette nel caso in cui siano nelle vicinanze di sorgenti di calore che possono innalzare la temperatura superficiale del tubo. Il polietilene è anche un povero conduttore di elettricità e quindi non sono richiesti accorgimenti particolari nella realizzazione delle reti di condutture.

Atossicità

Il polietilene è un materiale completamente atossico e quindi adatto al trasporto di acqua potabile o da potabilizzare, è infatti conforme alla normativa igienico sanitaria del Ministero della Sanità (Circolare n° 102 del 2/12/1978).

4. Settori di impiego

Le tubazioni di polietilene Unidelta sono prodotte secondo le normative vigenti impiegando materie prime omologate dall'Istituto Italiano dei Plastici.

I polimeri utilizzati sono il polietilene bassa densità (PEBD) per il settore irrigazione ed il polietilene alta densità PE80 e PE100 (PEAD) per la realizzazione di reti interrate di gas combustibile (metano e G.P.L.), acquedotti, reti antincendio, condotte di scarico interrate, condotte per aria compressa, impianti industriali in genere per il trasporto di fluidi alimentari e non. La gamma Unidelta è molto ampia estendendosi dal diametro 16 mm al diametro 630 mm con pressioni nominali da 3.2 bar a 25 bar.

Unidelta produce inoltre tubo di polietilene reticolato (PEX) per la realizzazione di impianti di riscaldamento a pavimento e per la distribuzione idrotermosanitaria (Questo prodotto è trattato nel "Manuale Tecnico Unidelta - Tubi di polietilene reticolato").

Una ampia gamma di raccordi a serraggio meccanico di polipropilene (PP) e di raccordi ad elettrofusione di polietilene completano l'offerta di Unidelta per la realizzazione di linee complete di polietilene.

I tubi ed i raccordi Unidelta sono conformi alle normative nazionali ed internazionali e sono certificati dai più prestigiosi Istituti di omologazione fra cui l'Istituto Italiano dei Plastici.

PE GAS



PEBD



PEAD



PEX



Tabella 4.1. La gamma di tubi di polietilene Unidelta

Impiego	Dimensioni	Norma italiana o europea di riferimento	Tipo UNI	Polimero
Condotte di fluidi in pressione	Ø 20÷630 PN 5÷20	UNI 10910		PEAD (PE80)
Condotte di fluidi in pressione	Ø 20÷630 PN 6.3÷25	UNI 10910 pr EN 12201		PEAD (PE100)
Condotte di fluidi in pressione	Ø 16÷110 PN 4, 6, 10	UNI 7990	312	PEBD (PE40)
Condotte di scarico interrate	Ø 110÷630 PN 3.2	UNI 7613	303	PEAD (PE80)
Condotte interrate per la distribuzione di gas combustibile	Ø 20÷630 S12.5, S8, S5	UNI ISO 4437	316	PEAD (PE80)
Condotte di fluidi caldi sotto pressione	Ø 12÷110 PN 10, 16	UNI 9338	315	PEX

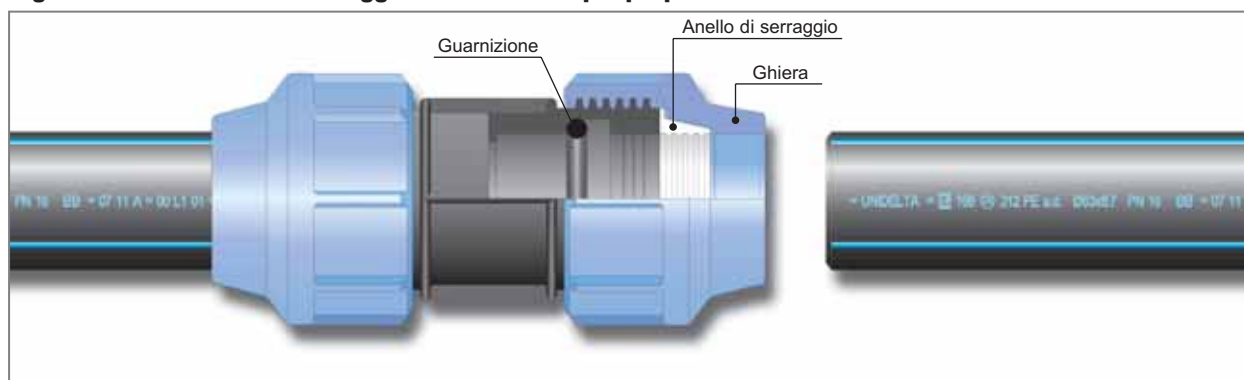
5. Sistemi di giunzione dei tubi di polietilene

Le giunzioni fra tubi di polietilene o fra tubi di polietilene e tubi di materiali metallici possono essere divise in due gruppi: rimovibili e fisse, a seconda che la giunzione sia smontabile o definitiva.

Giunzioni rimovibili con raccordi a serraggio meccanico

Tali tipi di raccordi possono essere realizzati di metallo od di plastica come i raccordi a compressione di polipropilene Unidelta: sono giunzioni rimovibili e di facile installazione. Il sistema di giunzione è basato sull'aggraffaggio del tubo di polietilene mediante anelli dentati che avvolgono e stringono la tubazione. La gamma di raccordi di polipropilene Unidelta comprende i diametri dal 16 mm al 110 mm con pressioni nominali di 16 bar fino al diametro 63 mm e di 10 bar dal 75 mm al 110 mm (fare riferimento al "Catalogo Tecnico Unidelta - Raccordi a compressione e prese a staffa di polipropilene").

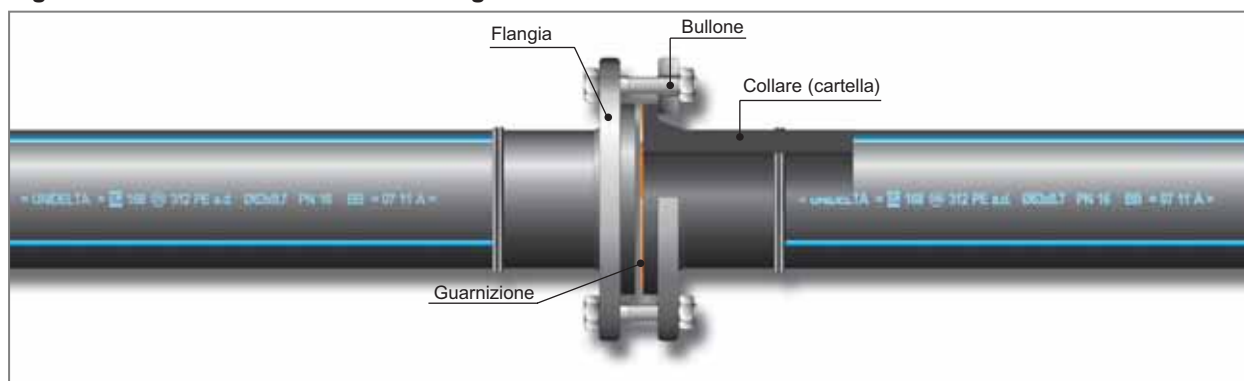
Figura 5.1. Manicotto a serraggio meccanico di polipropilene Unidelta



Giunzioni rimovibili con collari e flange

Sono giunzioni rimovibili realizzate mediante il collegamento di flange infilate sul tubo e serrate con bulloni. Le flange vanno in battuta su collari (cartelle) saldati di testa o per elettrofusione al tubo di polietilene (fare riferimento al "Catalogo Tecnico Unidelta – Raccordi elettrosaldabili, accessori ed attrezzature").

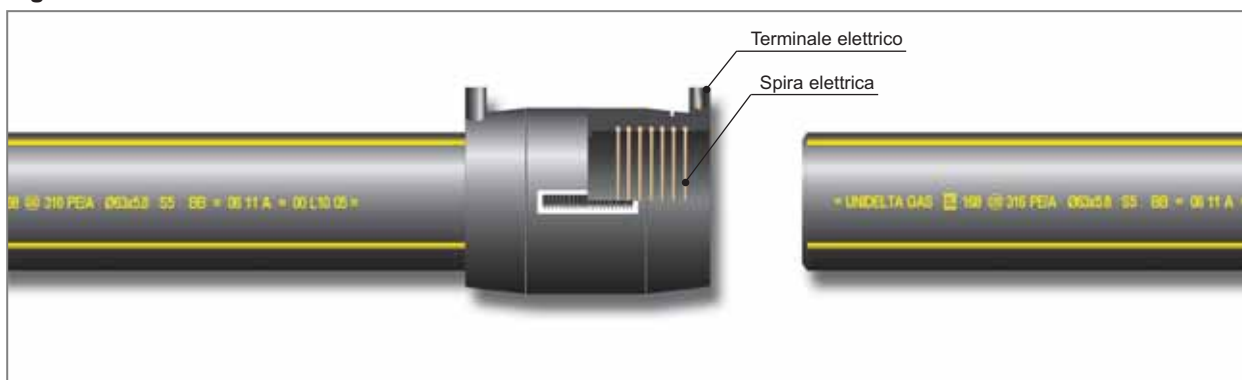
Figura 5.2. Giunzione con collari e flange



Giunzioni fisse con raccordi a resistenza elettrica incorporata

Questo tipo di giunzione richiede l'utilizzo di particolari raccordi di polietilene sulla cui superficie interna è collocata una resistenza elettrica. L'energia termica prodotta dalla resistenza sotto tensione provoca il riscaldamento del tubo e del raccordo e la successiva fusione dei due elementi. Una apposita macchina saldatrice eroga l'energia sufficiente per la saldatura in funzione del diametro del tubo, del tipo di raccordo e della temperatura esterna. L'elettrofusione è un sistema pratico, rapido e sicuro per la realizzazione di giunzioni di tubi di polietilene e per interventi di riparazione. Condizione necessaria ed indispensabile per il buon esito della saldatura è che l'operatore rispetti tutte le procedure ed i parametri prescritti dalle norme e richiesti dal produttore dei raccordi. I documenti che regolamentano il processo di saldatura per elettrofusione sono la normativa nazionale UNI 10521 per il PE 80 e il documento U28005960 per il PE 100. Unidelta fornisce una gamma di raccordi elettrosaldabili comprendente i diametri dal 20 mm al 315 mm in funzione del tipo di figura e fino al 500 mm per le selle di derivazione in carico (fare riferimento al "Catalogo Tecnico Unidelta – Raccordi elettrosaldabili, accessori ed attrezzature").

Figura 5.3. Manicotto elettrosaldabile



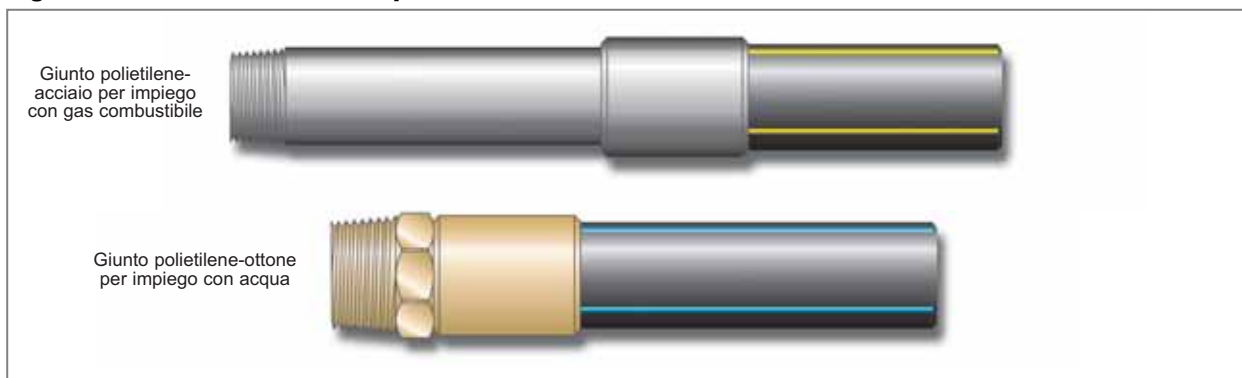
Giunzioni fisse per saldatura di testa

E' il sistema di giunzione di due elementi, tubi e/o raccordi, di uguale diametro e spessore mediante elementi termici per contatto. Le superfici da saldare vengono prima riscaldate fino a fusione mediante una piastra metallica (termoelemento) portata ad una opportuna temperatura e successivamente unite per mezzo di un sistema idraulico che realizza la pressione di contatto necessaria alla saldatura. La saldatura di testa è caratterizzata da un cordolo di materiale che circonda la zona di giunzione. Per saldature di tubazioni in PE 80 si faccia riferimento alla normativa nazionale UNI 10520; per tubazioni in PE 100 si veda invece il documento U28005960. Per l'impostazione dei parametri di saldatura è necessario utilizzare le tabelle contenute nella documentazione della macchina che viene utilizzata.

Giunzioni miste polietilene-metallo

Sono raccordi speciali (detti anche di transizione) che consentono il passaggio da tubo di polietilene a tubo metallico a saldare o filettato. Questo tipo di raccordo è fornito da Unidelta nelle versioni polietilene-acciaio per il settore gas e polietilene-ottone o polietilene-ghisa (bocchettoni) per il settore acquedottistico (fare riferimento al "Catalogo Tecnico Unidelta – Raccordi elettrosaldabili, accessori ed attrezzature").

Figura 5.4. Giunti di transizione polietilene metallo



Compatibilità nella giunzione di tubi di polietilene

Tubi di polietilene e raccordi possono essere saldati tra loro mediante la saldatura per elettrofusione o la saldatura testa-testa. In entrambi i casi l'esecuzione delle giunzioni deve avvenire seguendo le procedure specifiche e tenendo in considerazione alcuni fondamentali concetti relativi alla compatibilità fra materiali diversi.

Data la completa compatibilità fra PE 80 e PE 100 è possibile effettuare la saldatura testa-testa fra tubi di materiali diversi purché essi siano caratterizzati dallo stesso SDR (rapporto D_e/s) e quindi stesso spessore. In figura 5.5 è mostrato un esempio: due tubi SDR 11 realizzati in PE 80 e in PE 100 sono giuntati mediante saldatura testa-testa. In questo caso la classe di pressione della condotta finale è la minima fra le classi di pressione dei tubi, nell'esempio di figura la condotta è PN 10 anche se il tubo PE 100 è SDR 11 e quindi di classe PN 16.

Al contrario tubi anche dello stesso materiale ma caratterizzati da SDR differenti non possono essere saldati testa-testa in quanto gli spessori sono differenti (figura 5.6).

Con la saldatura per elettrofusione è possibile effettuare qualunque tipo di configurazione, quindi si possono unire tubi di materiali e spessori differenti (figura 5.7).

Si ricordi tuttavia che tubi di polietilene bassa densità non possono essere saldati a tubi di polietilene alta densità (PE 80 e PE 100) nemmeno per elettrofusione; tubi di polietilene bassa densità vengono uniti mediante sistemi meccanici quali i raccordi a compressione di polipropilene.

Figura 5.5. Saldatura testa-testa

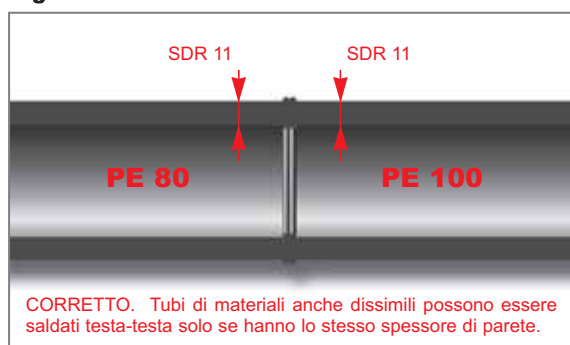


Figura 5.6. Saldatura testa-testa

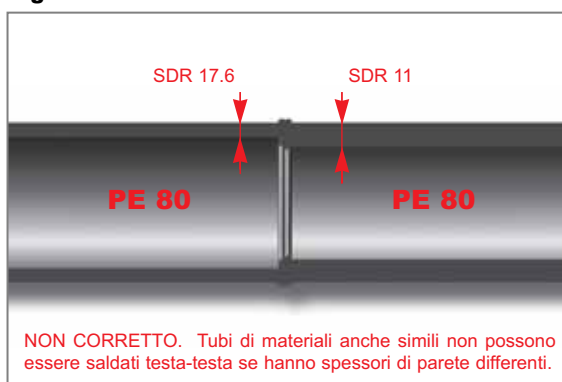
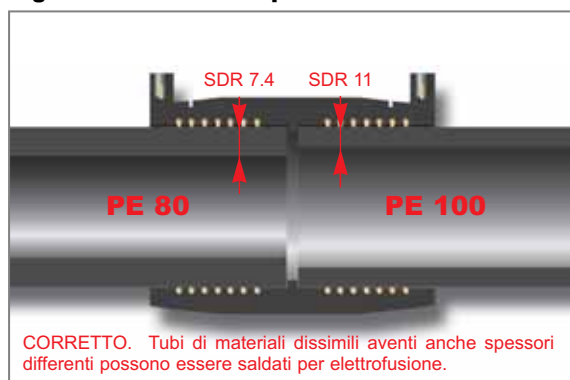


Figura 5.7. Saldatura per elettrofusione



6. Principi di dimensionamento dei tubi di polietilene

I tubi di polietilene sono dimensionati per resistere ad una determinata pressione idrostatica interna indicata con PN (pressione nominale), essa rappresenta la massima pressione di esercizio alla quale può essere soggetto il tubo in esercizio continuo per un tempo prestabilito.

Dimensionare un tubo di polietilene significa calcolare lo spessore di parete idoneo per la pressione nominale scelta; lo spessore sarà funzione anche del diametro esterno del tubo e delle caratteristiche meccaniche del polietilene impiegato.

Quando il tubo è soggetto ad una pressione interna P [bar] nella sua parete si genera una sollecitazione di trazione σ [MPa] (figura 6.1) che si determina dal bilancio di forze agenti sulla sezione assiale (figura 6.2).

Figura 6.1. Sollecitazioni circonferenziale generata dalla pressione idrostatica interna

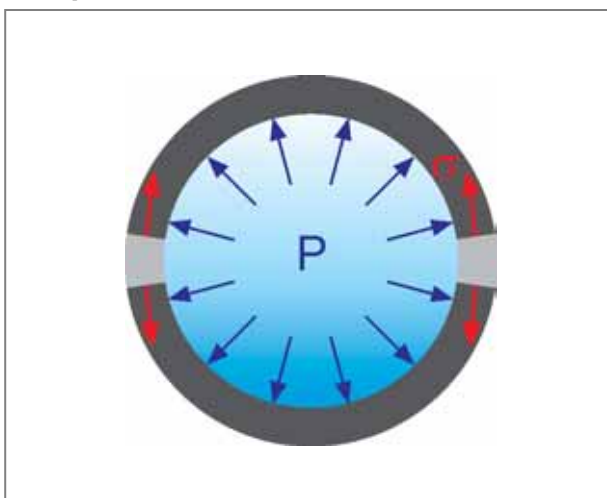
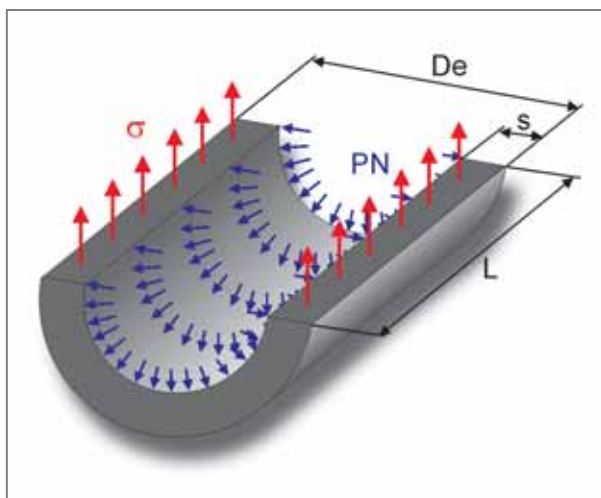


Figura 6.2. Sollecitazioni agenti sulla sezione assiale del tubo



$$\underbrace{10}_{\text{Fattore di conversione dai MPa ai bar}} \cdot \underbrace{2 \cdot \sigma \cdot s \cdot L}_{\text{Forza resistente agente su entrambi i lati della parete del tubo}} = \underbrace{P \cdot (De - s) \cdot L}_{\text{Forza resistente agente sulla superficie del tubo dovuta alla pressione}} \quad [6.1]$$

dove s è lo spessore del tubo [mm], De è il diametro esterno [mm] ed L è la lunghezza dello spezzone di tubo sul quale si effettua il bilancio.

Esplicitando la tensione circonferenziale si ottiene l'espressione seguente:

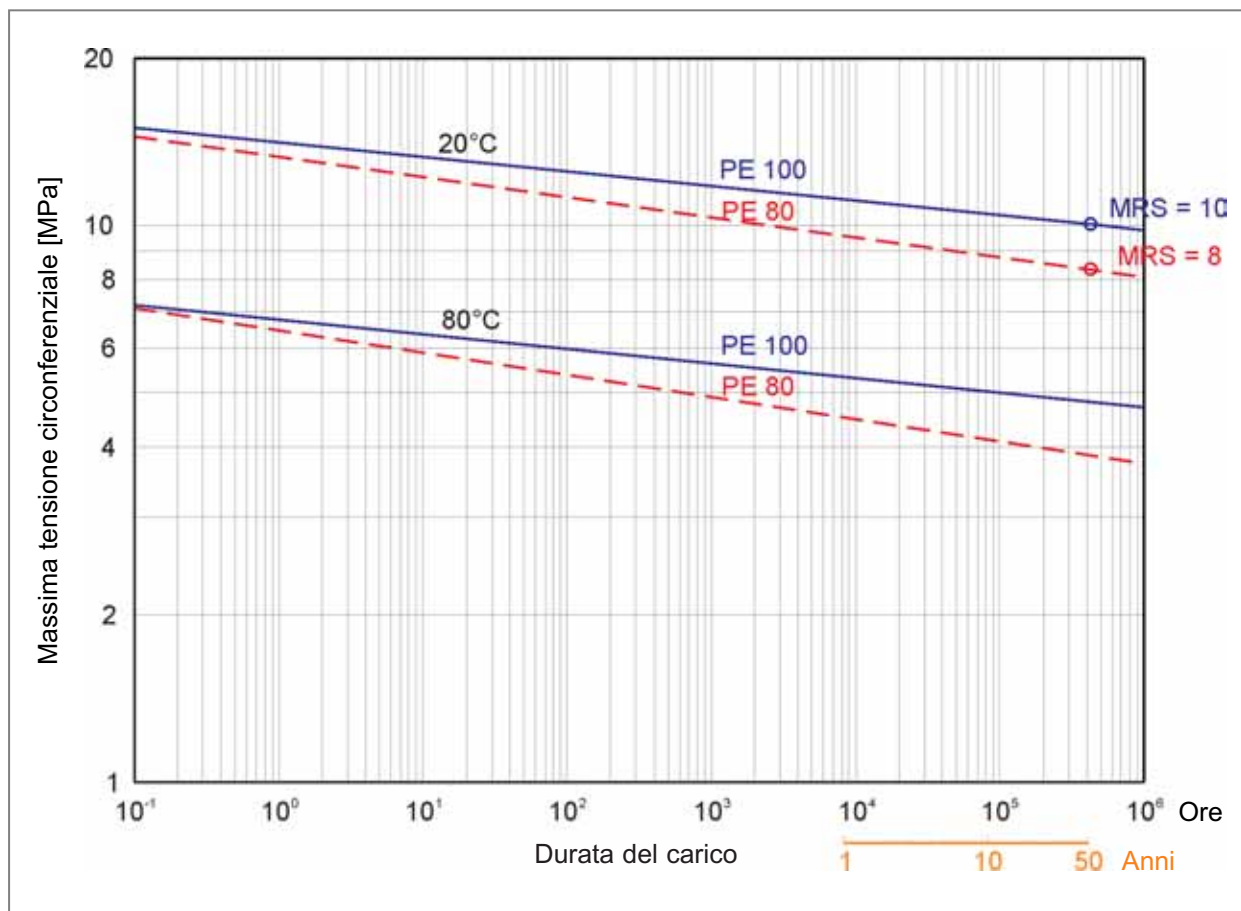
$$\sigma = \frac{P \cdot (De - s)}{20 \cdot s} \quad [6.2]$$

Questa sollecitazione non deve superare un determinato valore che è funzione del tipo di polietilene impiegato, tale valore è indicato con σ_D ed è la tensione circonferenziale di progetto (design stress).

I polietilene impiegati per la produzione di tubi vengono designati in funzione della massima tensione circonferenziale ammissibile MRS (minimum required strength), espressa in megapascal [MPa], il cui valore è estrapolato per una durata di 50 anni in esercizio continuo ad una temperatura di 20°C.

Questo valore è ricavato dalle curve di regressione ottenute per interpolazione dei risultati di tests eseguiti a diversi livelli di pressione e a differenti temperature (diagramma 6.1). Dalle medesime curve si può osservare come le caratteristiche meccaniche del polietilene diminuiscano nel tempo e con l'aumentare della temperatura.

Diagramma 6.1. Tipiche curve di regressione del PE 80 e del PE 100



La tensione circonferenziale di progetto σ_D è determinata dal rapporto fra MRS ed un coefficiente di sicurezza C_s che è posto uguale a 1.25 nel caso di condotte per il trasporto dell'acqua. Nella tabella 6.1 è riportata la designazione dei principali polietileni utilizzati.

Tabella 6.1. Designazione dei polietileni per tubi

MRS [MPa]	Designazione	Tensione di progetto $\sigma_D = \text{MRS}/1.25$ [MPa]	Altra designazione comune
4.0	PE 40	3.2	Sigma 32
6.3	PE 63	5.0	Sigma 50
8.0	PE 80	6.3	Sigma 63
10.0	PE 100	8.0	Sigma 80

Il PE 40 è un polietilene impiegato per la realizzazione di tubi destinati al settore irrigazione prodotti in conformità alla norma UNI 7990. Il PE 63 che fino a qualche anno fa veniva utilizzato per i tubi per fluidi in pressione e per gas combustibili è stato sostituito dai nuovi materiali quali il PE 80 ed il PE 100. Con il PE 80 si producono per gasdotti UNI ISO 4437, per scarico UNI 7613 e con il PE 80 ed il PE 100 tubi per il trasporto di fluidi in pressione in conformità alla norma UNI 10910.

Di seguito viene mostrato come procedere operativamente al calcolo dello spessore della parete dei tubi di polietilene. Esplicitando l'espressione 6.2 in funzione dello spessore e ponendo la pressione uguale a quella nominale e la sollecitazione circonferenziale uguale a quella di progetto si ottiene:

$$s = \frac{PN \cdot De}{20 \cdot \sigma_D + PN} \quad [6.3]$$

Le classi di pressione nominale normalmente adottate per i tubi di polietilene sono PN 3.2, PN 5, PN 6.3, PN 8, PN 10, PN 12.5, PN 16, PN 20 e PN 25 (in relazione al tipo di polietilene impiegato).

Inserendo i valori delle varie classi di pressione e le sollecitazioni di progetto per i diversi polietileni si ricava una tabella che consente il calcolo rapido degli spessori di parete dei tubi.

Tabella 6.2. Spessore dei tubi di polietilene in funzione del diametro esterno

PN [bar]	PE 40 $\sigma_D = 3.2 \text{ MPa}$	PE 63 $\sigma_D = 5.0 \text{ MPa}$	PE 80 $\sigma_D = 6.4 \text{ MPa}$	PE 100 $\sigma_D = 8.0 \text{ MPa}$
3.2		De/33	De/41	De/51
4	De/17	De/26	De/33	De/41
5	De/13.6	De/21	De/26	De/33
6	De/11.6	De/17.6	De/22	De/27.6
6.3				De/26
8			De/17	De/21
10	De/7.4	De/11	De/13.6	De/17
12.5			De/11	De/13.6
16		De/7.4	De/9	De/11
20			De/7.4	De/9
25			De/6	De/7.4

Il valore che divide De rappresenta il rapporto De/s chiamato SDR (standard dimension ratio) ed è impiegato per la classificazione dei tubi di polietilene così come la serie S. La relazione tra la serie S ed SDR è la seguente:

$$SDR = \frac{De}{s} = 2 \cdot S + 1 \quad [6.4]$$

Esplicitando l'espressione 6.2 in funzione della pressione si può calcolare la pressione massima di esercizio $P_{e,max}$ [bar] una volta definite le caratteristiche geometriche del tubo e la sollecitazione ammessa. Infatti noti il diametro esterno De [mm] e lo spessore s [mm] del tubo e stabilita la sollecitazione circonferenziale σ [MPa], quest'ultima funzione della temperatura di esercizio e della durata richiesta, si ha che:

$$P_{e,max} = \frac{20 \cdot \sigma}{\frac{De}{s} - 1} \quad [6.5]$$

che può essere riscritta, con l'impiego delle definizioni sopra viste, nel modo seguente:

$$P_{e,max} = \frac{20 \cdot \sigma}{SDR - 1} = \frac{10 \cdot \sigma}{S} \quad [6.6]$$

Esempio

Si voglia dimensionare lo spessore della parete di un tubo di diametro esterno 125 mm per il trasporto di acqua con una pressione massima di 16 bar. In tabella 6.3 si vede come aumentando le prestazioni del polietilene impiegato si riducono gli spessori di parete dei tubi (formula 6.3) mantenendo inalterata la pressione nominale.

Tabella 6.3. Spessori di parete, SDR ed S di un tubo De 125 mm, PN 16 prodotto con diversi tipi di polietilene. Fattore di sicurezza $C_s = 1.25$ secondo UNI 10910

Polietilene	MRS [MPa]	Tensione di progetto σ_D [MPa]	Spessore di parete s [mm]	Standard Dimension Ratio SDR	Serie S
PE 63	6.3	5.0	17.1	7.4	3.2
PE 80	8.0	6.4	14.0	9	4.0
PE 100	10.0	8.0	11.4	11	5.0

Nota. I valori indicati in tabella possono discostare da quelli di norma in seguito agli arrotondamenti imposti dalla norma stessa.

Chiarimenti: PE, MRS e Sigma

Il PE 80 è un materiale avente MRS (minimum required strength) di 8 MPa che è il valore della tensione circonferenziale massima ammissibile per una durata in esercizio continuo di 50 anni a 20°C.

Il PE 100 ha un valore della tensione circonferenziale massima ammissibile più elevato e pari a 10 MPa.

Il PE 100 ha quindi caratteristiche meccaniche superiori e consente quindi di produrre tubi con pressioni nominali più elevate (fino a 25 bar) o con spessori ridotti.

MRS è il sistema di classificazione delle resine per tubi basato, come già accennato, sulla massima tensione circonferenziale ammissibile per una durata in esercizio continuo di 50 anni a 20°C.

Il valore espresso in MegaPascal è ottenuto dalle curve di regressione tracciate mediante tests di pressione effettuati a diversi livelli di temperatura.

Dai valori di MRS deriva quindi la designazione dei polietileni: il polietilene avente MRS = 6.3 ha designazione PE 63, il polietilene avente MRS = 8.0 ha designazione PE 80 e così il polietilene con MRS = 10.0 è il PE 100.

Con sigma si indica generalmente la tensione circonferenziale che si viene a generare nella parete del tubo quando questo viene sottoposto a pressione interna. Il valore di sigma dipende dalla geometria del tubo (diametro e spessore) e dall'intensità della pressione.

E' abitudine comune ma non corretta utilizzare come designazione dei polietileni un particolare valore di sigma, quello impiegato per il dimensionamento del tubo (design stress). Si tende spesso nella pratica ad identificare il PE 63 con Sigma 50, il PE 80 con Sigma 64 ed il PE 100 con Sigma 80 ma in realtà la designazione corretta dei polietileni è quella specificata in precedenza.

La designazione dei tubi al contrario deve essere effettuata specificando la classe del polietilene impiegato e la sigma di progetto.

La sigma di progetto (design stress) è data dal rapporto fra MRS ed un coefficiente di sicurezza C_s che tiene conto della variabilità delle condizioni di impiego del tubo. Questo coefficiente può assumere un valore minimo di 1.25 nel caso di acquedotti.

Un esempio. Il tubo per acquedotti UNI 10910 viene dimensionato con una sigma di progetto di 8 MPa impiegando il PE 100, allora l'identificazione di questa tipologia di tubo è: PE 100 - Sigma 80. In questo caso il fattore di sicurezza impiegato è $C_s = 1.25$.

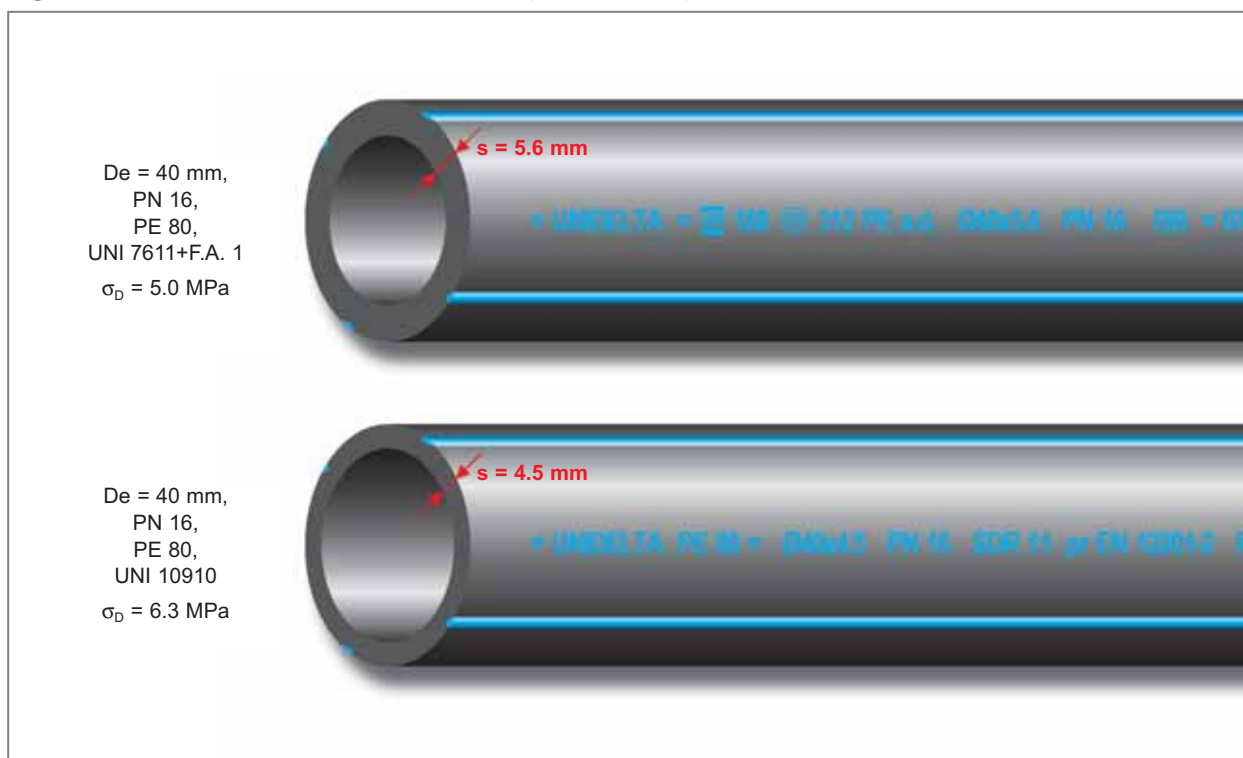
E' quindi evidente come, nella identificazione dei tubi, sia indispensabile indicare la classe di materiale impiegata e la sollecitazione di progetto scelta.

La situazione italiana relativa ai tubi di polietilene per acquedotto

La normativa vigente in Italia fino all'ottobre 2001 che regolamentava la produzione dei tubi di polietilene per fluidi in pressione era la UNI 7611+F.A.1. Tale norma, che fu emanata nel 1976 e che fu soggetta ad aggiornamento nel 1991, risultava essere piuttosto datata soprattutto se si considerano le caratteristiche dei materiali che sono oggi disponibili sul mercato. Tale norma prevedeva l'utilizzo di un PE 63 e stabiliva una sollecitazione di progetto di 5.0 MPa non considerando i polietileni di nuova generazione, il PE 80 e il PE 100.

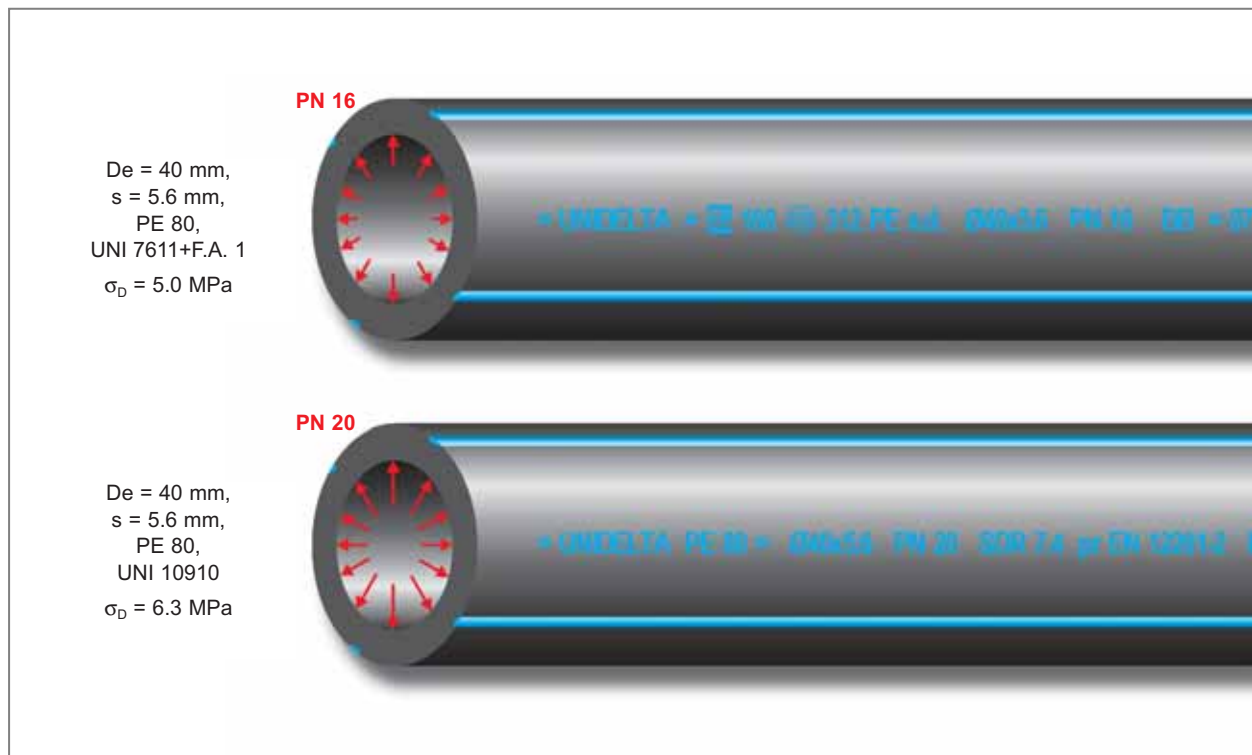
In Italia fino all'ottobre 2001 i tubi di polietilene erano prodotti in conformità alla norma sopracitata quindi con una sollecitazione massima ammissibile $\sigma_D = 5.0$ MPa ma impiegando un PE 80 ($MRS = 8$ MPa). Questo significa che il coefficiente di sicurezza era pari a $C_s = MRS/\sigma_D = 8.0/5.0 = 1.6$ anziché $C_s = 1.25$. I tubi erano quindi sovradimensionati nello spessore rispetto all'impiego che devono svolgere e rispetto alle caratteristiche meccaniche del materiale dal 18% al 20% in relazione al diametro.

Figura 6.3. Confronto fra norme: tubo PE 80, De = 40 mm, PN 16.



La UNI 10910 prevede l'impiego sia del PE 80 che del PE 100 con sollecitazioni di progetto di $\sigma_D = 6.3$ MPa e $\sigma_D = 8.0$ MPa rispettivamente assumendo un coefficiente di sicurezza $C_s = 1.25$. Questo comporta la possibilità di ridurre gli spessori dei tubi a parità di pressione nominale o, da un altro punto di vista, consente una riclassificazione delle pressioni nominali in quanto a parità di spessore di parete si può incrementare la pressione nominale del 25%, passando da 10 bar a 12.5 bar e da 16 bar a 20 bar.

Figura 6.4. Confronto fra norme: tubo PE 80, De = 40 mm, s = 5.6 mm.



La normativa UNI 10910, prendendo in considerazione i materiali di nuova generazione, consente di allargare il campo di produzione delle tubazioni verso diametri e pressioni nominali più elevate. Le caratteristiche meccaniche del PE 100, per esempio, permettono di aumentare la classe di pressione fino a 25 bar andando ad interessare settori di impiego fino ad ora preclusi. La possibilità di ridurre gli spessori consente di estendere verso diametri più elevati il limite di estrudibilità rendendo meno difficoltosa l'estrusione di tubazioni di grosso diametro (fino a 1600 mm).

I vantaggi nell'utilizzo dei tubi prodotti secondo la norma UNI 10910 sono mostrati nell'esempio di tabella 6.4 dove viene preso in considerazione un tubo De 110 mm e PN 16 realizzato di PE 80, secondo la norma UNI 7611+F.A. 1, di PE 80 secondo UNI 10910 e di PE 100 secondo UNI 10910.

Passando dal tubo PE 80 secondo norma UNI 7611+F.A. 1 al tubo PE 100 secondo la norma UNI 10910 si hanno diametri interni D_i più elevati e quindi sezioni di passaggio A_u più ampie. In questo modo a parità di portata richiesta Q , nell'esempio è 10 l/s, si riducono le velocità del flusso v e le perdite di carico Δp .

Tabelle 6.4. Confronto: tubo De 110 mm, PN 16, portata 10 l/s.

Tipo di condotta	Diametro interno Di [mm]	Spessore s [mm]	SDR	Sezione Au [cm ²]	Velocità v [m/s]	perdita di carico Δp [bar/km]
PE 80 UNI 7611+F.A.1	79.6	15.2	7.4	49.76	2.01	4.36
PE 80 UNI 10910	85.4	12.3	9.0	57.28 (+15%)	1.75	3.10 (-29%)
PE 100 UNI 10910	90.0	10.0	11.0	63.62 (+28%)	1.57	2.39 (-45%)

Queste considerazioni portano a notevoli vantaggi economici nel dimensionamento idraulico delle condotte. È evidente, dalla tabella 6.5, come sia possibile utilizzare una categoria di diametri inferiore passando da un tubo di PE 80 secondo UNI 7611+F.A.1 ad un tubo di PE 100 secondo UNI 10910 avendo diametri interni Di e quindi sezioni di passaggio Au in taluni casi molto simili.

Tabella 6.5. Confronto fra tubi PN 16 realizzati in PE 80 e in PE 100

Diametro esterno De [mm]	Diametro interno Di [mm]	
	PE 80 UNI 7611+F.A.1	PE 100 UNI 10910
200	145.2	163.6
225	163.4	184.0
250	181.6	204.6
315	203.4	229.2
355	228.8	257.8

7. Tubi Unidelta di Polietilene Bassa Densità PE 40 per fluidi in pressione secondo UNI 7990

I tubi Unidelta di polietilene bassa densità UNI 7990 (Tipo 312) sono destinati al convogliamento di fluidi in pressione con temperature fino a 60°C. Sono adatti al convogliamento di fluidi non alimentari, di liquidi alimentari e di acqua potabile o da potabilizzare per la quale rispondono alle prescrizioni igienico-sanitarie della Circolare Ministeriale n°102/3990 del 02/12/1978 del Ministero della Sanità. Per le elevate caratteristiche di elasticità e flessibilità questi tubi sono largamente impiegati per la realizzazione di impianti di irrigazione.



Requisiti fisico-meccanici

I requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene bassa densità UNI 7990 sono esposti nella tabella seguente.

Tabella 7.1. Requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene bassa densità PE 40 UNI 7990

Requisito	Unità	Valore	Metodo
Indice di fluidità a 190°C peso 2.16 kg (MFR 190/2.16)	g/10·min	0.48÷0.52	ISO 1133
Tensioni interne sulla lunghezza	%	≤3	UNI 7991
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 8.0$ MPa, 20°C, >1 ora)	ore	>1	UNI 7991
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 3.0$ MPa, 70°C, >100 ore)	ore	>100	UNI 7991
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 2.0$ MPa, 80°C, >1000 ore)	ore	>1000	UNI EN 921
Contenuto di nero fumo	%	2÷2.5	ISO 6964

Condizioni di impiego

I tubi Unidelta di polietilene bassa densità UNI 7990 sono dimensionati con una sollecitazione di progetto di 3.2 MPa ($C_s = 1.25$) per una temperatura di esercizio di 20°C. Per temperature operative superiori a 20°C si considerino le pressioni massime indicate in tabella 7.2. All'aumentare della temperatura del fluido la pressione massima consentita diminuisce progressivamente rispetto alla pressione nominale. Per temperature inferiori a 20°C la pressione massima di esercizio coincide con la pressione nominale.

Tabella 7.2. Condizioni di impiego secondo UNI 7990

Temperatura del fluido	Pressione massima di esercizio [bar]		
	PN 4	PN 6	PN 10
≤20	4.0	6.0	10.0
30	2.5	4.0	6.0
40	1.6	2.5	4.0
50	1.0	1.6	2.5
60	0.6	1.0	1.6

Caratteristiche dimensionali

Le caratteristiche dimensionali dei tubi Unidelta di polietilene bassa densità UNI 7990 sono esposti nelle tabelle seguenti.

Tabella 7.3. Tubo Unidelta PN4 (SDR 17) di polietilene bassa densità PE 40 secondo UNI 7990

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]
16 ^{+0.3} ₀	1.4 ^{+0.4} ₀	13.2	0.64	1.37	1.727·10 ⁻¹	0.0680	0.137	500
20 ^{+0.3} ₀	1.6 ^{+0.4} ₀	16.8	0.92	2.22	3.944·10 ⁻¹	0.0965	0.222	200
25 ^{+0.3} ₀	1.7 ^{+0.4} ₀	21.6	1.24	3.66	8.490·10 ⁻¹	0.129	0.366	200
32 ^{+0.3} ₀	1.9 ^{+0.4} ₀	28.2	1.80	6.25	2.043·10 ⁰	0.184	0.625	200
40 ^{+0.4} ₀	2.4 ^{+0.5} ₀	35.2	2.83	9.73	5.030·10 ⁰	0.291	0.973	100
50 ^{+0.5} ₀	3.0 ^{+0.5} ₀	44.0	4.43	15.21	1.228·10 ¹	0.446	1.52	100
63 ^{+0.6} ₀	3.7 ^{+0.6} ₀	55.6	6.89	24.28	3.042·10 ¹	0.693	2.43	100
75 ^{+0.7} ₀	4.5 ^{+0.7} ₀	66.0	9.97	34.21	6.217·10 ¹	0.999	3.42	100
90 ^{+0.9} ₀	5.3 ^{+0.8} ₀	79.4	14.10	49.51	1.270·10 ²	1.41	4.95	100
110 ^{+1.0} ₀	6.5 ^{+0.9} ₀	97.0	21.14	73.90	2.841·10 ²	2.10	7.39	50

Non esiste norma su questo diametro (tubo non contrassegnato da marchio)

Tabella 7.4. Tubo Unidelta PN6 (SDR 11.6) di polietilene bassa densità PE 40 secondo UNI 7990

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]
16 ^{+0.3} ₀	1.6 ^{+0.4} ₀	12.8	0.72	1.29	1.899·10 ⁻¹	0.0755	0.129	500
20 ^{+0.3} ₀	1.7 ^{+0.4} ₀	16.6	0.98	2.16	4.127·10 ⁻¹	0.101	0.216	200
25 ^{+0.3} ₀	2.2 ^{+0.5} ₀	20.6	1.58	3.33	1.034·10 ⁰	0.162	0.333	100
32 ^{+0.3} ₀	2.8 ^{+0.5} ₀	26.4	2.57	5.47	2.763·10 ⁰	0.259	0.547	100
40 ^{+0.4} ₀	3.5 ^{+0.6} ₀	33.0	4.01	8.55	6.745·10 ⁰	0.404	0.855	100
50 ^{+0.5} ₀	4.3 ^{+0.7} ₀	41.4	6.17	13.46	1.626·10 ¹	0.620	1.35	100
63 ^{+0.6} ₀	5.4 ^{+0.8} ₀	52.2	9.77	21.40	4.088·10 ¹	0.974	2.14	100
75 ^{+0.7} ₀	6.5 ^{+0.9} ₀	62.0	13.99	30.19	8.278·10 ¹	1.39	3.02	100
90 ^{+0.9} ₀	7.8 ^{+1.0} ₀	74.4	20.14	43.47	1.717·10 ²	1.99	4.35	100
110 ^{+1.0} ₀	9.5 ^{+1.2} ₀	91.0	29.99	65.04	3.821·10 ²	2.96	6.50	50

Tabella 7.5. Tubo Unidelta PN10 (SDR 7.4) di polietilene bassa densità PE 40 secondo UNI 7990

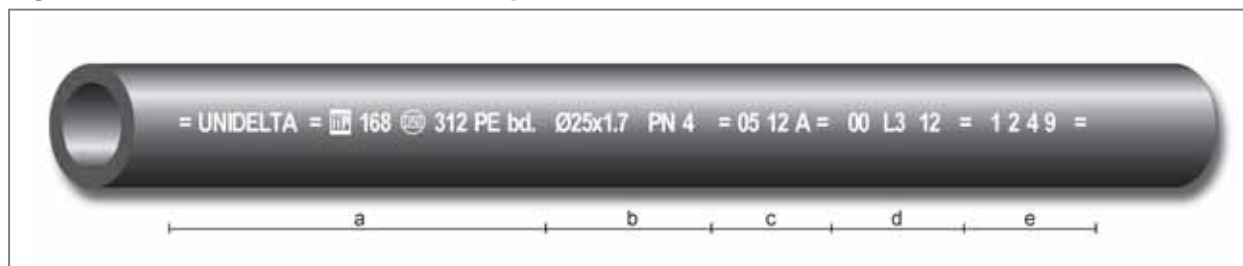
De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]
16 ^{+0.3} ₀	2.2 ^{+0.5} ₀	11.6	0.95	1.06	2.328·10 ⁻¹	0.0981	0.106	200
20 ^{+0.3} ₀	2.7 ^{+0.5} ₀	14.6	1.47	1.67	5.624·10 ⁻¹	0.148	0.167	100
25 ^{+0.3} ₀	3.4 ^{+0.6} ₀	18.2	2.31	2.60	1.379·10 ⁰	0.232	0.260	100
32 ^{+0.3} ₀	4.4 ^{+0.7} ₀	23.2	3.82	4.23	3.725·10 ⁰	0.380	0.423	100
40 ^{+0.4} ₀	5.4 ^{+0.8} ₀	29.2	5.87	6.70	8.998·10 ⁰	0.583	0.670	100
50 ^{+0.5} ₀	6.8 ^{+0.9} ₀	36.4	9.23	10.41	2.206·10 ¹	0.911	1.04	100
63 ^{+0.6} ₀	8.6 ^{+1.1} ₀	45.8	14.70	16.47	5.573·10 ¹	1.45	1.65	50/100
75 ^{+0.7} ₀	10.2 ^{+1.3} ₀	54.6	20.76	23.41	1.117·10 ²	2.04	2.34	50/100
90 ^{+0.9} ₀	12.2 ^{+1.5} ₀	65.6	29.82	33.80	2.312·10 ²	2.93	3.38	50/100
110 ^{+1.0} ₀	14.9 ^{+1.7} ₀	80.2	44.52	50.52	5.156·10 ²	4.36	5.05	50

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad un asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Rotoli = Lunghezza dei tubi forniti in rotolo.

Marcatura

La marcatura dei tubi Unidelta di polietilene bassa densità UNI 7990 viene effettuata su ogni metro riportando tutte le informazioni relative alle caratteristiche dimensionali e di impiego del tubo nonché i dati necessari alla rintracciabilità del prodotto (figura 7.1).

Figura 7.1. Marcatura dei tubi Unidelta di polietilene bassa densità UNI 7990



La marcatura contiene le seguenti informazioni (i valori riportati sono di esempio):

- (a) Tubo Unidelta a marchio IIP n°168, tipo 312 secondo norma UNI 7990, prodotto in polietilene bassa densità, adatto al convogliamento di fluidi in pressione.
- (b) Diametro esterno 25 mm, spessore 1.7 mm, pressione nominale 4 bar.
- (c) 05 è il giorno di produzione, 12 è il mese di produzione, A è uno dei tre turni di produzione (A, B, C).
- (d) 00 è l'anno di produzione, L3 è la linea di estrusione sulla quale è stato prodotto il tubo, 12 identifica l'operatore addetto all'estrusione durante la produzione del tubo.
- (e) 1249 è il numero di lotto.

Perdite di carico

Nei diagrammi 7.1, 7.2 e 7.3 sono state tracciate le curve delle perdite di carico per il trasporto di acqua alla temperatura di 10°C dei tubi Unidelta prodotti in conformità alla norma UNI 7990. Per maggiori dettagli ed esempi di utilizzo delle curve fare riferimento al capitolo 10.

Diagramma 7.1. Tubi Unidelta PN4 (SDR 17) di polietilene bassa densità PE 40 secondo UNI 7990.
Perdite di carico con acqua a 10°C.

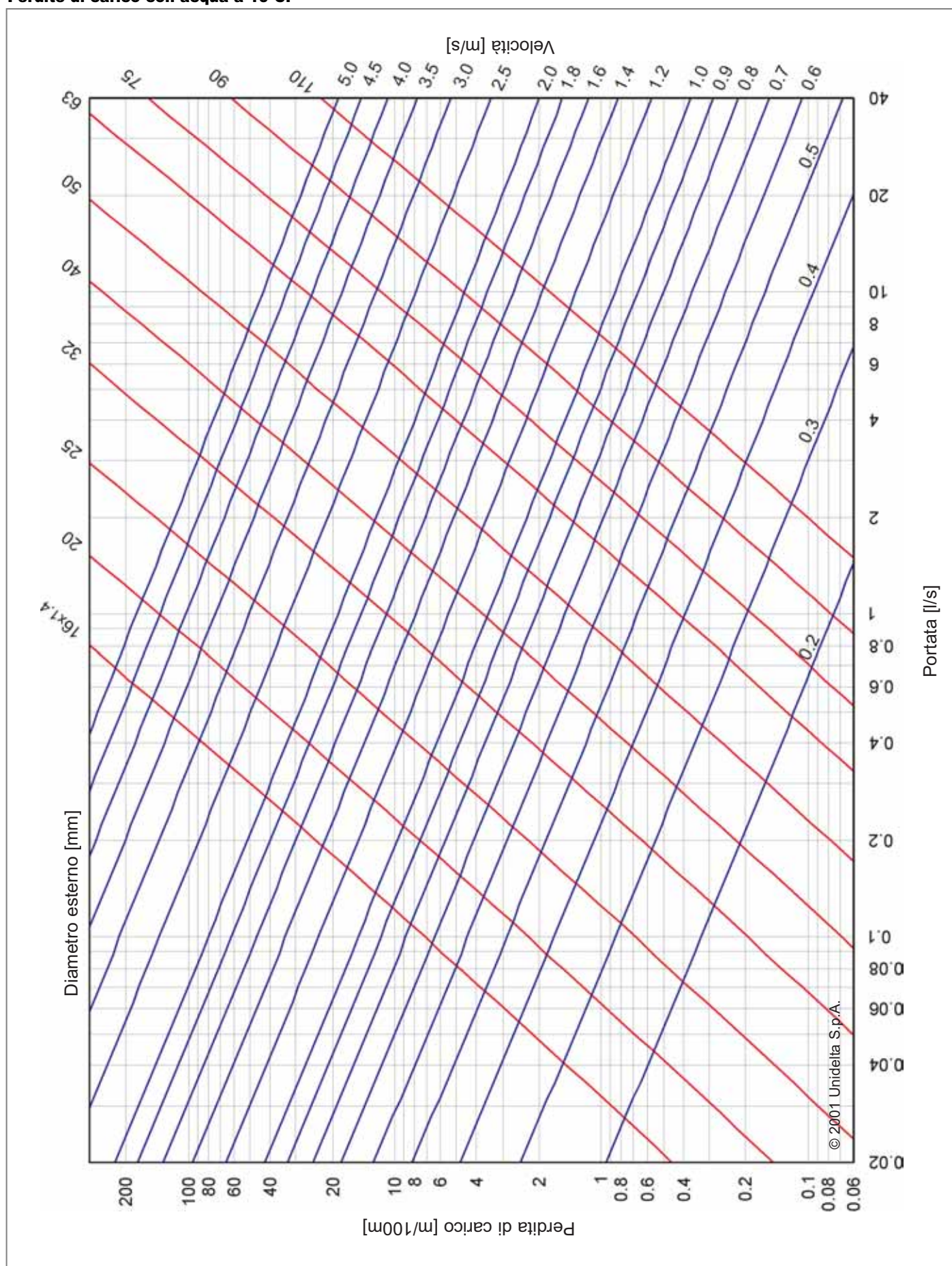


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm.

Diagramma 7.2. Tubi Unidelta PN6 (SDR 11.6) di polietilene bassa densità PE 40 secondo UNI 7990. Perdite di carico con acqua a 10°C.

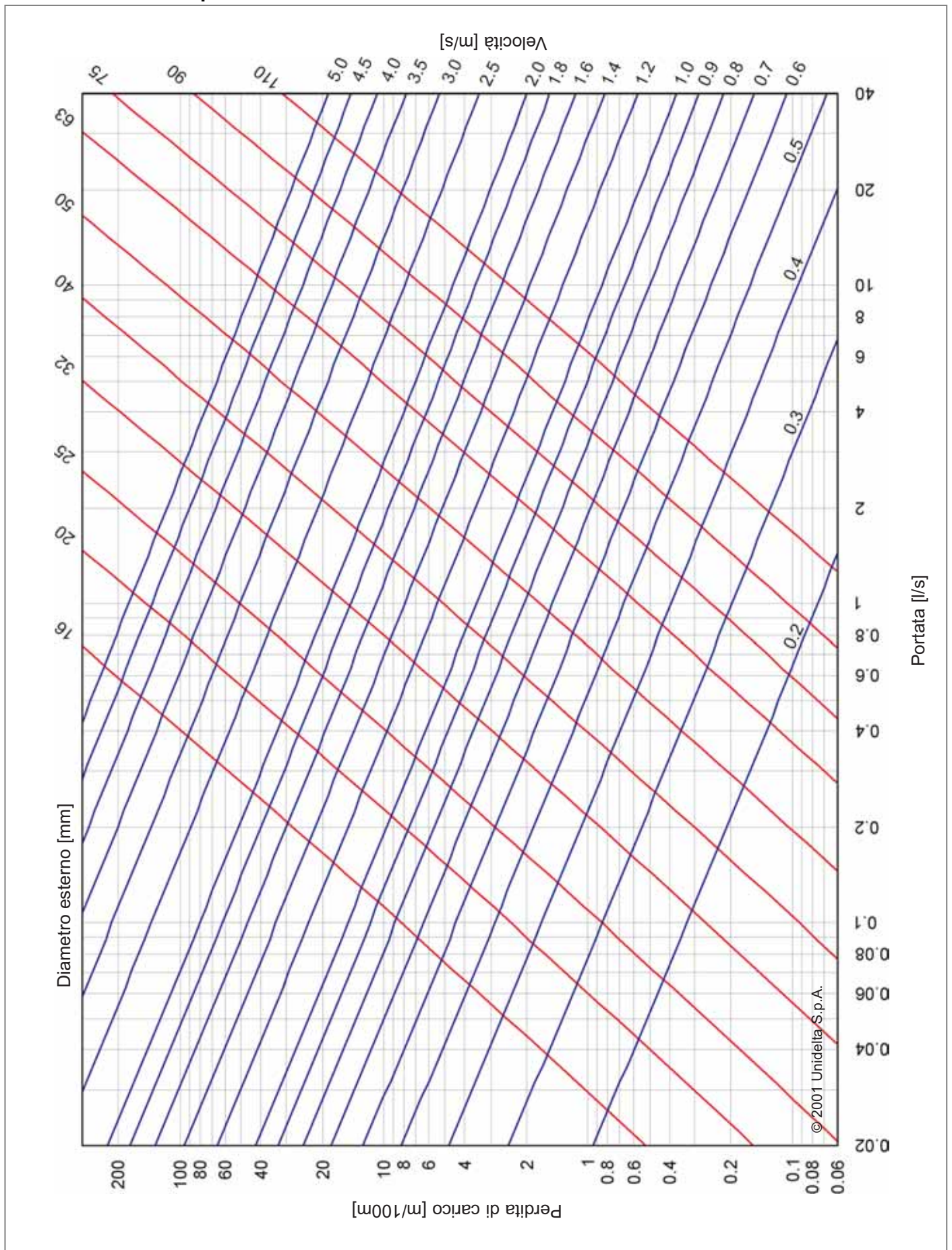


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm.

Diagramma 7.3. Tubi Unidelta PN10 (SDR 7.4) di polietilene bassa densità PE 40 secondo UNI 7990.
Perdite di carico con acqua a 10°C.

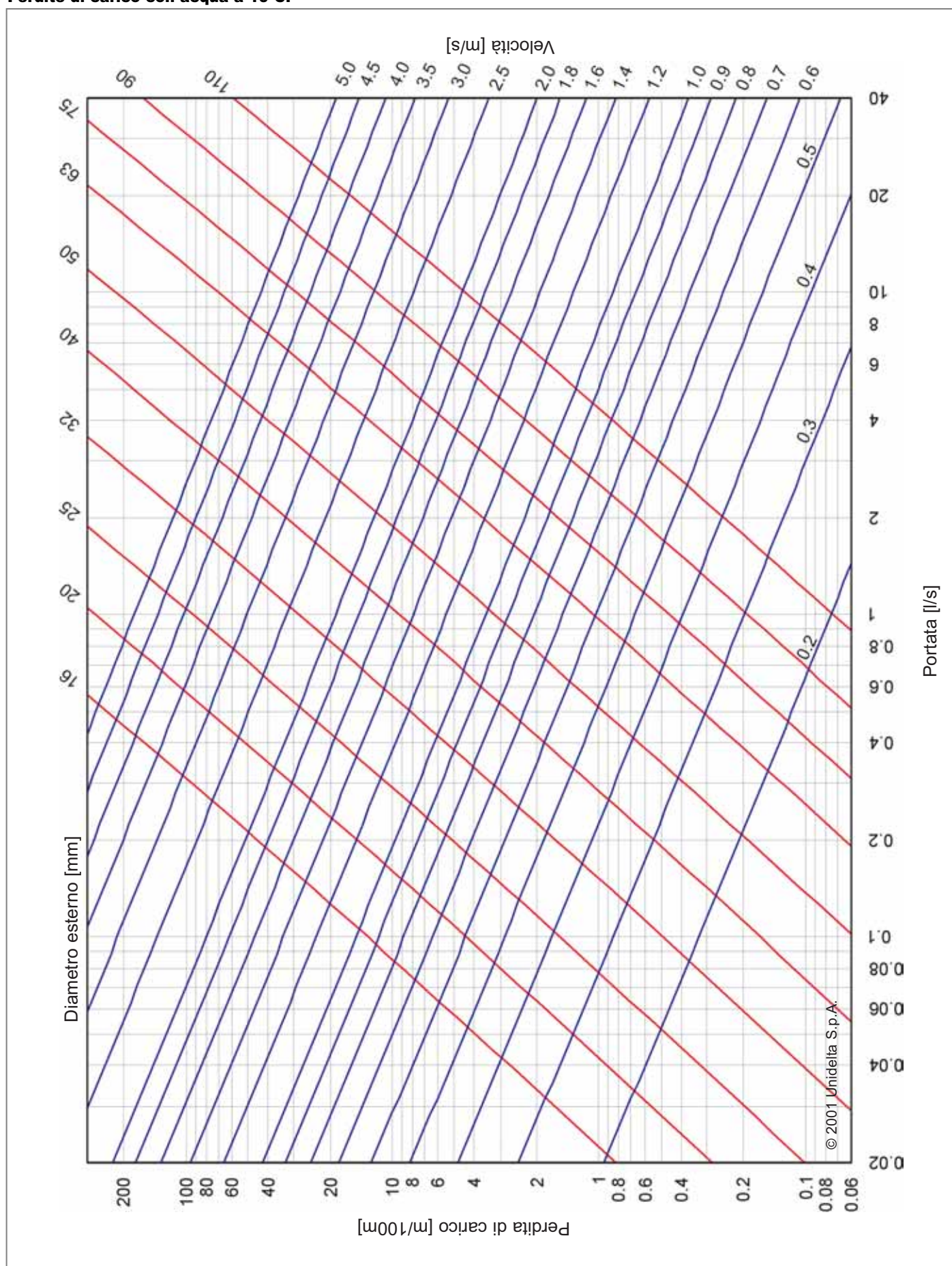


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm.

8. Tubi Unidelta di Polietilene Alta Densità PE 80 per fluidi in pressione secondo UNI 10910

I tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 10910 sono destinati al convogliamento di fluidi in pressione con temperature fino a 40°C. Sono adatti al convogliamento di fluidi non alimentari, di liquidi alimentari e di acqua potabile o da potabilizzare per la quale rispondono alle prescrizioni igienico-sanitarie della Circolare Ministeriale n°102/3990 del 02/12/1978 del Ministero della Sanità.



Certificazione di prodotto UNI 10910:
fino al 630 mm, classi di pressione PN 5,
PN 8, PN 12.5 e PN 20.



Certificazione di prodotto:
dal diametro 20 mm al 250 mm,
SDR 17, SDR 11 e SDR 7.4.

Requisiti fisico-meccanici

I requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 10910 sono esposti nella tabella seguente.

Tabella 8.1. Requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 80 UNI 10910

Requisito	Unità	Valore	Metodo
Aspetto superficiale	-	-	UNI 10910
Caratteristiche geometriche	-	-	pr EN ISO 3126
Indice di fluidità a 190°C peso 5 kg (MFR 190/5)	-	Variazione a seguito di lavorazione inferiore al 20%	ISO 1133
Tempo di induzione all'ossidazione	min	≥20	EN 728
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 10$ MPa, 20°C, >100 ore)	ore	>100	UNI EN 921
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 4.6$ MPa, 80°C, >165 ore)	ore	>170	UNI EN 921
Allungamento a rottura	%	≥350	ISO 6259

Condizioni di impiego

I tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 10910 sono dimensionati con una sollecitazione di progetto di 6.4 MPa ($C_s = 1.25$) per una temperatura di esercizio di 20°C. Per temperature operative superiori a 20°C si considerino le pressioni massime di tabella 8.2. All'aumentare della temperatura del fluido la pressione massima consentita diminuisce progressivamente rispetto alla pressione nominale. Per temperature inferiori a 20°C la pressione massima di esercizio coincide con la pressione nominale.

Tabella 8.2. Condizioni di impiego secondo UNI 10910

Temperatura del fluido	Pressione massima di esercizio [bar]			
	PN 5	PN 8	PN 12.5	PN 20
≤20	5.0	8.0	12.5	20.0
30	4.3	6.9	10.8	17.4
40	3.7	5.9	9.2	14.8

Caratteristiche dimensionali

Di seguito le caratteristiche dimensionali dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 10910.

Tabella 8.3. Tubo Unidelta PN5 (SDR 26) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90 ^{+0.6} ₀	3.5 ^{+0.5} ₀	83.0	9.51	54.11	8.910·10 ¹	0.973	5.41	n/d	6/12
110 ^{+0.7} ₀	4.2 ^{+0.6} ₀	101.6	13.96	81.07	1.956·10 ²	1.43	8.11	n/d	6/12
125 ^{+0.8} ₀	4.8 ^{+0.6} ₀	115.4	18.13	104.59	3.279·10 ²	1.84	10.46	n/d	6/12
140 ^{+0.9} ₀	5.4 ^{+0.7} ₀	129.2	22.83	131.10	5.179·10 ²	2.32	13.11	n/d	6/12
160 ^{+1.0} ₀	6.2 ^{+0.8} ₀	147.6	29.96	171.10	8.872·10 ²	3.04	17.11	n/d	6/12
180 ^{+1.1} ₀	6.9 ^{+0.8} ₀	166.2	37.52	216.95	1.408·10 ³	3.79	21.69	n/d	6/12
200 ^{+1.2} ₀	7.7 ^{+0.9} ₀	184.6	46.52	267.64	2.154·10 ³	4.70	26.76	n/d	6/12
225 ^{+1.4} ₀	8.6 ^{+1.0} ₀	207.8	58.47	339.14	3.428·10 ³	5.91	33.91	n/d	6/12
250 ^{+1.5} ₀	9.6 ^{+1.1} ₀	230.8	72.50	418.37	5.246·10 ³	7.32	41.84	n/d	6/12
280 ^{+1.7} ₀	10.7 ^{+1.2} ₀	258.6	90.53	525.23	8.219·10 ³	9.13	52.52	n/d	6/12
315 ^{+1.9} ₀	12.1 ^{+1.4} ₀	290.8	115.14	664.17	1.323·10 ⁴	11.63	66.42	n/d	6/12
355 ^{+2.2} ₀	13.6 ^{+1.5} ₀	327.8	145.87	843.93	2.129·10 ⁴	14.70	84.39	n/d	6/12
400 ^{+2.4} ₀	15.3 ^{+1.7} ₀	369.4	184.91	1071.73	3.426·10 ⁴	18.64	107.17	n/d	6/12
450 ^{+2.7} ₀	17.2 ^{+1.9} ₀	415.6	233.87	1356.57	5.484·10 ⁴	23.56	135.66	n/d	6/12
500 ^{+3.0} ₀	19.1 ^{+2.1} ₀	461.8	288.56	1674.93	8.355·10 ⁴	29.07	167.49	n/d	6/12
560 ^{+3.4} ₀	21.4 ^{+2.3} ₀	517.2	362.10	2100.91	1.315·10 ⁵	36.44	210.09	n/d	6/12
630 ^{+3.8} ₀	24.1 ^{+2.6} ₀	581.8	458.74	2658.50	2.108·10 ⁵	46.17	265.85	n/d	6/12

Tabella 8.4. Tubo Unidelta PN8 (SDR 17) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
• 20 ^{+0.3} ₀	1.6 ^{+0.3} ₀	16.8	0.92	2.22	3.944·10 ⁻¹	0.097	0.222	100	n/d
• 25 ^{+0.3} ₀	1.6 ^{+0.3} ₀	21.8	1.18	3.73	8.088·10 ⁻¹	0.123	0.373	100	n/d
◦ 32 ^{+0.3} ₀	2.0 ^{+0.3} ₀	28.0	1.88	6.16	2.130·10 ⁰	0.193	0.616	100	n/d
◦ 40 ^{+0.4} ₀	2.4 ^{+0.4} ₀	35.2	2.83	9.73	5.030·10 ⁰	0.293	0.973	100	n/d
50 ^{+0.4} ₀	3.0 ^{+0.4} ₀	44.0	4.43	15.21	1.228·10 ¹	0.451	1.52	100	n/d
63 ^{+0.4} ₀	3.8 ^{+0.5} ₀	55.4	7.07	24.11	3.109·10 ¹	0.718	2.41	100	n/d
75 ^{+0.5} ₀	4.5 ^{+0.6} ₀	66.0	9.97	34.21	6.217·10 ¹	1.01	3.42	50/100	n/d
90 ^{+0.6} ₀	5.4 ^{+0.7} ₀	79.2	14.35	49.27	1.289·10 ²	1.46	4.93	50/100	n/d
110 ^{+0.7} ₀	6.6 ^{+0.8} ₀	96.8	21.44	73.59	2.877·10 ²	2.17	7.36	50	6/12
125 ^{+0.8} ₀	7.4 ^{+0.9} ₀	110.2	27.34	95.38	4.745·10 ²	2.77	9.54	n/d	6/12
140 ^{+0.9} ₀	8.3 ^{+1.0} ₀	123.4	34.34	119.60	7.475·10 ²	3.47	11.96	n/d	6/12
160 ^{+1.0} ₀	9.5 ^{+1.1} ₀	141.0	44.92	156.15	1.277·10 ³	4.53	15.61	n/d	6/12
180 ^{+1.1} ₀	10.7 ^{+1.2} ₀	158.6	56.91	197.56	2.047·10 ³	5.73	19.76	n/d	6/12
200 ^{+1.2} ₀	11.9 ^{+1.3} ₀	176.2	70.32	243.84	3.123·10 ³	7.07	24.38	n/d	6/12
225 ^{+1.4} ₀	13.4 ^{+1.5} ₀	198.2	89.08	308.53	5.006·10 ³	8.97	30.85	n/d	6/12
250 ^{+1.5} ₀	14.8 ^{+1.6} ₀	220.4	109.36	381.52	7.592·10 ³	10.99	38.15	n/d	6/12
280 ^{+1.7} ₀	16.6 ^{+1.8} ₀	246.8	137.36	478.39	1.196·10 ⁴	13.81	47.84	n/d	6/12
315 ^{+1.9} ₀	18.7 ^{+2.0} ₀	277.6	174.07	605.24	1.918·10 ⁴	17.49	60.52	n/d	6/12
355 ^{+2.2} ₀	21.1 ^{+2.3} ₀	312.8	221.33	768.46	3.097·10 ⁴	22.26	76.85	n/d	6/12
400 ^{+2.4} ₀	23.7 ^{+2.5} ₀	352.6	280.18	976.46	4.979·10 ⁴	28.13	97.65	n/d	6/12
450 ^{+2.7} ₀	26.7 ^{+2.8} ₀	396.6	355.07	1235.37	7.984·10 ⁴	35.65	123.54	n/d	6/12
500 ^{+3.0} ₀	29.7 ^{+3.1} ₀	440.6	438.81	1524.68	1.218·10 ⁵	44.04	152.47	n/d	6/12
560 ^{+3.4} ₀	33.2 ^{+3.5} ₀	493.6	549.46	1913.55	1.914·10 ⁵	55.18	191.36	n/d	6/12
630 ^{+3.8} ₀	37.4 ^{+3.9} ₀	555.2	696.28	2420.97	3.069·10 ⁵	69.88	242.10	n/d	6/12

• Non esiste norma su questo diametro (tubo non contrassegnato da marchio)
◦ Diametro prodotto secondo progetto di norma europeo pr EN 12201 (non a marchio).

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Rotoli = Lunghezza dei tubi forniti in rotolo, Barre = Lunghezza dei tubi forniti in barre, n/d = Non disponibile nel formato specificato.

Tabella 8.5. Tubo Unidelta PN12.5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20 ^{+0.3} ₀	2.0 ^{+0.4} ₀	16.0	1.13	2.01	4.637·10 ⁻¹	0.116	0.201	100	n/d
25 ^{+0.3} ₀	2.3 ^{+0.5} ₀	20.4	1.64	3.27	1.067·10 ⁰	0.170	0.327	100	n/d
32 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.5} ₀	26.0	2.73	5.31	2.904·10 ⁰	0.278	0.531	100	6
40 ^{+0.4} ₀	3.7 ^{+0.6} ₀	32.6	4.22	8.35	7.022·10 ⁰	0.429	0.835	100	6
50 ^{+0.4} ₀	4.6 ^{+0.7} ₀	40.8	6.56	13.07	1.708·10 ¹	0.665	1.31	100	6
63 ^{+0.4} ₀	5.8 ^{+0.8} ₀	51.4	10.42	20.75	4.306·10 ¹	1.05	2.07	50/100	6
75 ^{+0.5} ₀	6.8 ^{+0.9} ₀	61.4	14.57	29.61	8.555·10 ¹	1.47	2.96	50/100	6
90 ^{+0.6} ₀	8.2 ^{+1.1} ₀	73.6	21.07	42.54	1.780·10 ²	2.13	4.25	50/100	6/12
110 ^{+0.7} ₀	10.0 ^{+1.3} ₀	90.0	31.42	63.62	3.966·10 ²	3.16	6.36	50	6/12
125 ^{+0.8} ₀	11.4 ^{+1.4} ₀	102.2	40.68	82.03	6.629·10 ²	4.09	8.20	n/d	6/12
140 ^{+0.9} ₀	12.7 ^{+1.5} ₀	114.6	50.79	103.15	1.039·10 ³	5.10	10.31	n/d	6/12
160 ^{+1.0} ₀	14.6 ^{+1.7} ₀	130.8	66.69	134.37	1.780·10 ³	6.70	13.44	n/d	6/12
180 ^{+1.1} ₀	16.4 ^{+1.9} ₀	147.2	84.29	170.18	2.848·10 ³	8.46	17.02	n/d	6/12
200 ^{+1.2} ₀	18.2 ^{+2.1} ₀	163.6	103.95	210.21	4.338·10 ³	10.44	21.02	n/d	6/12
225 ^{+1.4} ₀	20.5 ^{+2.3} ₀	184.0	131.70	265.90	6.954·10 ³	13.21	26.59	n/d	6/12
250 ^{+1.5} ₀	22.7 ^{+2.5} ₀	204.6	162.10	328.78	1.057·10 ⁴	16.25	32.88	n/d	6/12
280 ^{+1.7} ₀	25.4 ^{+2.8} ₀	229.2	203.16	412.59	1.663·10 ⁴	20.37	41.26	n/d	6/12
315 ^{+1.9} ₀	28.6 ^{+3.1} ₀	257.8	257.33	521.98	2.665·10 ⁴	25.79	52.20	n/d	6/12
355 ^{+2.2} ₀	32.2 ^{+3.5} ₀	290.6	326.54	663.26	4.296·10 ⁴	32.74	66.33	n/d	6/12
400 ^{+2.4} ₀	36.3 ^{+3.9} ₀	327.4	414.76	841.87	6.926·10 ⁴	41.56	84.19	n/d	6/12
450 ^{+2.7} ₀	40.9 ^{+4.3} ₀	368.2	525.66	1064.77	1.111·10 ⁵	52.63	106.48	n/d	6/12
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
560	-	-	-	-	-	-	-	-	-
630	-	-	-	-	-	-	-	-	-

o Diametro prodotto secondo progetto di norma europeo pr EN 12201 (non a marchio).

Tabella 8.6. Tubo Unidelta PN20 (SDR 7.4) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910

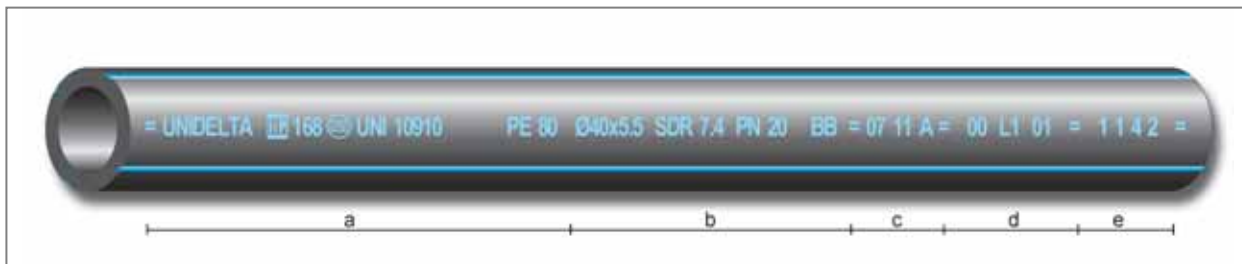
De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.4} ₀	14.0	1.60	1.54	5.968·10 ⁻¹	0.163	0.154	100	n/d
25 ^{+0.3} ₀	3.5 ^{+0.5} ₀	18.0	2.36	2.54	1.402·10 ⁰	0.241	0.254	100	n/d
32 ^{+0.3} ₀	4.4 ^{+0.6} ₀	23.2	3.82	4.23	3.725·10 ⁰	0.387	0.423	100	6
40 ^{+0.4} ₀	5.5 ^{+0.7} ₀	29.0	5.96	6.61	9.095·10 ⁰	0.602	0.661	100	6
50 ^{+0.4} ₀	6.9 ^{+0.8} ₀	36.2	9.34	10.29	2.225·10 ¹	0.939	1.03	100	6
63 ^{+0.4} ₀	8.6 ^{+1.0} ₀	45.8	14.70	16.47	5.573·10 ¹	1.48	1.65	50/100	6
75 ^{+0.5} ₀	10.3 ^{+1.2} ₀	54.4	20.94	23.24	1.123·10 ²	2.10	2.32	50/100	6
90 ^{+0.6} ₀	12.3 ^{+1.4} ₀	65.4	30.02	33.59	2.323·10 ²	3.01	3.36	50/100	6/12
110 ^{+0.7} ₀	15.1 ^{+1.7} ₀	79.8	45.02	50.01	5.196·10 ²	4.51	5.00	50	6/12
125 ^{+0.8} ₀	17.1 ^{+1.9} ₀	90.8	57.97	64.75	8.648·10 ²	5.81	6.48	n/d	6/12
140 ^{+0.9} ₀	19.2 ^{+2.1} ₀	101.6	72.86	81.07	1.363·10 ³	7.30	8.11	n/d	6/12
160 ^{+1.0} ₀	21.9 ^{+2.3} ₀	116.2	95.01	106.05	2.322·10 ³	9.50	10.60	n/d	6/12
180 ^{+1.1} ₀	24.6 ^{+2.6} ₀	130.8	120.10	134.37	3.716·10 ³	12.00	13.44	n/d	6/12
200 ^{+1.2} ₀	27.4 ^{+2.9} ₀	145.2	148.57	165.59	5.672·10 ³	14.85	16.56	n/d	6/12
225 ^{+1.4} ₀	30.8 ^{+3.2} ₀	163.4	187.91	209.70	9.081·10 ³	18.77	20.97	n/d	6/12
250 ^{+1.5} ₀	34.2 ^{+3.6} ₀	181.6	231.86	259.01	1.384·10 ⁴	23.17	25.90	n/d	6/12
280	-	-	-	-	-	-	-	-	-
315	-	-	-	-	-	-	-	-	-
355	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
560	-	-	-	-	-	-	-	-	-
630	-	-	-	-	-	-	-	-	-

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Rotoli = Lunghezza dei tubi forniti in rotolo, Barre = Lunghezza dei tubi forniti in barre, n/d = Non disponibile nel formato specificato.

Marcatura

La marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 10910 viene effettuata su ogni metro riportando tutte le informazioni relative alle caratteristiche dimensionali e di impiego del tubo nonché i dati necessari alla rintracciabilità del prodotto (figura 8.1).

Figura 8.1. Marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 10910



La marcatura contiene le seguenti informazioni (i valori riportati sono di esempio):

- (a) Tubo Unidelta a marchio IIP n°168, secondo norma UNI 10910, prodotto in polietilene alta densità PE 80, adatto al convogliamento di fluidi in pressione.
- (b) Diametro esterno 40 mm, spessore 5.5 mm, rapporto dimensionale SDR 7.4, pressione nominale 20 bar, “BB” è l’identificativo della materia prima impiegata ed attribuito dall’Istituto Italiano dei Plastici che l’ha omologata.
- (c) 07 è il giorno di produzione, 11 è il mese di produzione, A è uno dei tre turni di produzione (A, B, C).
- (d) 00 è l’anno di produzione, L1 è la linea di estrusione sulla quale è stato prodotto il tubo, 01 identifica l’operatore addetto all’estrusione durante la produzione del tubo.
- (e) 1142 è il numero di lotto.

Perdite di carico

Nei diagrammi 8.1, 8.2, 8.3 e 8.4 sono state tracciate le curve delle perdite di carico per il trasporto di acqua alla temperatura di 10°C dei tubi Unidelta prodotti in conformità alla norma UNI 10910. Per maggiori dettagli ed esempi di utilizzo delle curve fare riferimento al capitolo 10.

Diagramma 8.1. Tubi Unidelta PN5 (SDR 26) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910. Perdite di carico con acqua a 10°C.

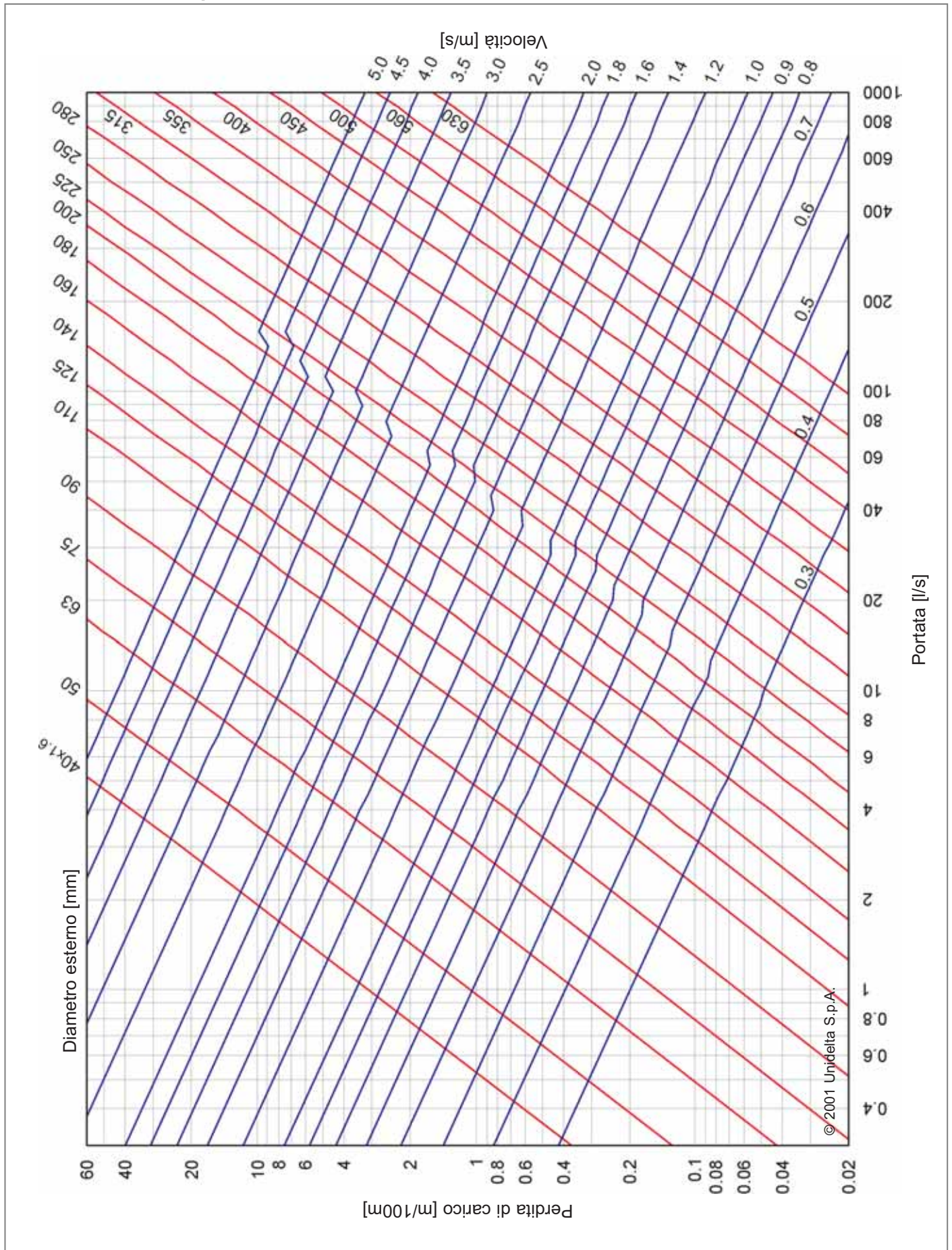


Diagramma 8.2. Tubi Unidelta PN8 (SDR 17) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910.
Perdite di carico con acqua a 10°C.

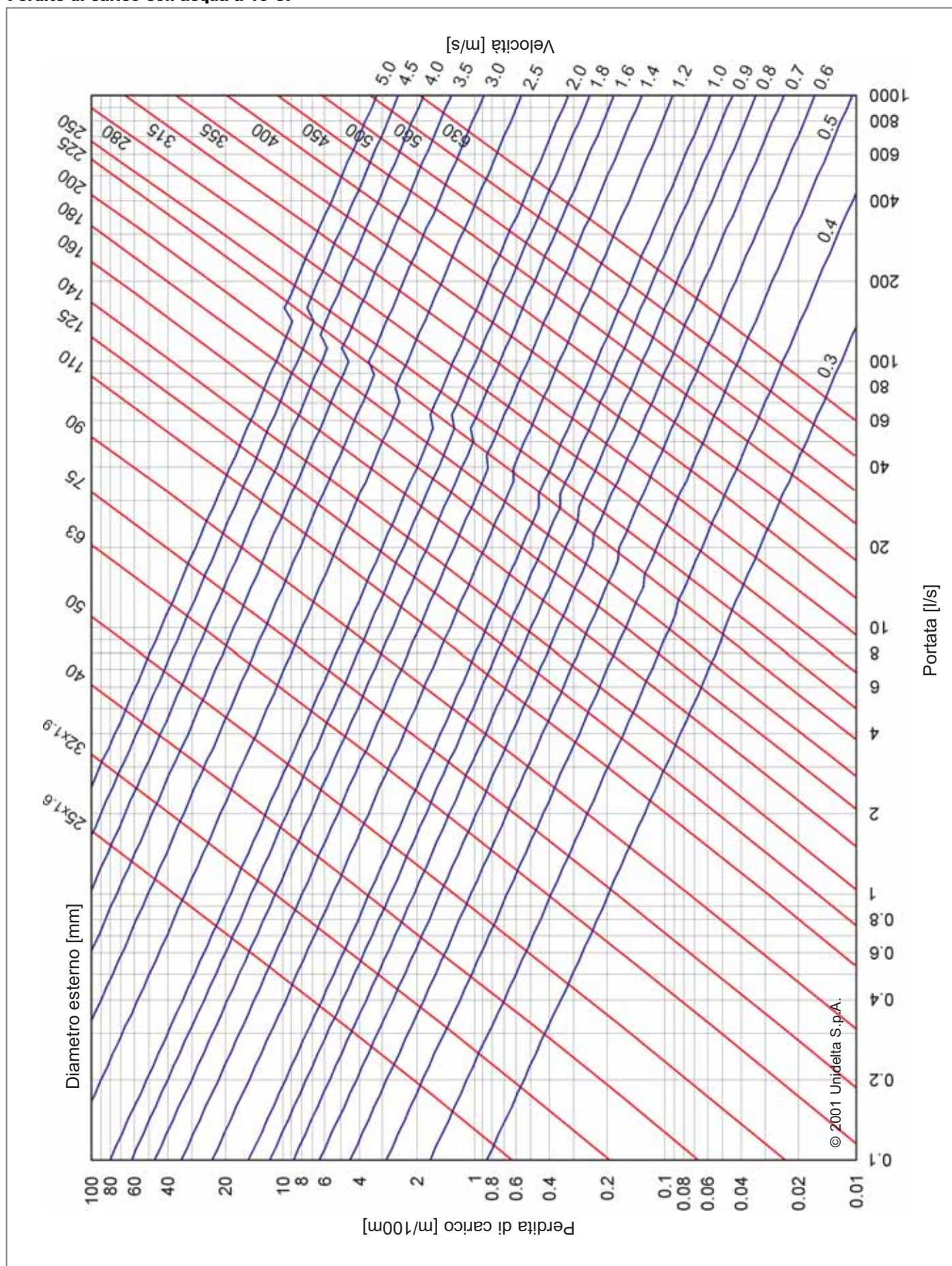


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm per diametri inferiori o uguali a 200 mm ed $\epsilon = 0.05$ mm per diametri superiori a 200 mm.

Diagramma 8.3. Tubi Unidelta PN12.5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910. Perdite di carico con acqua a 10°C.

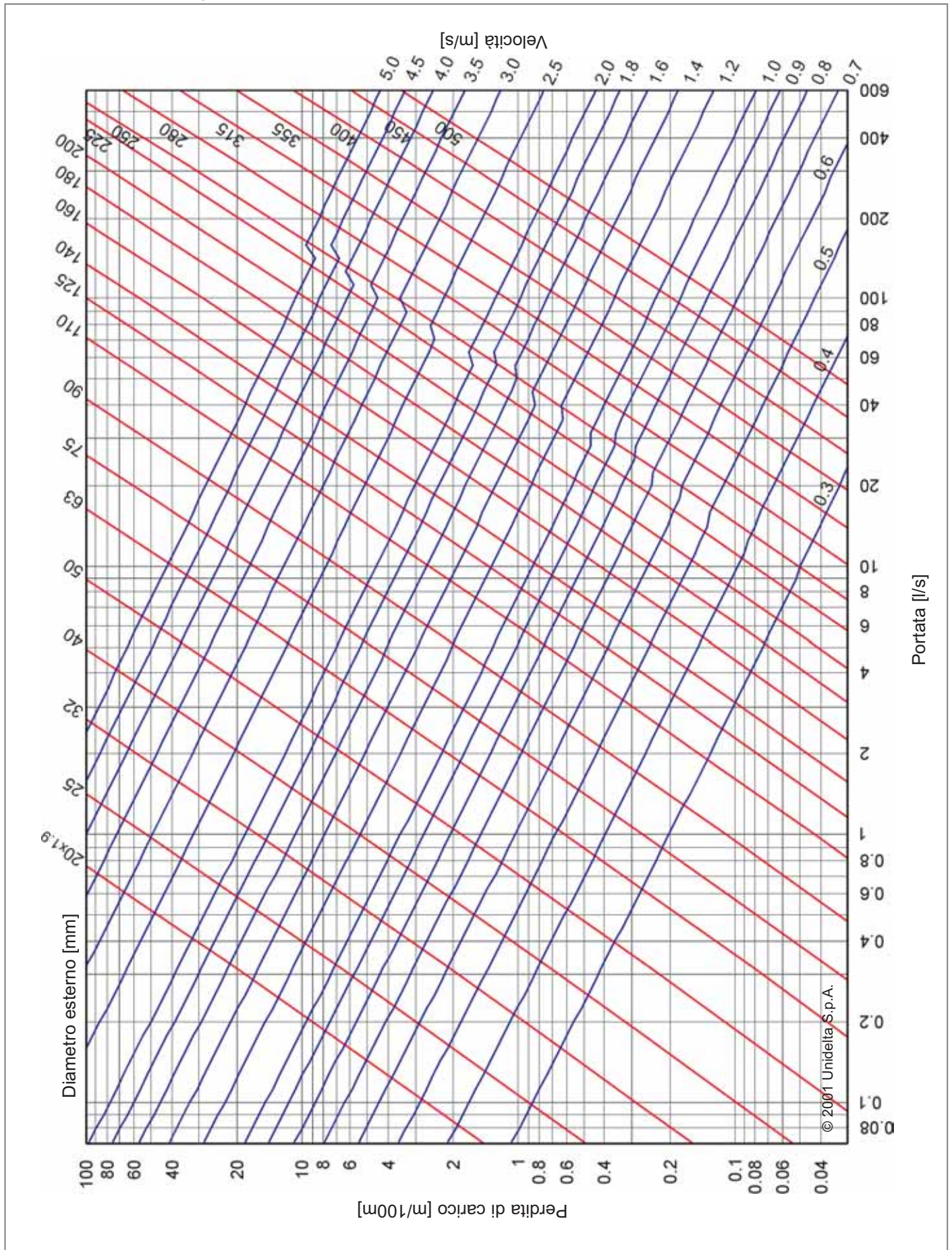


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm per diametri inferiori o uguali a 200 mm ed $\epsilon = 0.05$ mm per diametri superiori a 200 mm.

Diagramma 8.4. Tubi Unidelta PN20 (SDR 7.4) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 10910. Perdite di carico con acqua a 10°C.

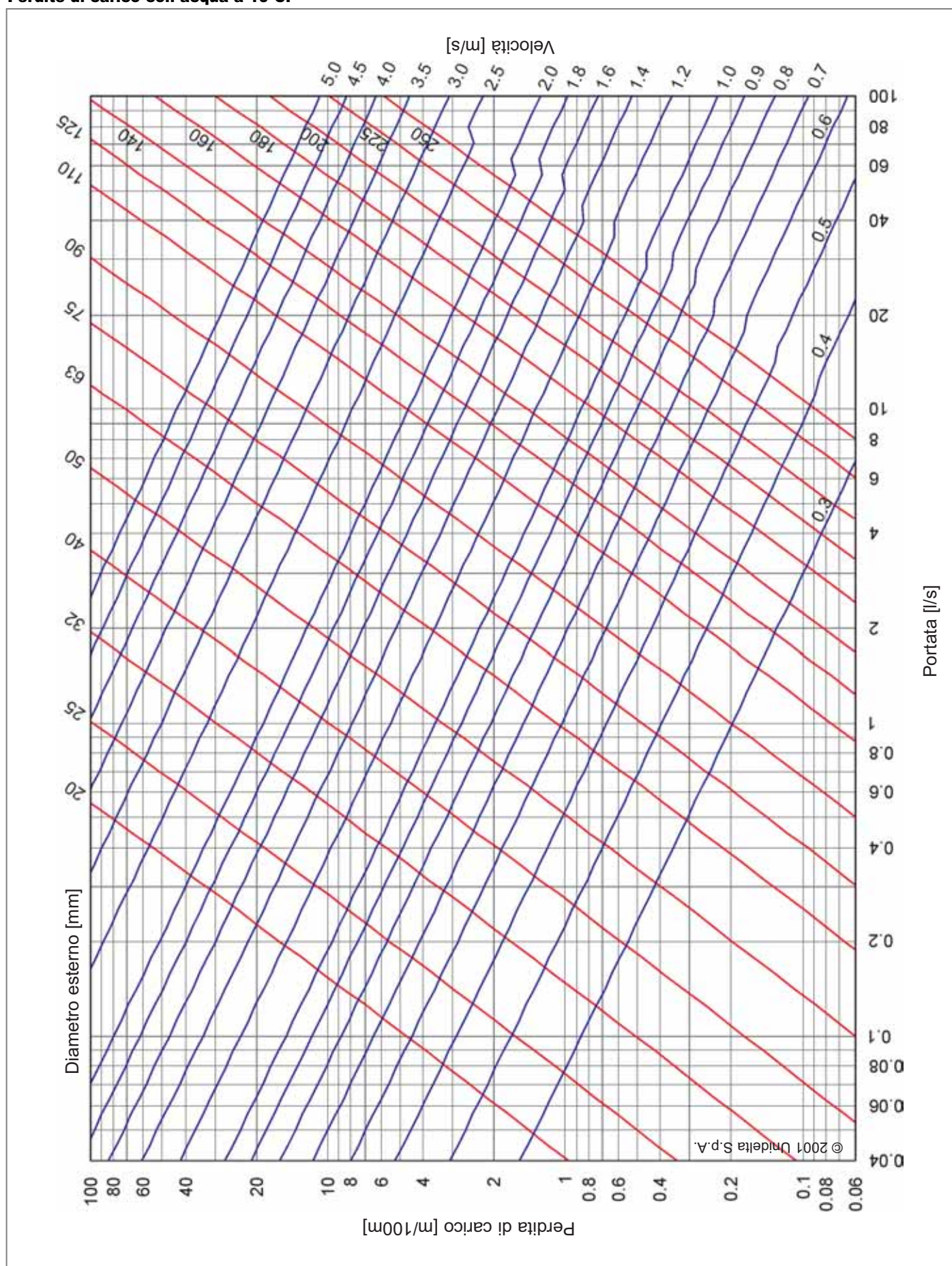


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm per diametri inferiori o uguali a 200 mm ed $\epsilon = 0.05$ mm per diametri superiori a 200 mm.

9. Tubi Unidelta di Polietilene Alta Densità PE 100 per fluidi in pressione secondo UNI 10910

I tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 100 prodotti secondo norma UNI 10910 sono idonei al convogliamento di fluidi in pressione con temperature fino a 40°C. Sono inoltre conformi alle prescrizioni igienico-sanitarie della Circolare Ministeriale n°102/3990 del 02/12/1978 del Ministero della Sanità. Le elevate caratteristiche meccaniche del materiale impiegato consentono di realizzare tubi con pressioni nominali di 25 bar e con spessori ridotti. I tubi Unidelta di polietilene PE 100 sono inoltre certificati secondo il progetto di norma europeo pr EN 12201.



Certificazione di prodotto UNI 10910:
fino al 630 mm, classi di pressione
PN 6.3, PN 10 e PN 16.



Certificazione di prodotto pr EN 12201:
fino al 630 mm, classi di pressione
PN 6.3, PN 10 e PN 16.

Requisiti fisico-meccanici

I requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910 sono esposti nella tabella seguente.

Tabella 9.1. Requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene PE 100 secondo UNI 10910

Requisito	Unità	Valore	Metodo
Aspetto superficiale	-	-	UNI 10910
Caratteristiche geometriche	-	-	pr EN ISO 3126
Indice di fluidità a 190°C peso 5 kg (MFR 190/5)	-	Variazione a seguito di lavorazione inferiore al 20%	ISO 1133
Tempo di induzione all'ossidazione	min	≥20	EN 728
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 12.4$ MPa, 20°C, >100 ore)	ore	>100	UNI EN 921
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 5.5$ MPa, 80°C, >165 ore)	ore	>170	UNI EN 921
Allungamento a rottura	%	≥350	ISO 6259

Condizioni di impiego

I tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910 sono dimensionati con una sollecitazione di progetto di 8.0 MPa ($C_s = 1.25$) per una temperatura di esercizio di 20°C. Per temperature operative superiori a 20°C si considerino le pressioni massime esposte nella tabella seguente. All'aumentare della temperatura del fluido la pressione massima consentita diminuisce progressivamente rispetto alla pressione nominale. Per temperature inferiori a 20°C la pressione massima di esercizio coincide con la pressione nominale.

Tabella 9.2. Condizioni di impiego

Temperatura del fluido	Pressione massima di esercizio [bar]			
	PN 6.3	PN 10	PN 16	PN 25
≤20	6.3	10.0	16.0	25.0
30	5.4	8.7	13.9	21.7
40	4.6	7.4	11.8	18.5

Caratteristiche dimensionali

Di seguito le caratteristiche dimensionali dei tubi Unidelta di polietilene PE 100 secondo UNI 10910.

Tabella 9.3. Tubo Unidelta PN6.3 (SDR 26) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225	-	-	-	-	-	-	-	-	-
250 ^{+1.5} ₀	9.6 ^{+1.1} ₀	230.8	72.50	418.37	5.246·10 ³	7.35	41.84	n/d	6/12
280 ^{+1.7} ₀	10.7 ^{+1.2} ₀	258.6	90.53	525.23	8.219·10 ³	9.17	52.52	n/d	6/12
315 ^{+1.9} ₀	12.1 ^{+1.4} ₀	290.8	115.14	664.17	1.323·10 ⁴	11.68	66.42	n/d	6/12
355 ^{+2.2} ₀	13.6 ^{+1.5} ₀	327.8	145.87	843.93	2.129·10 ⁴	14.76	84.39	n/d	6/12
400 ^{+2.4} ₀	15.3 ^{+1.7} ₀	369.4	184.91	1071.73	3.426·10 ⁴	18.72	107.17	n/d	6/12
450 ^{+2.7} ₀	17.2 ^{+1.9} ₀	415.6	233.87	1356.57	5.484·10 ⁴	23.66	135.66	n/d	6/12
500 ^{+3.0} ₀	19.1 ^{+2.1} ₀	461.8	288.56	1674.93	8.355·10 ⁴	29.19	167.49	n/d	6/12
560 ^{+3.4} ₀	21.4 ^{+2.3} ₀	517.2	362.10	2100.91	1.315·10 ⁵	36.59	210.09	n/d	6/12
630 ^{+3.8} ₀	24.1 ^{+2.6} ₀	581.8	458.74	2658.50	2.108·10 ⁵	46.36	265.85	n/d	6/12

Tabella 9.4. Tubo Unidelta PN10 (SDR 17) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50 ^{+0.4} ₀	3.0 ^{+0.4} ₀	44.0	4.43	15.21	1.228·10 ¹	0.453	1.52	100	n/d
63 ^{+0.4} ₀	3.8 ^{+0.5} ₀	55.4	7.07	24.11	3.109·10 ¹	0.721	2.41	100	n/d
75 ^{+0.5} ₀	4.5 ^{+0.6} ₀	66.0	9.97	34.21	6.217·10 ¹	1.02	3.42	100	n/d
90 ^{+0.6} ₀	5.4 ^{+0.7} ₀	79.2	14.35	49.27	1.289·10 ²	1.46	4.93	100	n/d
110 ^{+0.7} ₀	6.6 ^{+0.8} ₀	96.8	21.44	73.59	2.877·10 ²	2.18	7.36	50	6/12
125 ^{+0.8} ₀	7.4 ^{+0.9} ₀	110.2	27.34	95.38	4.745·10 ²	2.78	9.54	n/d	6/12
140 ^{+0.9} ₀	8.3 ^{+1.0} ₀	123.4	34.34	119.60	7.475·10 ²	3.49	11.96	n/d	6/12
160 ^{+1.0} ₀	9.5 ^{+1.1} ₀	141.0	44.92	156.15	1.277·10 ³	4.55	15.61	n/d	6/12
180 ^{+1.1} ₀	10.7 ^{+1.2} ₀	158.6	56.91	197.56	2.047·10 ³	5.76	19.76	n/d	6/12
200 ^{+1.2} ₀	11.9 ^{+1.3} ₀	176.2	70.32	243.84	3.123·10 ³	7.10	24.38	n/d	6/12
225 ^{+1.4} ₀	13.4 ^{+1.5} ₀	198.2	89.08	308.53	5.006·10 ³	9.01	30.85	n/d	6/12
250 ^{+1.5} ₀	14.8 ^{+1.6} ₀	220.4	109.36	381.52	7.592·10 ³	11.04	38.15	n/d	6/12
280 ^{+1.7} ₀	16.6 ^{+1.8} ₀	246.8	137.36	478.39	1.196·10 ⁴	13.87	47.84	n/d	6/12
315 ^{+1.9} ₀	18.7 ^{+2.0} ₀	277.6	174.07	605.24	1.918·10 ⁴	17.56	60.52	n/d	6/12
355 ^{+2.2} ₀	21.1 ^{+2.3} ₀	312.8	221.33	768.46	3.097·10 ⁴	22.36	76.85	n/d	6/12
400 ^{+2.4} ₀	23.7 ^{+2.5} ₀	352.6	280.18	976.46	4.979·10 ⁴	28.25	97.65	n/d	6/12
450 ^{+2.7} ₀	26.7 ^{+2.8} ₀	396.6	355.07	1235.37	7.984·10 ⁴	35.79	123.54	n/d	6/12
500 ^{+3.0} ₀	29.7 ^{+3.1} ₀	440.6	438.81	1524.68	1.218·10 ⁵	44.23	152.47	n/d	6/12
560 ^{+3.4} ₀	33.2 ^{+3.5} ₀	493.6	549.46	1913.55	1.914·10 ⁵	55.41	191.36	n/d	6/12
630 ^{+3.8} ₀	37.4 ^{+3.9} ₀	555.2	696.28	2420.97	3.069·10 ⁵	70.18	242.10	n/d	6/12

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Rotoli = Lunghezza dei tubi forniti in rotolo, Barre = Lunghezza dei tubi forniti in barre, n/d = Non disponibile nel formato specificato.

Tabella 9.5. Tubo Unidelta PN16 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.4} ₀	26.0	2.73	5.31	2.904·10 ⁰	0.279	0.531	100	n/d
40 ^{+0.4} ₀	3.7 ^{+0.5} ₀	32.6	4.22	8.35	7.022·10 ⁰	0.431	0.835	100	n/d
50 ^{+0.4} ₀	4.6 ^{+0.6} ₀	40.8	6.56	13.07	1.708·10 ¹	0.668	1.31	100	n/d
63 ^{+0.4} ₀	5.8 ^{+0.7} ₀	51.4	10.42	20.75	4.306·10 ¹	1.06	2.07	100	n/d
75 ^{+0.5} ₀	6.8 ^{+0.8} ₀	61.4	14.57	29.61	8.555·10 ¹	1.47	2.96	50/100	n/d
90 ^{+0.6} ₀	8.2 ^{+1.0} ₀	73.6	21.07	42.54	1.780·10 ²	2.14	4.25	50/100	6/12
110 ^{+0.7} ₀	10.0 ^{+1.2} ₀	90.0	31.42	63.62	3.966·10 ²	3.17	6.36	50/100	6/12
125 ^{+0.8} ₀	11.4 ^{+1.4} ₀	102.2	40.68	82.03	6.629·10 ²	4.11	8.20	n/d	6/12
140 ^{+0.9} ₀	12.7 ^{+1.7} ₀	114.6	50.79	103.15	1.039·10 ³	5.12	10.31	n/d	6/12
160 ^{+1.0} ₀	14.6 ^{+1.9} ₀	130.8	66.69	134.37	1.780·10 ³	6.73	13.44	n/d	6/12
180 ^{+1.1} ₀	16.4 ^{+2.1} ₀	147.2	84.29	170.18	2.848·10 ³	8.50	17.02	n/d	6/12
200 ^{+1.2} ₀	18.2 ^{+2.3} ₀	163.6	103.95	210.21	4.338·10 ³	10.48	21.02	n/d	6/12
225 ^{+1.4} ₀	20.5 ^{+2.6} ₀	184.0	131.70	265.90	6.954·10 ³	13.27	26.59	n/d	6/12
250 ^{+1.5} ₀	22.7 ^{+2.9} ₀	204.6	162.10	328.78	1.057·10 ⁴	16.32	32.88	n/d	6/12
280 ^{+1.7} ₀	25.4 ^{+3.2} ₀	229.2	203.16	412.59	1.663·10 ⁴	20.46	41.26	n/d	6/12
315 ^{+1.9} ₀	28.6 ^{+3.6} ₀	257.8	257.33	521.98	2.665·10 ⁴	25.90	52.20	n/d	6/12
355 ^{+2.2} ₀	32.2 ^{+4.0} ₀	290.6	326.54	663.26	4.296·10 ⁴	32.87	66.33	n/d	6/12
400 ^{+2.4} ₀	36.3 ^{+4.5} ₀	327.4	414.76	841.87	6.926·10 ⁴	41.73	84.19	n/d	6/12
450 ^{+2.7} ₀	40.9 ^{+5.0} ₀	368.2	525.66	1064.77	1.111·10 ⁵	52.85	106.48	n/d	6/12
500 ^{+3.0} ₀	45.4 ^{+5.6} ₀	409.2	648.39	1315.11	1.692·10 ⁵	65.21	131.51	n/d	6/12
560 ^{+3.4} ₀	50.8 ^{+6.3} ₀	458.4	812.65	1650.36	2.660·10 ⁵	81.69	165.04	n/d	6/12
630 ^{+3.8} ₀	57.2	515.6	1029.32	2087.93	4.264·10 ⁵	103.50	208.79	n/d	6/12

Tabella 9.6. Tubo Unidelta PN25 (SDR 7.4) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910

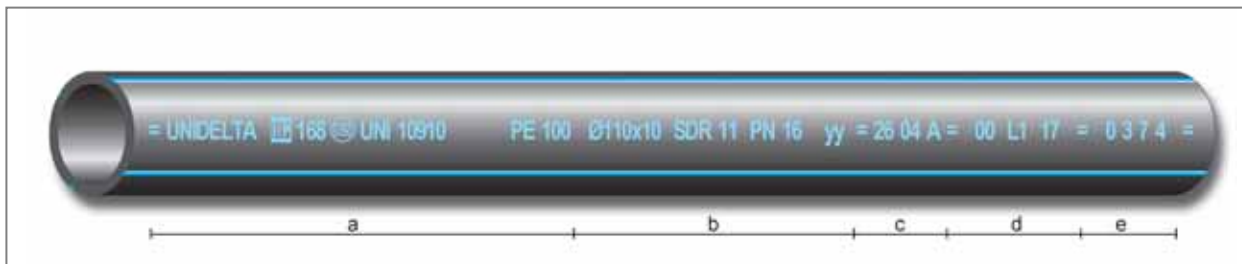
De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.4} ₀	14.0	1.60	1.54	5.968·10 ⁻¹	0.163	0.154	100	n/d
25 ^{+0.3} ₀	3.5 ^{+0.5} ₀	18.0	2.36	2.54	1.402·10 ⁰	0.242	0.254	100	n/d
32 ^{+0.3} ₀	4.4 ^{+0.6} ₀	23.2	3.82	4.23	3.725·10 ⁰	0.388	0.423	100	n/d
40 ^{+0.4} ₀	5.5 ^{+0.7} ₀	29.0	5.96	6.61	9.095·10 ⁰	0.605	0.661	100	n/d
50 ^{+0.4} ₀	6.9 ^{+0.8} ₀	36.2	9.34	10.29	2.225·10 ¹	0.943	1.03	100	n/d
63 ^{+0.4} ₀	8.6 ^{+1.0} ₀	45.8	14.70	16.47	5.573·10 ¹	1.48	1.65	100	n/d
75 ^{+0.5} ₀	10.3 ^{+1.2} ₀	54.4	20.94	23.24	1.123·10 ²	2.11	2.32	50/100	n/d
90 ^{+0.6} ₀	12.3 ^{+1.4} ₀	65.4	30.02	33.59	2.323·10 ²	3.02	3.36	50/100	6/12
110 ^{+0.7} ₀	15.1 ^{+1.7} ₀	79.8	45.02	50.01	5.196·10 ²	4.53	5.00	50	6/12
125 ^{+0.8} ₀	17.1 ^{+1.9} ₀	90.8	57.97	64.75	8.648·10 ²	5.83	6.48	n/d	6/12
140 ^{+0.9} ₀	19.2 ^{+2.1} ₀	101.6	72.86	81.07	1.363·10 ³	7.33	8.11	n/d	6/12
160 ^{+1.0} ₀	21.9 ^{+2.3} ₀	116.2	95.01	106.05	2.322·10 ³	9.54	10.60	n/d	6/12
180 ^{+1.1} ₀	24.6 ^{+2.6} ₀	130.8	120.10	134.37	3.716·10 ³	12.05	13.44	n/d	6/12
200 ^{+1.2} ₀	27.4 ^{+2.9} ₀	145.2	148.57	165.59	5.672·10 ³	14.91	16.56	n/d	6/12
225 ^{+1.4} ₀	30.8 ^{+3.2} ₀	163.4	187.91	209.70	9.081·10 ³	18.85	20.97	n/d	6/12
250 ^{+1.5} ₀	34.2 ^{+3.6} ₀	181.6	231.86	259.01	1.384·10 ⁴	23.27	25.90	n/d	6/12
280 ^{+1.7} ₀	38.3 ^{+4.0} ₀	203.4	290.82	324.93	2.177·10 ⁴	29.18	32.49	n/d	6/12
315 ^{+1.9} ₀	43.1 ^{+4.5} ₀	228.8	368.16	411.15	3.488·10 ⁴	36.93	41.12	n/d	6/12
355 ^{+2.2} ₀	48.5 ^{+5.0} ₀	258.0	467.01	522.79	5.621·10 ⁴	46.83	52.28	n/d	6/12
400 ^{+2.4} ₀	54.7 ^{+5.6} ₀	290.6	593.38	663.26	9.066·10 ⁴	59.48	66.33	n/d	6/12
450 ^{+2.7} ₀	61.5 ^{+6.3} ₀	327.0	750.61	839.82	1.452·10 ⁵	75.24	83.98	n/d	6/12
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-
560	-	-	-	-	-	-	-	-	-
630	-	-	-	-	-	-	-	-	-

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Rotoli = Lunghezza dei tubi forniti in rotolo, Barre = Lunghezza dei tubi forniti in barre, n/d = Non disponibile nel formato specificato.

Marcatura

La marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910 viene effettuata su ogni metro riportando tutte le informazioni relative alle caratteristiche dimensionali e di impiego del tubo nonché i dati necessari alla rintracciabilità del prodotto (figura 9.1).

Figura 9.1. Marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910



La marcatura contiene le seguenti informazioni (i valori riportati sono di esempio):

- (a) Tubo Unidelta a marchio IIP n°168, secondo norma UNI 10910, prodotto in polietilene alta densità PE 100, adatto al convogliamento di fluidi in pressione.
- (b) Diametro esterno 110 mm, spessore 10 mm, rapporto dimensionale SDR 11, pressione nominale 16 bar, “yy” è l’identificativo della materia prima impiegata ed attribuito dall’Istituto Italiano dei Plastici che l’ha omologata.
- (c) 26 è il giorno di produzione, 04 è il mese di produzione, A è uno dei tre turni di produzione (A, B, C).
- (d) 00 è l’anno di produzione, L1 è la linea di estrusione sulla quale è stato prodotto il tubo, 17 identifica l’operatore addetto all’estrusione durante la produzione del tubo.
- (e) 0374 è il numero di lotto.

Perdite di carico

Nei diagrammi 9.1, 9.2, 9.3 e 9.4 sono state tracciate le curve delle perdite di carico per il trasporto di acqua alla temperatura di 10°C dei tubi Unidelta prodotti in conformità alla norma UNI 10910. Per maggiori dettagli ed esempi di utilizzo delle curve fare riferimento al capitolo 10.

Diagramma 9.1. Tubi Unidelta PN6.3 (SDR 26) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910. Perdite di carico con acqua a 10°C.

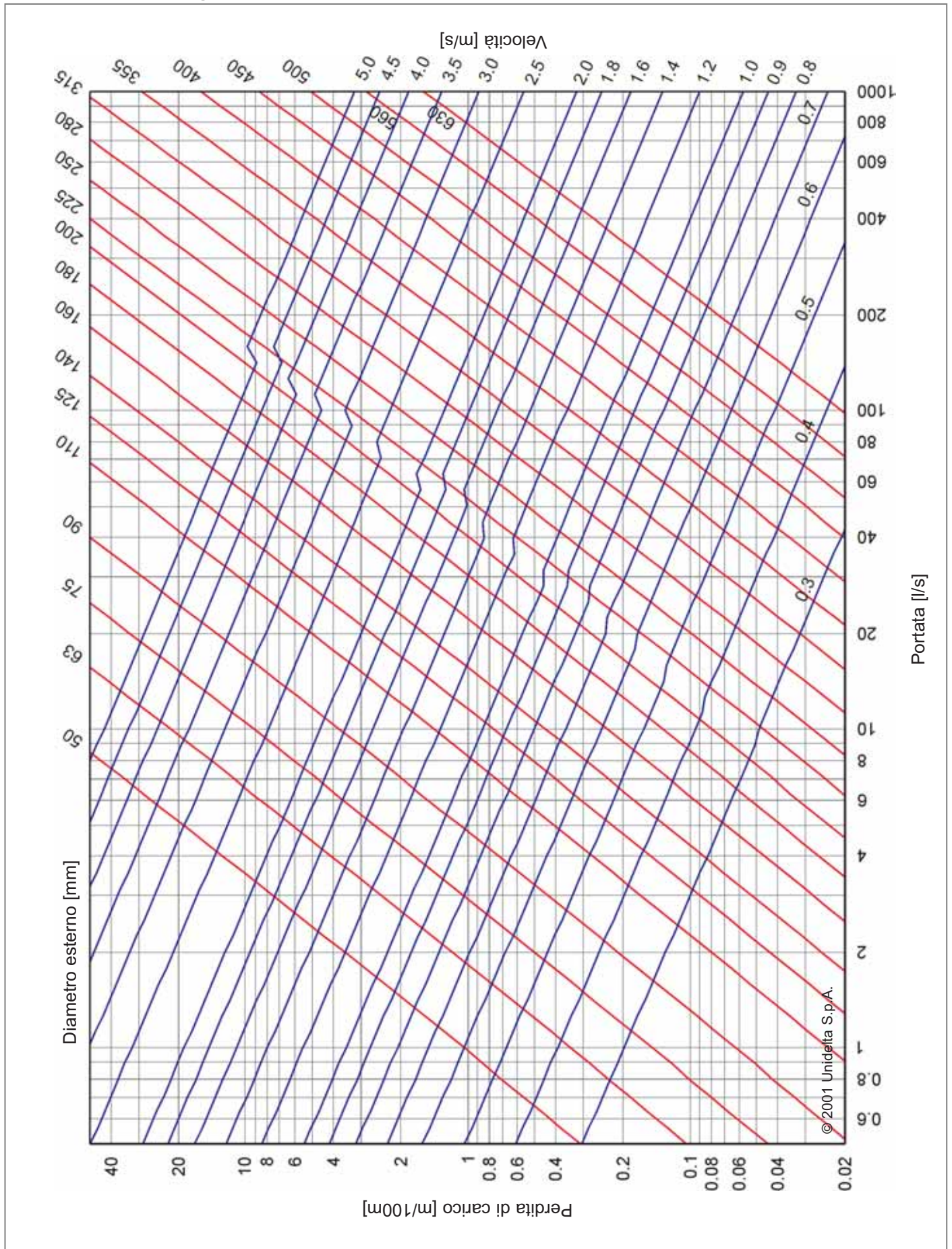


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm per diametri inferiori o uguali a 200 mm ed $\epsilon = 0.05$ mm per diametri superiori a 200 mm.

Diagramma 9.2. Tubi Unidelta PN10 (SDR 17) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910.
Perdite di carico con acqua a 10°C.

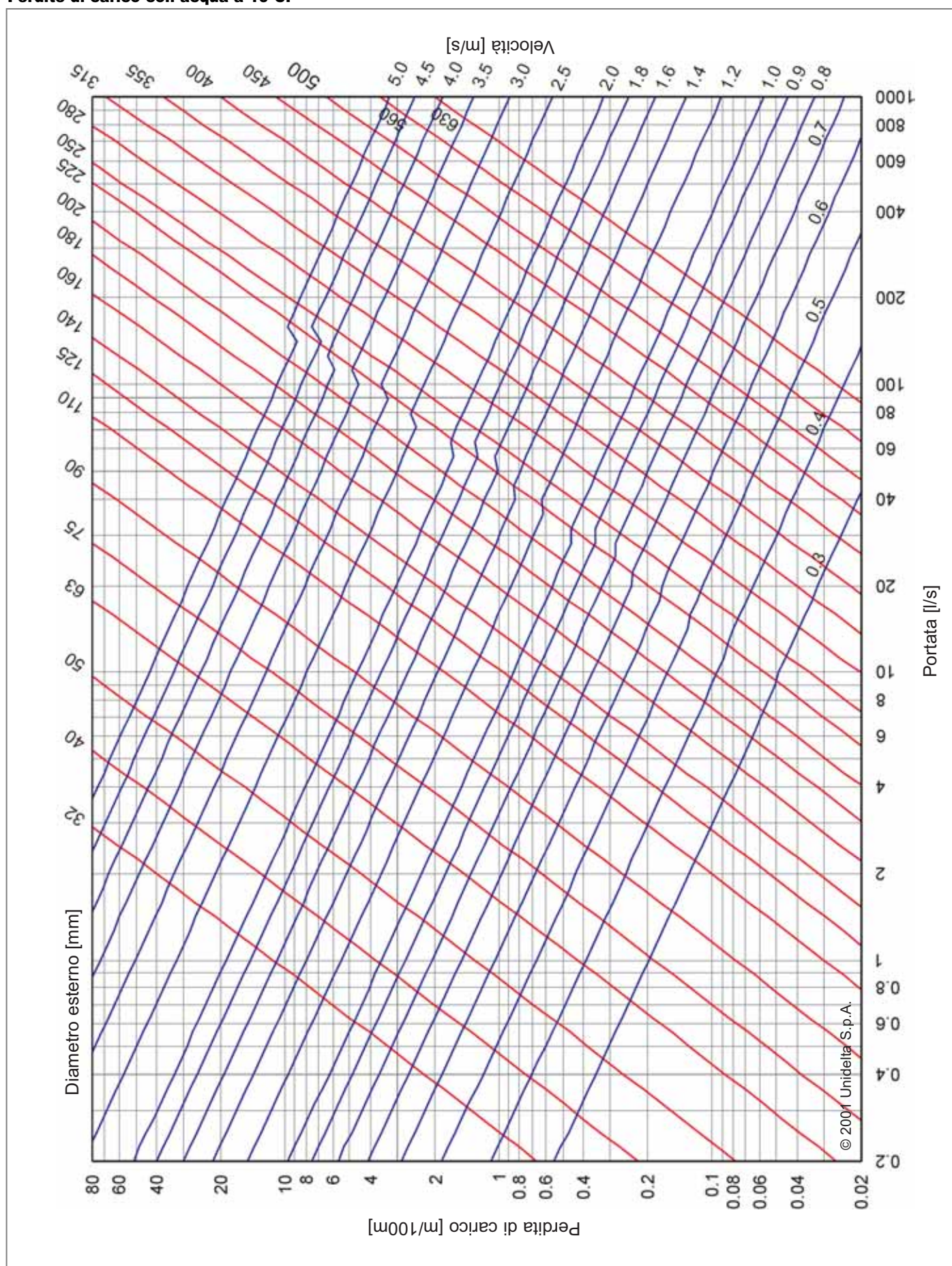


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm per diametri inferiori o uguali a 200 mm ed $\epsilon = 0.05$ mm per diametri superiori a 200 mm.

Diagramma 9.3. Tubi Unidelta PN16 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910. Perdite di carico con acqua a 10°C.

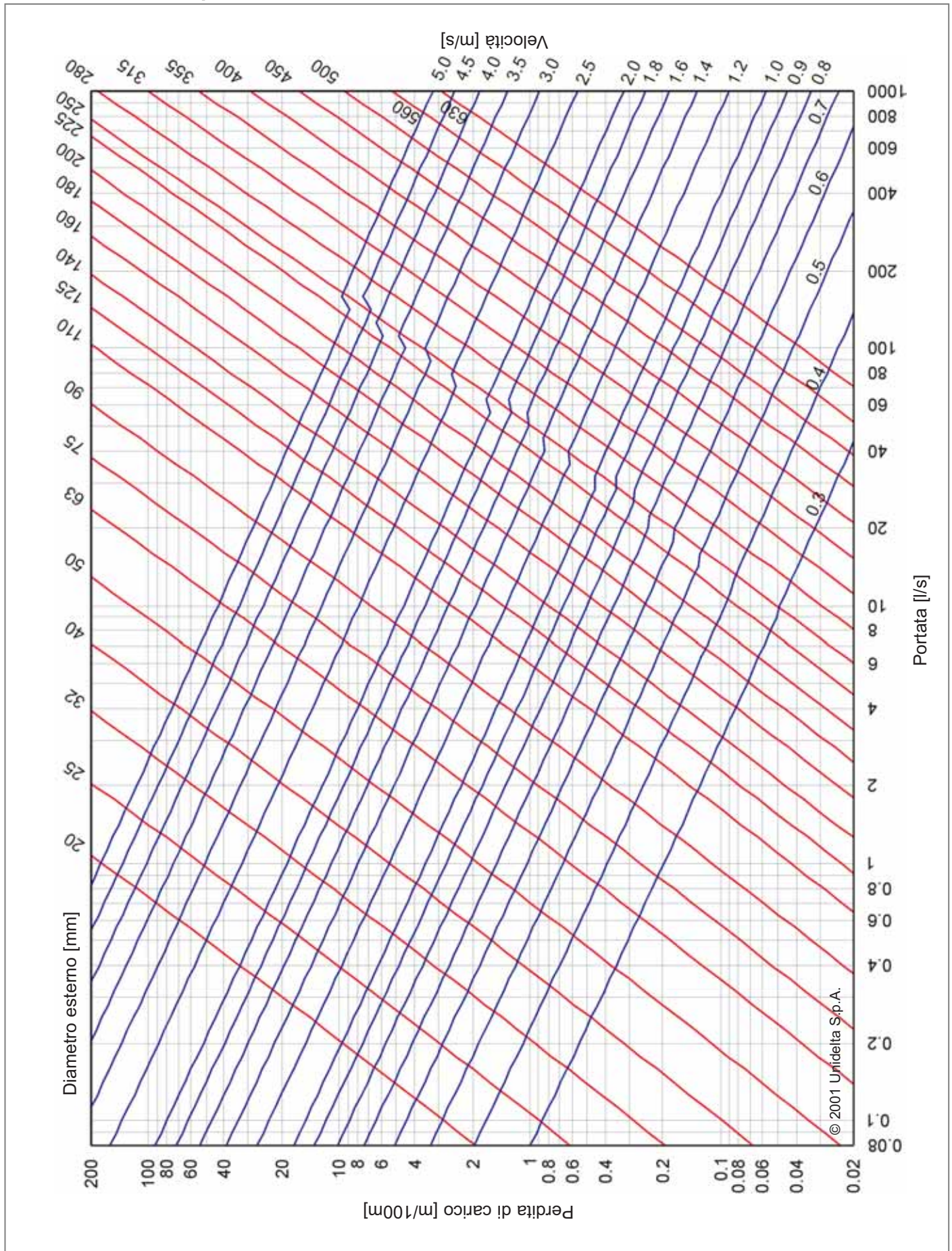


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm per diametri inferiori o uguali a 200 mm ed $\epsilon = 0.05$ mm per diametri superiori a 200 mm.

Diagramma 9.4. Tubi Unidelta PN25 (SDR 7.4) di polietilene alta densità PE 100 secondo UNI 10910. Perdite di carico con acqua a 10°C.

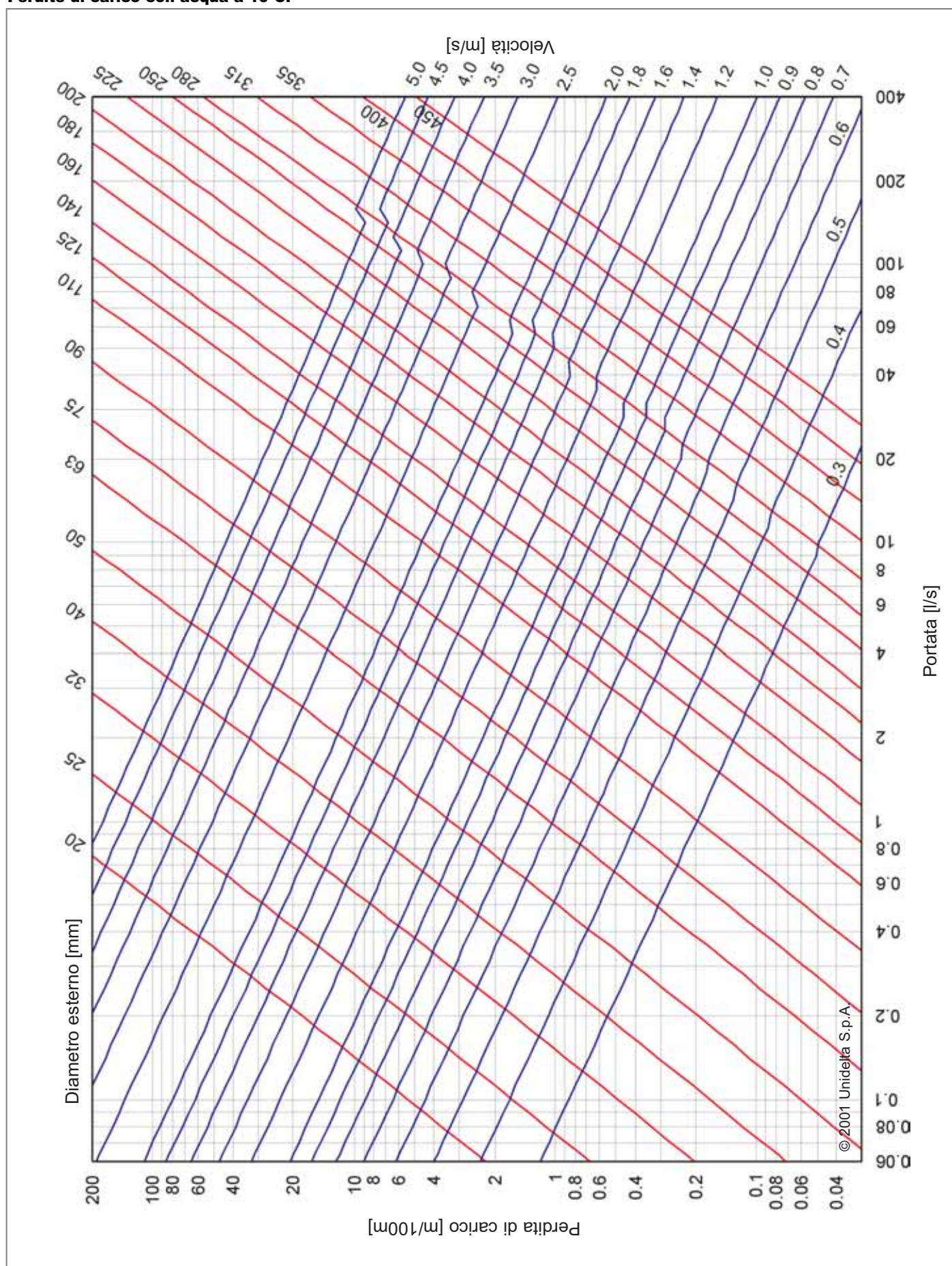


Diagramma ottenuto dalla Formula di Colebrook-White con scabrezza $\epsilon = 0.01$ mm per diametri inferiori o uguali a 200 mm ed $\epsilon = 0.05$ mm per diametri superiori a 200 mm.

10. Dimensionamento delle condotte: perdite di carico per il trasporto di acqua in pressione

Una caratteristica dei tubi di polietilene è quella di avere superfici interne estremamente lisce anche dopo anni di esercizio e quindi perdite di carico ridotte. Queste ultime possono essere calcolate mediante la formula di Darcy-Weisbach:

$$J = \lambda \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot Di} \quad [10.1]$$

dove J è la perdita di carico espressa in metri di colonna di acqua per metro di condotta; v è la velocità del fluido [m/s] che generalmente assume valori compresi fra 0.5 e 3 m/s; Di è il diametro interno della tubazione [m]; g è l'accelerazione di gravità uguale a 9.81 m/s² e λ è il coefficiente di perdita il cui valore dipende dalle condizioni di moto del fluido e dalle sue proprietà fisiche (densità e viscosità).

Per flussi di acqua in regime di transizione turbolenta o in moto puramente turbolento l'espressione di λ che meglio rispecchia i dati sperimentali è quella di Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3.715 \cdot Di} \right) \quad [10.2]$$

dove ε è la scabrezza assoluta della superficie del tubo [m] e Re è il numero adimensionale di Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot Di}{\mu} \quad [10.3]$$

ρ è la densità dell'acqua [kg/m³] e μ è la viscosità dinamica dell'acqua [kg/m·s], entrambe funzione della temperatura (Tabella 10.1).

Tabella 10.1. Alcune proprietà dell'acqua

Temperatura T [°C]	Densità ρ [kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [kg/m·s]	Viscosità cinematica $\nu = \mu / \rho$ [m ² /s]
0	1000.0	$1.750 \cdot 10^{-3}$	$1.750 \cdot 10^{-6}$
10	1000.0	$1.298 \cdot 10^{-3}$	$1.298 \cdot 10^{-6}$
20	998.4	$1.004 \cdot 10^{-3}$	$1.005 \cdot 10^{-6}$
30	995.7	$8.008 \cdot 10^{-4}$	$8.042 \cdot 10^{-7}$
40	991.7	$6.547 \cdot 10^{-4}$	$6.601 \cdot 10^{-7}$
50	987.7	$5.461 \cdot 10^{-4}$	$5.529 \cdot 10^{-7}$
60	982.7	$4.663 \cdot 10^{-4}$	$4.745 \cdot 10^{-7}$
70	977.1	$4.004 \cdot 10^{-4}$	$4.098 \cdot 10^{-7}$
80	971.9	$3.511 \cdot 10^{-4}$	$3.613 \cdot 10^{-7}$
90	964.8	$3.126 \cdot 10^{-4}$	$3.241 \cdot 10^{-7}$
100	957.9	$2.790 \cdot 10^{-4}$	$2.913 \cdot 10^{-7}$

Per calcolare la perdita di carico che si ha in un tubo di diametro interno D_i nel quale scorre acqua alla velocità v si deve impiegare la formula 10.1 che presuppone noto il coefficiente di perdita λ .

La formula 10.2 non consente di esplicitare il coefficiente di perdita λ e quindi la ricerca della soluzione deve avvenire mediante iterazioni di calcolo successive. Per facilitarne la risoluzione sono stati tracciati i diagrammi riportati nei capitoli 7, 8 e 9 che mostrano le curve delle perdite di carico $J_{10^\circ\text{C}}$ espresse in metri di colonna d'acqua per 100 metri di tubo [m/100m] con una temperatura dell'acqua di 10°C .

La perdita di carico complessiva ΔH in metri di colonna d'acqua che si ha in un tubo di lunghezza L espressa in metri è quindi:

$$\Delta H = J \cdot (L / 100) \quad [10.4]$$

Correzione delle perdite per temperature superiori ai 10°C

Si è visto, dall'espressione 10.2, che il coefficiente di perdita λ dipende da Re che a sua volta dipende dal rapporto μ/ρ (viscosità dinamica/densità) ovvero dalla viscosità cinematica dell'acqua. La viscosità cinematica è funzione della temperatura e quindi le perdite di carico variano al variare della temperatura dell'acqua che scorre all'interno del tubo.

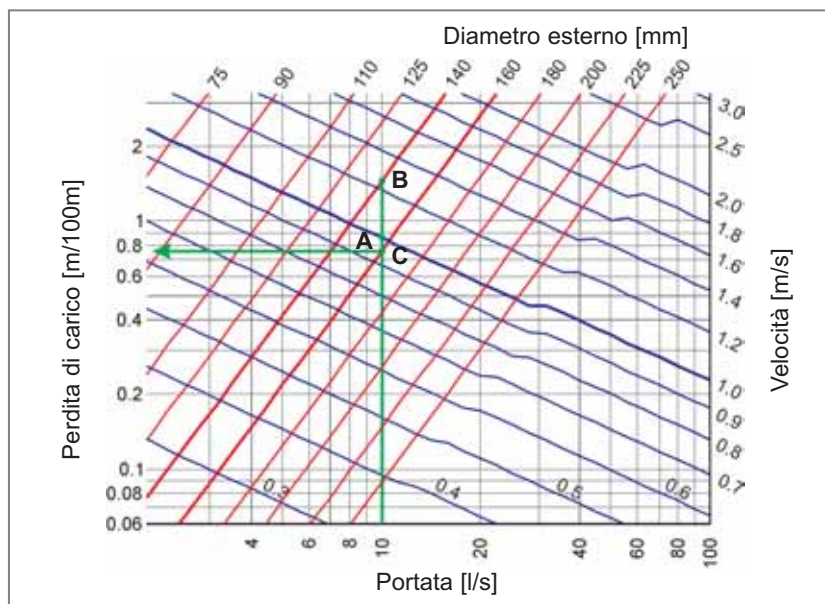
Nei diagrammi 10.1a, 10.1b, 10.2a e 10.2b è tracciato il fattore correttivo moltiplicativo K_T delle perdite per temperature di 40°C e 60°C che deve essere moltiplicato per il valore delle perdite di carico ricavate alla temperatura di 10°C :

$$J_T = K_T \cdot J_{10^\circ\text{C}} \quad [10.5]$$

Esempio 1

Si voglia determinare il diametro che deve avere un tubo di polietilene per acquedotto UNI 10910 per trasportare 10 l/s di acqua a 10°C per 1000 metri in assenza di dislivelli e si abbia in ingresso una pressione di 14 bar. Si calcoli anche la pressione allo sbocco della condotta.

Per la scelta della classe PN si deve considerare il massimo valore della pressione che può verificarsi nella tubazione in condizioni di funzionamento idraulico gravoso. Questo valore è dato dalla somma della massima pressione di esercizio e della massima sovrappressione di colpo d'ariete ammissibile che in questo caso è pari a circa 3.5 bar (Decreto del Ministero LL.PP. 12 Dicembre 1985: vedi capitolo 17). La tubazione in questione dovrà quindi poter sopportare una pressione massima di circa $14 + 3.5 = 17.5$ bar: la scelta cade quindi su un tubo PN20. Nel diagramma 8.4 (tubi PN20 secondo UNI 10910) intersecando la linea verticale corrispondente alla portata richiesta e la linea (blu) avente velocità media da noi imposta $v = 1$ m/s si ottiene il punto A che giace fra le due linee (rosse) a diametro costante: quella superiore con diametro 140 mm (punto B) e quella inferiore con diametro 160 mm (punto C).



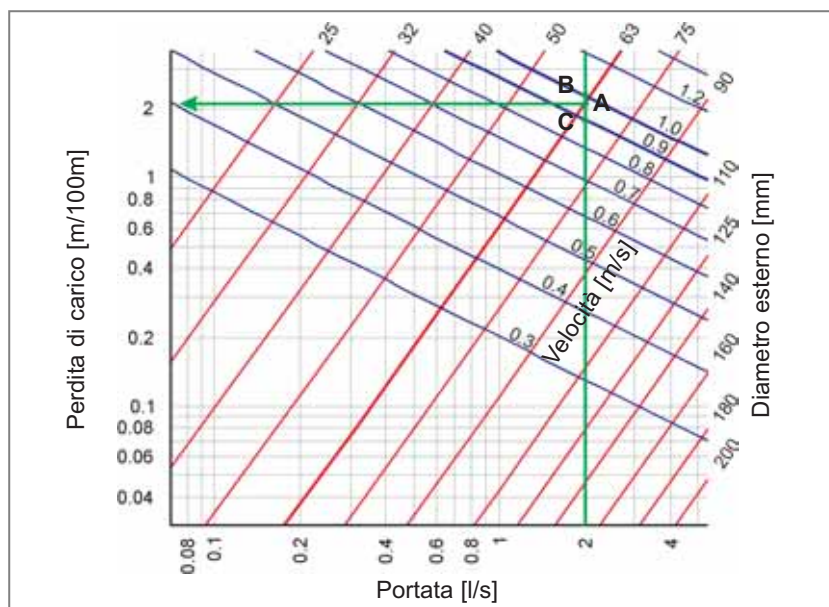
La scelta fra i due diametri dipende da questa considerazione: minore è il diametro scelto, minore è il costo del tubo ma maggiore è la perdita di carico che si viene a generare e quindi più costoso risulterà l'impianto di pompaggio. Generalmente per incrementare i margini di sicurezza si sceglie il diametro maggiore, in questo caso il 160 mm (punto C). La perdita di carico corrispondente è $J_{10^{\circ}\text{C}} = 0.76 \text{ m}/100\text{m}$.

Infine, dato che la condotta è lunga 1000 metri, la perdita di carico complessiva (formula 10.4) è $\Delta H = 0.76 \cdot (1000 / 100) = 7.6$ metri di colonna d'acqua corrispondenti a circa 0.74 bar, la pressione dell'acqua in uscita alla condotta sarà pertanto $8 - 0.74 = 7.26$ bar.

Esempio 2

All'interno di un tubo di 200 metri di polietilene UNI 10910, classe di pressione PN12.5 e diametro $D_e = 63 \text{ mm}$ scorre acqua a 60°C con una portata di 2 litri al secondo. Si determini la perdita di carico e la velocità dell'acqua.

Sul diagramma 8.3 per i tubi PN12.5 secondo UNI 10910 si intersechi la linea verticale corrispondente alla portata di 2 l/s con la linea (rossa) riferita al diametro 63 mm. Il punto A individuato cade tra due linee (blu) a velocità costante: quella superiore a 1 m/s (punto B) e quella inferiore a 0.9 m/s (punto C).



Interpolando si ricava una velocità del flusso $v = 0.96 \text{ m/s}$ mentre la perdita di carico che si può leggere sull'asse delle ordinate è:

$$J_{10^{\circ}\text{C}} = 2.10 \text{ m}/100\text{m}.$$

Tale valore è riferito alla temperatura di 10°C e va perciò corretto mediante il fattore K_T .

Poiché il diametro interno della tubazione è di $51.4 \text{ mm} < 200 \text{ mm}$ (tabella 8.5) e la temperatura è di 60°C si impiega il diagramma 10.2a dal quale risulta un fattore correttivo interpolato $K_T = 0.83$.

La perdita di carico effettiva è quindi:

$$J_{60^{\circ}\text{C}} = K_T \cdot J_{10^{\circ}\text{C}} = 0.83 \cdot 2.10 = 1.74 \text{ m}/100\text{m}$$

e dunque sulla lunghezza di 200 m la perdita complessiva è (formula 10.4)

$$\Delta H = J_{60^{\circ}\text{C}} \cdot (L / 100) = 1.74 \cdot (200 / 100) = 3.48 \text{ m}$$

Diagramma 10.1a. Fattore di correzione per acqua a 40°C e diametri interni inferiori a 200 mm

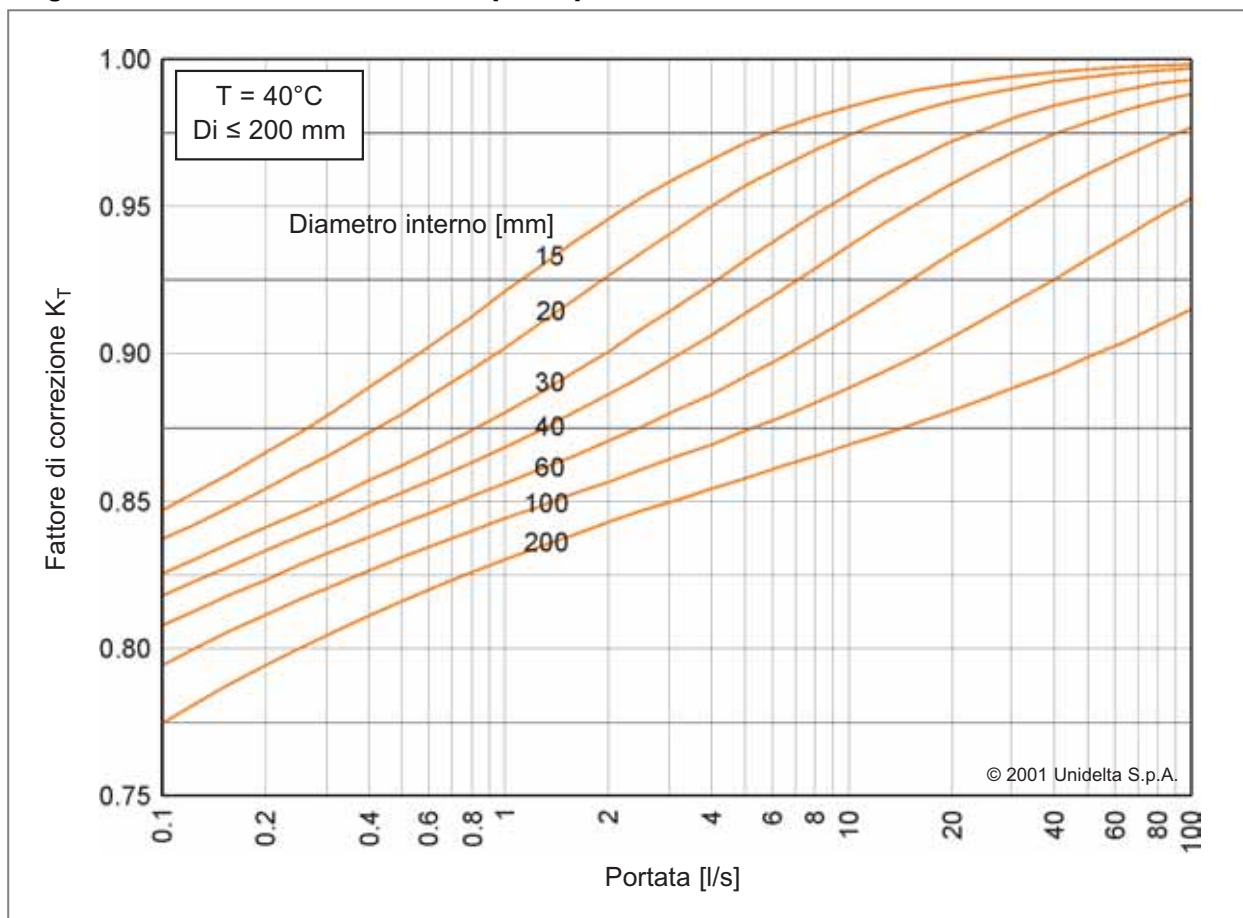


Diagramma 10.1b. Fattore di correzione per acqua a 40°C e diametri interni superiori a 200 mm

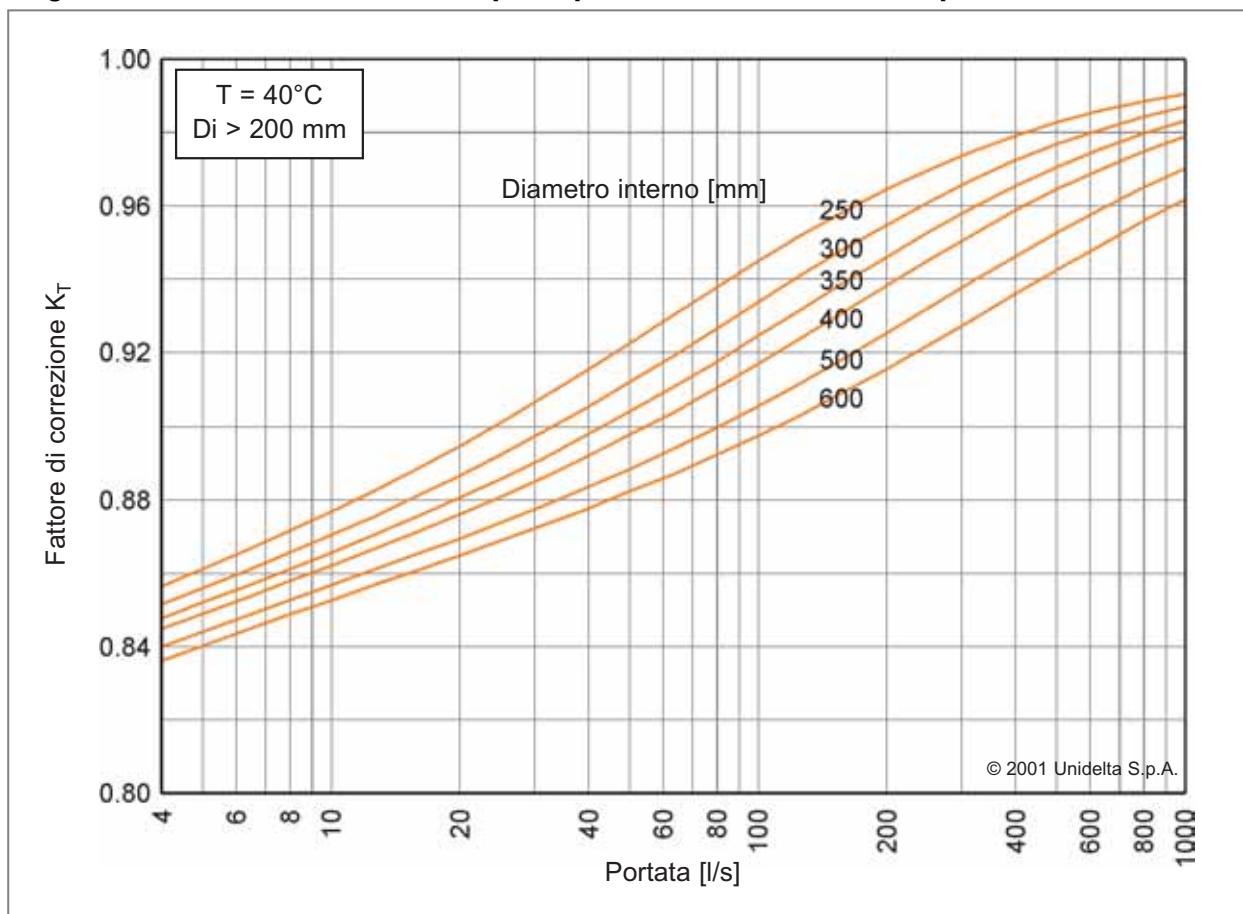


Diagramma 10.2a. Fattore di correzione per acqua a 60°C e diametri interni inferiori a 200 mm

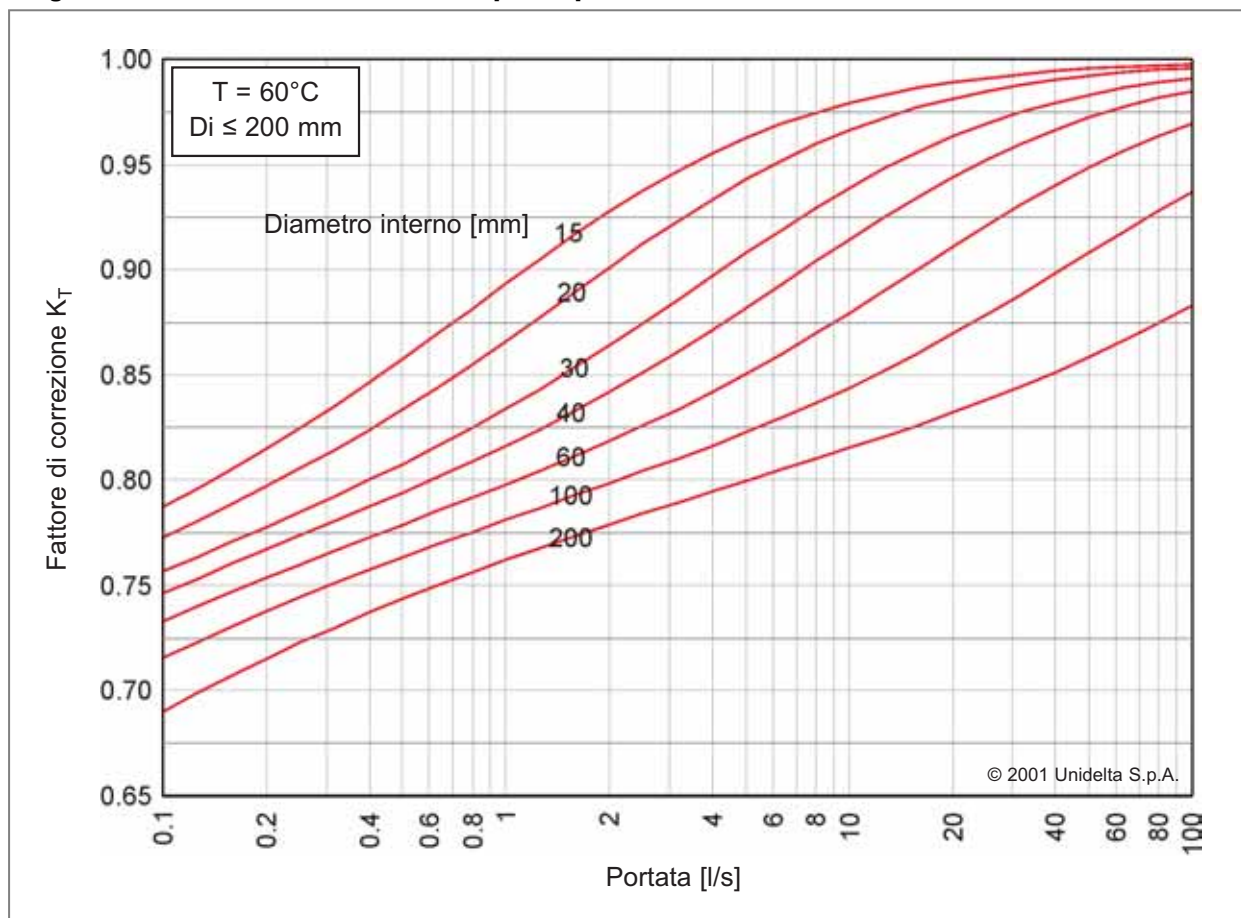
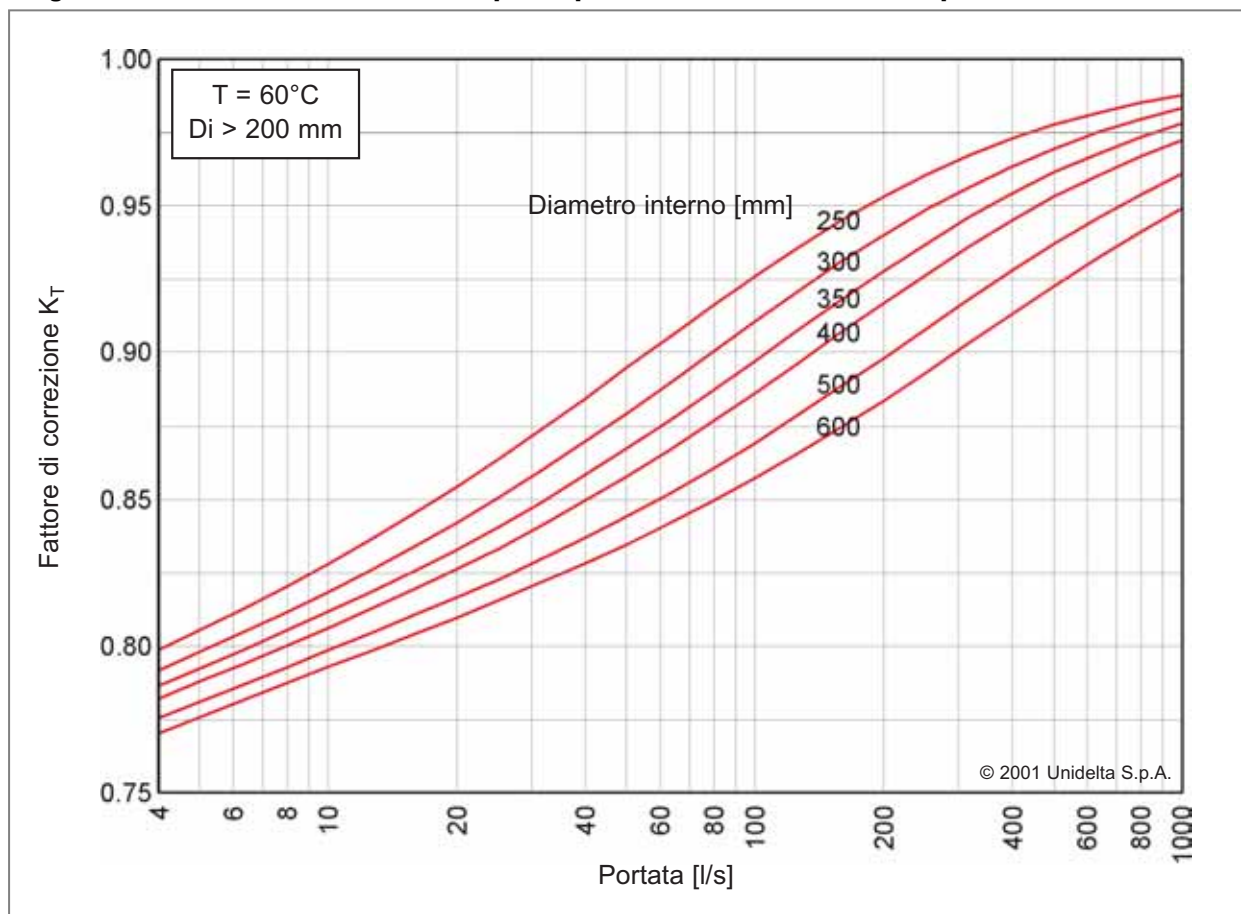


Diagramma 10.2b. Fattore di correzione per acqua a 60°C e diametri interni superiori a 200 mm



Formule pratiche

Quando si ha a che fare con sistemi complessi di condotte costituiti da anelli o ramificazioni è utile l'impiego di formule pratiche anziché dei diagrammi.

Per questo è stata studiata una formula approssimata (A.Giovannini) delle perdite di carico per il trasporto di acqua alla temperatura di 10°C valida per diametri interni compresi tra i 20 mm e i 500 mm e velocità da 0.3 m/s a 3 m/s:

$$J = 1.2256 \cdot 10^8 \cdot Q^{1.8142} \cdot D_i^{-4.86} \quad [10.6]$$

con Q portata in [litri/s], D_i diametro interno in [mm], J perdita di carico espressa in metri di colonna d'acqua per unità di lunghezza del tubo [m/100 m].

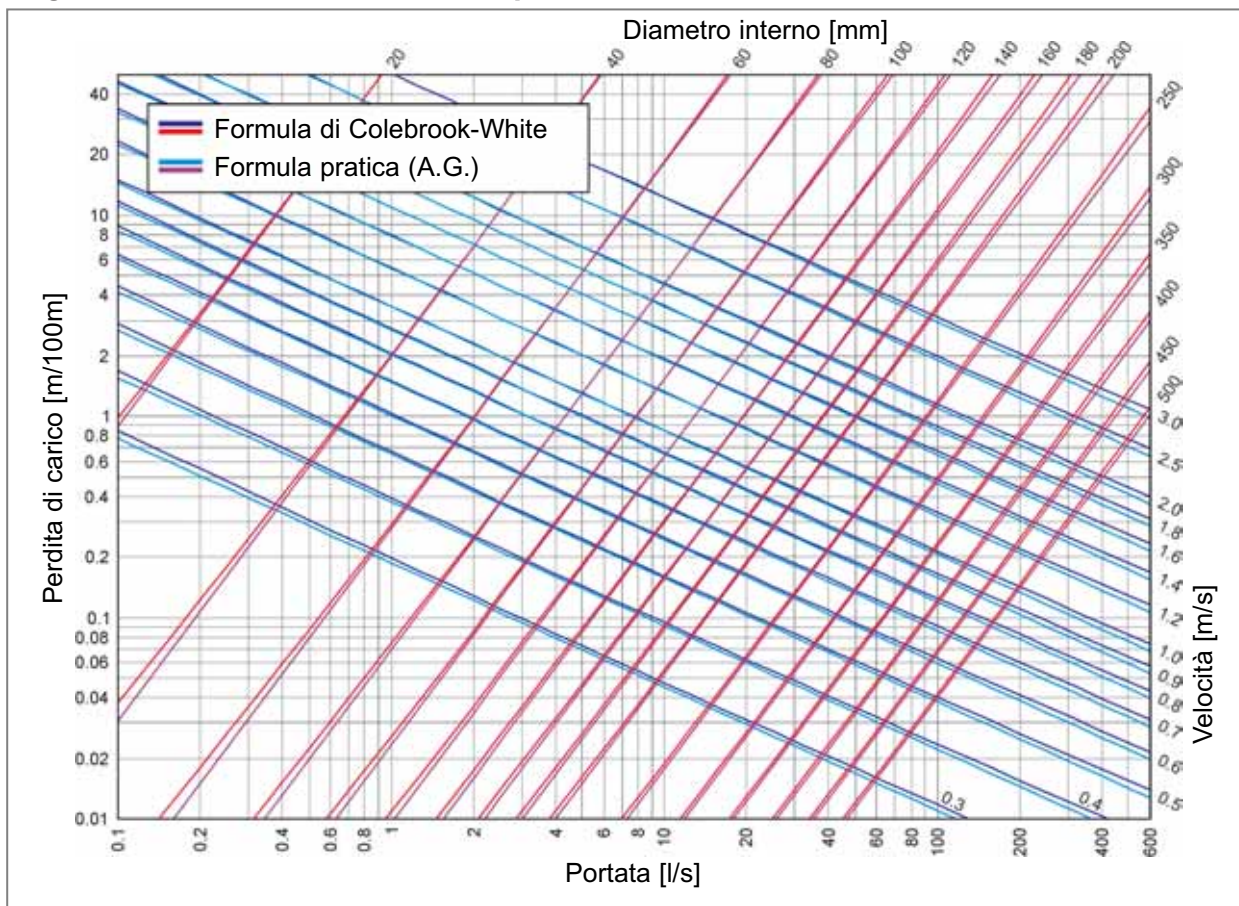
La formula in altre unità di misura diviene:

$$J = 0.8932 \cdot 10^{-3} \cdot Q^{1.8142} \cdot D_i^{-4.86} \quad [10.7]$$

con Q portata in [m³/s], D_i diametro interno in [m], J perdita di carico espressa in metri di colonna d'acqua per unità di lunghezza del tubo [m/m].

Questa formula presenta deviazioni medie dal valore reale intorno al 1.74% e una deviazione massima del 9.78% per una velocità di 0.3 m/s con diametro interno 20 mm che si abbassa al 4.66% con velocità di 0.6 m/s. Il confronto fra i valori reali e quelli derivati dalla formula sono mostrati nel diagramma 10.3.

Diagramma 10.3. Confronto tra la formula pratica e la formula di Colebrook-White



La formula 10.6 può essere riscritta nella forma seguente

$$J = \alpha \cdot Q^{1.8142} \quad [10.8]$$

dove

$$\alpha = 1.2256 \cdot 10^8 \cdot D_i^{-4.86} \quad [10.9]$$

è il coefficiente che ingloba il termine dipendente esclusivamente dal diametro interno D_i .

Per rendere più agevole l'impiego di tale formula in tabella 10.2 si sono quindi riportati i valori che assume il coefficiente α in relazione al tipo di tubo utilizzato.

Esempio 3

Si determini la perdita di carico dell'esempio 1 del presente capitolo mediante la formula pratica sopra esposta.

L'esempio riporta una portata di 10 l/s in un tubo di lunghezza 1000 m, diametro esterno $D_e = 160$ mm, PN20 secondo UNI 10910.

Nella tabella 10.2 si ha che il coefficiente α della formula 10.8 è $1.1448 \cdot 10^{-2}$ e quindi la perdita di carico per 100 metri di tubo è:

$$J = 1.1448 \cdot 10^{-2} \cdot Q^{1.8142} = 1.1448 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{1.8142} = 0.746 \text{ m/100m}$$

da cui si calcola una perdita complessiva $\Delta H = 0.746 \cdot (1000 / 100) = 7.46$ metri di colonna d'acqua. La differenza riscontrata rispetto al valore ricavato nell'esempio 1 con il diagramma è di circa 1.8%.

Esempio 4

Si devono trasportare 50 l/s di acqua attraverso una condotta di 10000 m, la pressione di ingresso alla condotta è 6 bar e la pressione all'uscita non deve essere inferiore a 5.5 bar. Determinare il diametro del tubo idoneo per tale applicazione.

Il flusso lungo i 10000 m subisce una perdita di carico corrispondente a $6 - 5.5 = 0.5$ bar = 5.09 m e quindi la perdita J ogni 100 m di condotta (invertendo la 10.4) è $5.09 / (10000 / 100) = 0.0509$ m/100m.

Esplicitando la formula 10.6 in funzione di D_i

$$D_i = \left(\frac{J}{1.2256 \cdot 10^8 \cdot Q^{1.8142}} \right)^{\frac{1}{-4.86}}$$

si ricava un valore $D_i = 366.93$ mm.

Scegliendo un tubo UNI 10910 di classe PN12.5 si dovrà impiegare un $D_e = 450$ mm che assicura un diametro interno di 368 mm > 366.93 mm (tabella 8.5).

La perdita di carico effettiva può essere calcolata utilizzando la formula 10.8 unitamente alla tabella 10.2 da cui

$$J = 4.1527 \cdot 10^{-5} \cdot 50^{1.8142} = 0.0502 \text{ m/100m}$$

La perdita di carico complessiva è $0.0502 \cdot (10000 / 100) = 5.02$ m = 0.492 bar e la pressione all'uscita della condotta risulta essere $6 - 0.492 = 5.507$ bar quindi molto vicina al valore richiesto.

Tabella 10.2. Valori del coefficiente α calcolati con la formula 10.8

De [mm]	PE 40			PE 80			PE 100				
	PN4	PN6	PN10	PN4	PN6	PN10	PN16	PN6.3	PN10	PN16	PN25
16	4.3889·10 ²	5.0969·10 ²	8.2240·10 ²		1.3594·10 ²	1.6222·10 ²	2.8755·10 ²				3.2974·10 ²
20	1.3594·10 ²	1.4409·10 ²	2.6890·10 ²		3.8322·10 ¹	5.2911·10 ¹	9.7213·10 ¹				9.7213·10 ¹
25	4.0078·10 ¹	5.0461·10 ¹	9.2130·10 ¹		1.0968·10 ¹	1.6277·10 ¹	2.9536·10 ¹			1.6277·10 ¹	2.8319·10 ¹
32	1.0968·10 ¹	1.5113·10 ¹	2.8319·10 ¹		3.6324·10 ⁰	5.4214·10 ⁰	9.9015·10 ⁰			5.4214·10 ⁰	9.5740·10 ⁰
40	3.7338·10 ⁰	5.1094·10 ⁰	9.2595·10 ⁰	3.0083·10 ⁰	1.2348·10 ⁰	1.8220·10 ⁰	3.2586·10 ⁰		1.2623·10 ⁰	1.8220·10 ⁰	3.2586·10 ⁰
50	1.2623·10 ⁰	1.6972·10 ⁰	3.1725·10 ⁰	1.0171·10 ⁰	3.9784·10 ⁻¹	5.9302·10 ⁻¹	1.0612·10 ⁰		4.1199·10 ⁻¹	5.9302·10 ⁻¹	1.0388·10 ⁰
63	4.0484·10 ⁻¹	5.5014·10 ⁻¹	1.0388·10 ⁰	3.2968·10 ⁻¹	1.7085·10 ⁻¹	2.5394·10 ⁻¹	4.5826·10 ⁻¹		1.7594·10 ⁻¹	2.4995·10 ⁻¹	4.5013·10 ⁻¹
75	1.7594·10 ⁻¹	2.3841·10 ⁻¹	4.4217·10 ⁻¹	1.3978·10 ⁻¹	6.9922·10 ⁻²	1.0359·10 ⁻¹	1.8949·10 ⁻¹		7.2534·10 ⁻²	1.0359·10 ⁻¹	1.8393·10 ⁻¹
90	7.1651·10 ⁻²	9.8289·10 ⁻²	1.8122·10 ⁻¹	5.7760·10 ⁻²	2.6543·10 ⁻²	3.8970·10 ⁻²	7.0780·10 ⁻²		2.7352·10 ⁻²	3.8970·10 ⁻²	6.9922·10 ⁻²
110	2.7079·10 ⁻²	3.6932·10 ⁻²	6.8244·10 ⁻²	2.1828·10 ⁻²	1.4187·10 ⁻²	2.1010·10 ⁻²	3.8139·10 ⁻²		1.4566·10 ⁻²	2.1010·10 ⁻²	3.7329·10 ⁻²
125				1.1741·10 ⁻²	8.2096·10 ⁻³	1.2145·10 ⁻²	2.2038·10 ⁻²		8.4054·10 ⁻³	1.2042·10 ⁻²	2.1619·10 ⁻²
140				6.7238·10 ⁻³	4.2776·10 ⁻³	6.3334·10 ⁻³	1.1448·10 ⁻²		4.3969·10 ⁻³	6.3334·10 ⁻³	1.1258·10 ⁻²
160				3.5204·10 ⁻³	2.4077·10 ⁻³	3.5671·10 ⁻³	6.4765·10 ⁻³		2.4824·10 ⁻³	3.5671·10 ⁻³	6.3334·10 ⁻³
180				1.9889·10 ⁻³	1.4482·10 ⁻³	2.1348·10 ⁻³	3.8638·10 ⁻³		1.4885·10 ⁻³	2.1348·10 ⁻³	3.8123·10 ⁻³
200				1.1870·10 ⁻³	8.1599·10 ⁻⁴	1.2060·10 ⁻³	2.1863·10 ⁻³		8.4028·10 ⁻⁴	1.2060·10 ⁻³	2.1476·10 ⁻³
225				6.7085·10 ⁻⁴	4.8852·10 ⁻⁴	7.2346·10 ⁻⁴	1.3063·10 ⁻³		4.0089·10 ⁻⁴	7.2002·10 ⁻⁴	1.2854·10 ⁻³
250				4.0258·10 ⁻⁴	2.8159·10 ⁻⁴	4.1644·10 ⁻⁴		2.3066·10 ⁻⁴	2.8944·10 ⁻⁴	4.1467·10 ⁻⁴	7.4091·10 ⁻⁴
280				2.3153·10 ⁻⁴	1.5893·10 ⁻⁴	2.3505·10 ⁻⁴		1.3040·10 ⁻⁴	1.6343·10 ⁻⁴	2.3416·10 ⁻⁴	4.1821·10 ⁻⁴
315				1.3084·10 ⁻⁴	8.8695·10 ⁻⁵	1.3128·10 ⁻⁴		7.2860·10 ⁻⁵	9.1486·10 ⁻⁵	1.3084·10 ⁻⁴	2.3328·10 ⁻⁴
355				7.3076·10 ⁻⁵	4.9730·10 ⁻⁵	7.3512·10 ⁻⁵		4.0767·10 ⁻⁵	5.1116·10 ⁻⁵	7.3294·10 ⁻⁵	1.3084·10 ⁻⁴
400				4.0875·10 ⁻⁵	2.8030·10 ⁻⁵	4.1527·10 ⁻⁵		2.2992·10 ⁻⁵	2.8864·10 ⁻⁵	4.1417·10 ⁻⁵	7.3730·10 ⁻⁵
450				2.3100·10 ⁻⁵	1.6785·10 ⁻⁵			1.3775·10 ⁻⁵	1.7310·10 ⁻⁵	2.4794·10 ⁻⁵	
500				1.3833·10 ⁻⁵	9.6773·10 ⁻⁶			7.9427·10 ⁻⁶	9.9666·10 ⁻⁶	1.4279·10 ⁻⁵	
560				7.9726·10 ⁻⁶				4.4828·10 ⁻⁶	5.6276·10 ⁻⁶	8.0632·10 ⁻⁶	
630				4.4978·10 ⁻⁶							

Bilancio energetico dei sistemi idraulici

Un fluido di peso specifico γ [N/m³] in moto a velocità v [m/s] e pressione p [N/m²] all'interno di una condotta in un punto a quota z [m] rispetto ad un riferimento a cui si attribuisce il valore 0 è caratterizzato dall'energia H [m] chiamata carico totale. Tale energia è data dall'espressione seguente:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad [10.10]$$

ognuno dei tre termini costituenti il carico totale possiede una denominazione specifica:

z altezza geodetica dovuta all'andamento della condotta,

$\frac{p}{\gamma}$ altezza piezometrica derivata dalla pressione del fluido,

$\frac{v^2}{2 \cdot g}$ altezza cinetica dovuta alla velocità del fluido (accelerazione di gravità $g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

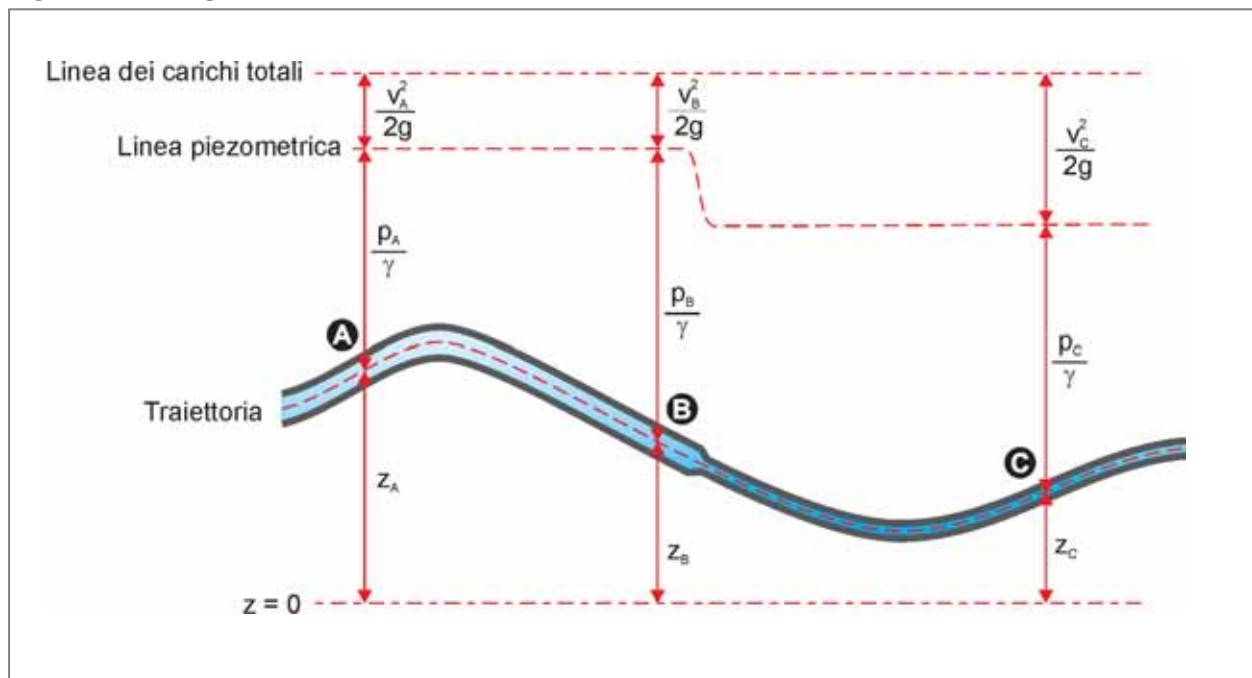
Se il fluido non fosse soggetto alle perdite per attrito il suo carico totale si manterrebbe costante lungo la condotta, quindi in ogni punto A, B, C, ... il carico totale H_A , H_B , H_C , ... avrebbe lo stesso valore (figura 10.1):

$$H_A = H_B = H_C \quad [10.11]$$

ovvero

$$z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{v_A^2}{2 \cdot g} = z_B + \frac{p_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2 \cdot g} = z_C + \frac{p_C}{\gamma} + \frac{v_C^2}{2 \cdot g} \quad [10.12]$$

Figura 10.1. Diagramma dei carichi totali



Poiché la velocità del fluido è data da

$$v = Q / A_u \quad [10.13]$$

dove Q è la portata e A_u la sezione di passaggio, se la condotta ha diametro costante lungo tutta la lunghezza allora, per la conservazione della massa, la velocità assume valore v costante e $v_A = v_B = v_C = v$.

Il fluido nel suo moto è soggetto in realtà a perdite per attrito ΔH che riducono il suo carico totale (figura 10.2),

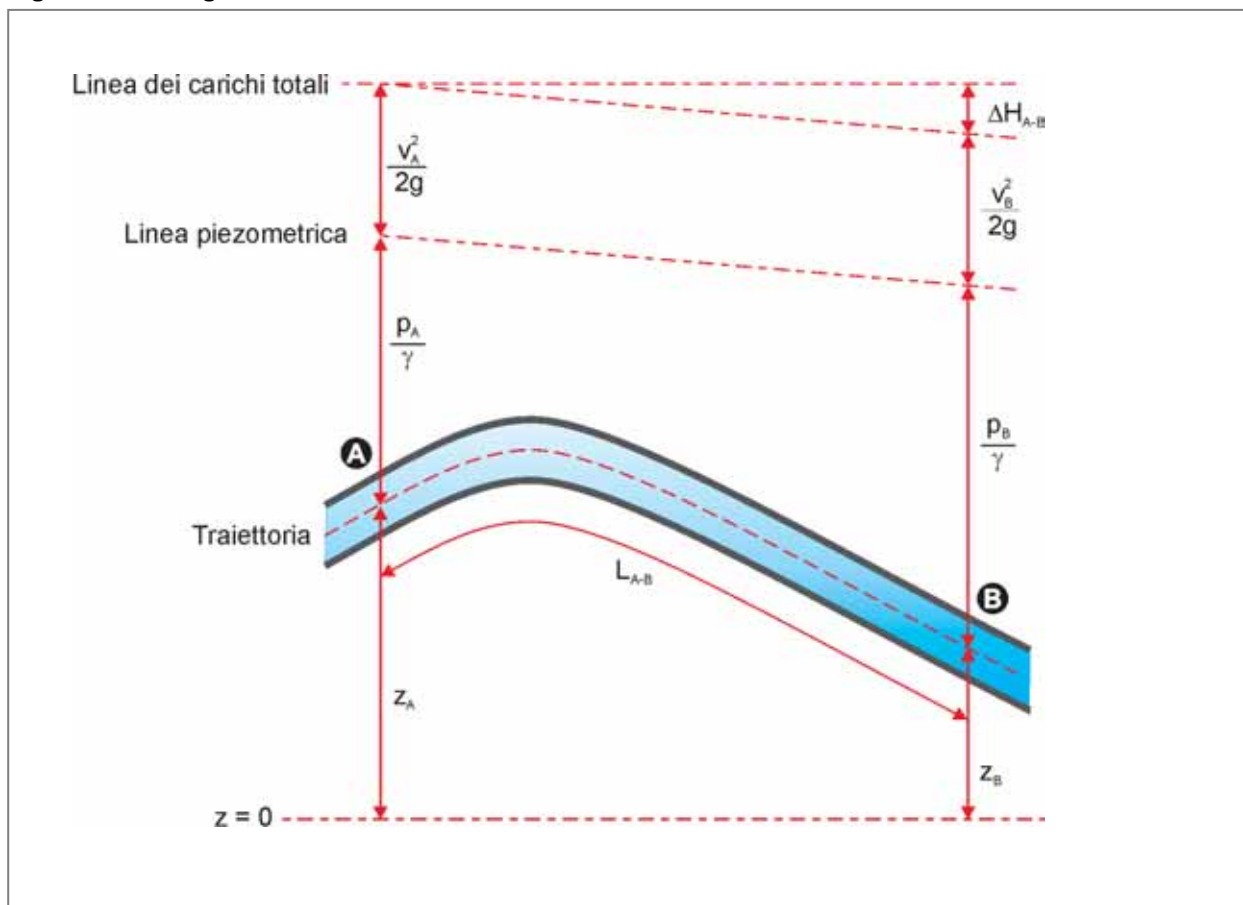
$$H_A = H_B + \Delta H_{A-B} \quad [10.14]$$

dove ΔH_{A-B} è la perdita di carico nel tratto A-B di lunghezza L_{A-B}

$$\Delta H_{A-B} = J \cdot L_{A-B} \quad [10.15]$$

con J la perdita di carico per unità di lunghezza.

Figura 10.2. Diagramma dei carichi totali



Esempio 5

Si consideri la figura 10.2 e si supponga che il tubo sia un PN12.5, $D_e = 32$ mm secondo UNI 10910, che $z_A = 150$ m, $z_B = 110$ m, $p_A = 6$ bar, $v = 1$ m/s e che la lunghezza del tratto tra A e B sia 200 m. Determinare la pressione in B e valutare l'idoneità del tubo prescelto.

Come si è visto il bilancio energetico della tratta A-B è dato dall'espressione 10.14, l'energia posseduta dal fluido in A equivale all'energia del fluido in B più l'energia persa per attrito lungo il percorso A-B.

I carichi totali H_A e H_B sono dati dall'espressione 10.10

$$H_A = 150 \text{ m} + \frac{6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2}{9810 \text{ N/m}^3} + \frac{(1 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 211.21 \text{ m}$$

$$H_B = 110 \text{ m} + \frac{p_B}{9810 \text{ N/m}^3} + \frac{(1 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 110.05 \text{ m} + \frac{p_B}{9810 \text{ N/m}^3}$$

dove p_B è incognita.

La perdita di carico è data dall'espressione 10.15 unitamente alla formula pratica nella forma 10.7

$$\Delta H_{A-B} = 0.8932 \cdot 10^{-3} \cdot 0.000531^{1.8142} \cdot 0.026^{-4.86} \cdot 200 \text{ m} = 10.32 \text{ m}$$

poiché $Q = v \cdot A_u = 0.000531 \text{ m}^3/\text{s}$ e $D_i = 26$ mm (tabella 8.5).

L'espressione 10.14 diviene

$$211.21 \text{ m} = 110.05 \text{ m} + \frac{p_B}{9810 \text{ N/m}^3} + 10.32 \text{ m}$$

da cui, esplicitando p_B , si ha

$$p_B = 8.91 \text{ bar.}$$

La pressione in uscita alla condotta è maggiore rispetto alla pressione in ingresso poiché la perdita di carico che si ha lungo la tratta è inferiore all'incremento di carico dovuto al dislivello.

Esempio 6

Si voglia dimensionare la condotta di figura 10.3 dove $z_1 = 100$ m e $z_4 = 200$ m, le lunghezze dei due tratti di condotta siano $L_{1-2} = 20$ m e $L_{3-4} = 400$ m e la quota z_p alla quale si trova la pompa sia 10 m al di sotto del livello del serbatoio 1. La portata richiesta è di 25 l/s e per ridurre gli effetti di colpo d'ariete la velocità dell'acqua non deve superare i 2 m/s.

Effettuando il bilancio energetico del fluido nei punti 1 e 4 si ha quanto segue:

$$H_1 - \Delta H_{1-2} + \Delta H_p - \Delta H_{3-4} = H_4$$

dove H_1 e H_4 sono i carichi totali del fluido dati dall'espressione 10.10, ΔH_{1-2} e ΔH_{3-4} sono le perdite di carico dei tratti 1-2 e 3-4 rispettivamente, ΔH_p è il carico fornito dalla pompa al fluido e può essere individuato sulla figura dal punto di discontinuità della linea dei carichi in corrispondenza della pompa stessa. L'acqua in corrispondenza del pelo libero dei serbatoi è a pressione atmosferica e la sua velocità nulla in quanto si suppone che i serbatoi siano sufficientemente ampi da considerare in quiete il fluido in superficie. Quindi l'energia totale del fluido nei punti 1 e 4 corrisponde alla quota dei due serbatoi:

$$z_1 - \Delta H_{1-2} + \Delta H_p - \Delta H_{3-4} = z_4$$

Dato che la velocità massima nel tubo è stata imposta si può calcolare la sezione del tubo in prima approssimazione invertendo la relazione 10.13:

$$A_u = Q / v = (25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) / (2 \text{ m/s}) = 0.0125 \text{ m}^2 = 125 \text{ cm}^2$$

Si supponga di impiegare un tubo PN20 in PE 80 secondo UNI 10910; dalla tabella 8.6 si può osservare che il diametro che assicura una sezione di passaggio almeno pari a 125 cm^2 è il $De = 180$ mm avente sezione $A_u = 133.14 \text{ cm}^2$.

Quindi la velocità effettiva all'interno del tubo è:

$$v = Q / A_u = (25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) / (0.013314 \text{ m}^2) = 1.88 \text{ m/s}.$$

Dal diagramma 8.4 o dalla formula 10.6 si ricava la perdita di carico per 100 metri di condotta

$$J = 1.2256 \cdot 10^8 \cdot 25^{1.8142} \cdot 130.2^{-4.86} = 2.23 \text{ m}/100\text{m}$$

e quindi

$$\Delta H_{1-2} = J \cdot (L_{1-2} / 100) = 2.23 \cdot (20/100) = 0.446 \text{ m}$$

$$\Delta H_{3-4} = J \cdot (L_{3-4} / 100) = 2.23 \cdot (400/100) = 8.92 \text{ m}$$

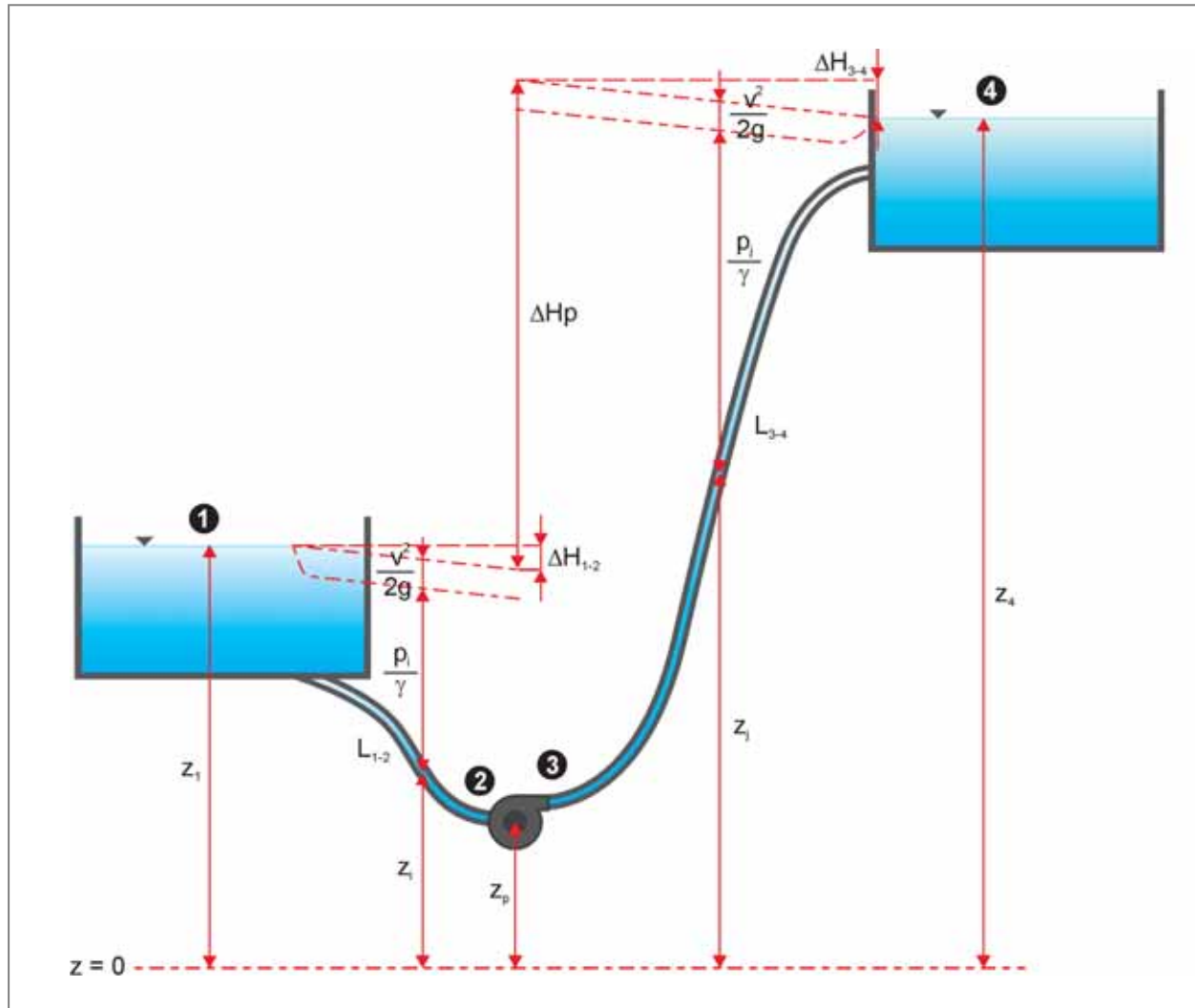
Note le perdite di carico nei due tratti, dall'espressione di bilancio energetico si determina la prevalenza che deve avere la pompa:

$$\Delta H_p = z_4 - z_1 + \Delta H_{1-2} + \Delta H_{3-4} = 200 - 100 + 0.446 + 8.92 = 109.366 \text{ m}.$$

e quindi la potenza che la pompa deve cedere al fluido è:

$$P_p = \gamma \cdot Q \cdot \Delta H_p = 9810 \text{ N/m}^3 \cdot (25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}) \cdot 109.366 \text{ m} = 26.8 \text{ kW}.$$

Figura 10.3. Schema di impianto dell'esempio 6



Per valutare se la scelta di un tubo di classe di pressione 16 bar è corretta è necessario calcolare la massima pressione che si ha nell'impianto. Osservando in figura 10.3 l'andamento dei carichi si vede che la massima pressione si ha in corrispondenza dell'uscita del fluido dalla pompa (punto 3).

Applicando il bilancio energetico tra il punto 3 ed il punto 4 sul pelo libero del serbatoio si ha:

$$H_3 = H_4 + \Delta H_{3-4}$$

ovvero

$$z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = z_4 + \Delta H_{3-4}$$

da cui

$$\frac{p_3}{\gamma} = z_4 - z_3 - \frac{v^2}{2g} + \Delta H_{3-4} = 200 - 90 - \frac{1.88^2}{2g} + 8.92 = 118.74 \text{ m}$$

essendo $z_3 \approx z_p = z_1 - 10 \text{ m}$.

La pressione nel punto 3 è dunque $p_3 = 11.63 \text{ bar}$ ed è inferiore alla pressione nominale del tubo di circa 4.3 bar.

11. Dimensionamento delle condotte: perdite di carico per il trasporto di aria compressa

I tubi di polietilene Unidelta sono adatti alla realizzazione di linee di distribuzione di aria compressa interrate o aeree; le caratteristiche fisiche dei tubi di polietilene e le diverse tipologie di giunzione disponibili rendono questo sistema altamente concorrenziale rispetto ai tradizionali sistemi di distribuzione. Per esempio con i collari di presa di polipropilene prodotti da Unidelta è estremamente facile realizzare le calate di alimentazione alle varie utenze o collegare nuove linee di ampliamento all'impianto esistente (fare riferimento al "Catalogo Tecnico Unidelta - Raccordi a compressione e prese a staffa di polipropilene").

Questo capitolo mette a disposizione gli strumenti necessari al dimensionamento delle condotte di polietilene per il trasporto di aria compressa consentendo il calcolo delle perdite di carico e delle caratteristiche fluidodinamiche in diverse condizioni di temperatura e pressione.

Il diagramma 11.1 rappresenta la perdita di carico $\Delta p_{15^\circ\text{C}, 7 \text{ ata}}$ espressa in millibar per metro di condotta [mbar/m] e valutata alla temperatura dell'aria di 15°C e alla pressione assoluta di 7 ata (atmosfera assoluta) in funzione della portata di aria secca $Q_{15^\circ\text{C}, 1 \text{ ata}}$ misurata a 15°C e alla pressione atmosferica (1 ata). Nel diagramma è stato impiegato il diametro interno D_i in modo tale da rendere i valori indipendenti dalla classe di pressione del tubo utilizzato; a tale proposito, per applicazioni aeree, si consiglia l'impiego di tubi aventi classe di pressione minima di 16 bar prodotti secondo UNI 10910.

Le perdite di carico Δp sono state determinate con la formula di Darcy-Weisbach ove è stato utilizzato un coefficiente di perdita del tipo $\lambda = \alpha \cdot \text{Re}^n \cdot D_i^x$ che ha portato all'espressione seguente:

$$\Delta p = \Psi \cdot \gamma_r^{1-n} \cdot \mu_r^n \cdot \left(\frac{T}{T_r} \right)^{m+1} \cdot \frac{p_r}{p} \cdot Q_r^{2-n} \cdot D_i^{n-x-5} \cdot L \quad [11.1]$$

dove Δp è la perdita di carico valutata alle condizioni di temperatura T e pressione p , D_i è il diametro interno del tubo, Q_r è la portata misurata alle condizioni di riferimento $T_r = 15^\circ\text{C}$ e $p_r = 1 \text{ ata}$, L la lunghezza del tubo.

γ_r e μ_r sono il peso specifico e la viscosità dell'aria nelle condizioni di riferimento mentre Ψ , n , m , x sono costanti dipendenti dalla natura del fluido.

Il diagramma 11.2 consente di calcolare la velocità v dell'aria che scorre alla pressione p in un tubo di diametro interno D_i quando è nota la portata misurata alla pressione atmosferica. Questo diagramma è svincolato dal valore della temperatura e quindi il valore della velocità v è relativo alla stessa temperatura alla quale è misurata la portata.

Correzione delle perdite di carico per temperature e pressioni diverse

Nei diagrammi 11.3 e 11.4 vengono tracciati i coefficienti moltiplicativi di correzione che consentono di calcolare la velocità, la portata e la perdita di carico ad una temperatura T ed una pressione p una volta note le stesse grandezze ad una temperatura e una pressione assunte come riferimento:

$$Q_{T,p} = W_T \cdot W_p \cdot Q_{15^\circ\text{C}, 1 \text{ ata}} \quad [11.2]$$

$$v_{T,p} = W_T \cdot K_p \cdot v_{15^\circ\text{C}, 7 \text{ ata}} \quad [11.3]$$

$$\Delta p_{T,p} = K_T \cdot K_p \cdot \Delta p_{15^\circ\text{C}, 7 \text{ ata}} \quad [11.4]$$

La temperatura assunta come riferimento è $T_r = 15^\circ\text{C}$ per tutte e tre le grandezze mentre la pressione di riferimento vale $p_r = 1 \text{ ata}$ per la portata e $p_r = 7 \text{ ata}$ per la velocità e la perdita di carico.

Alcune proprietà dell'aria

Nel diagramma 11.5 è tracciata la densità dell'aria secca in funzione della temperatura e della pressione mentre con il diagramma 11.6 è possibile determinare la massima quantità di acqua, espressa in grammi, che può essere contenuta in un metro cubo di aria secca in funzione della temperatura e della pressione.

Esempio

Si debba alimentare un'utenza con una portata di aria secca di $10 \text{ m}^3/\text{min}$ (misurata a 15°C e 1 ata). L'aria viene fornita alla temperatura di 25°C e alla pressione di 5 ata attraverso un tubo di polietilene diametro $D_e = 90 \text{ mm}$ in PE 80 secondo UNI 10910. Si calcoli la perdita di carico nel condotto e la velocità dell'aria.

Dalla tabella 8.6 si ha che il diametro interno del tubo in considerazione è $D_i = 65 \text{ mm}$ quindi dal diagramma 11.1 si ha che la perdita di carico è:

$$\Delta p_{15^\circ\text{C}, 7 \text{ ata}} = 0.56 \text{ mbar/m}$$

valutata alla temperatura di 15°C e pressione assoluta 7 ata .

Tale valore deve essere riferito alla temperatura e alla pressione di utilizzo (25°C e 5 ata). Moltiplicando, come indicato nell'espressione 11.4, per i fattori correttivi $K_T = 1.04$ e $K_p = 1.4$ dei diagrammi 11.3 e 11.4, la perdita di carico effettiva diventa:

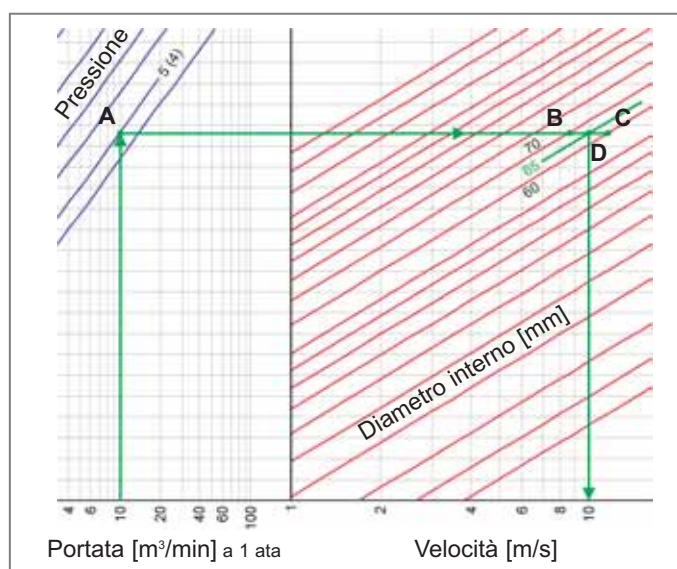
$$\Delta p_{25^\circ\text{C}, 5 \text{ ata}} = 1.04 \cdot 1.4 \cdot 0.56 \text{ mbar/m} = 0.815 \text{ mbar/m}.$$

Dal diagramma 11.1 si ricava anche la velocità dell'aria nel condotto $v = 7.2 \text{ m/s}$ valutata a 15°C e 7 ata che riportata a 25°C e 5 ata mediante i fattori correttivi $W_T = 1.03$ e $K_p = 1.4$ diventa:

$$v = 1.03 \cdot 1.4 \cdot 7.2 \text{ m/s} = 10.4 \text{ m/s}$$

come indicato nell'espressione 11.3.

La velocità può essere determinata direttamente anche dal diagramma 11.2 in funzione della portata di $10 \text{ m}^3/\text{min}$, del diametro interno 65 mm e della pressione di esercizio di 5 ata (come mostrato in figura).



Infine per conoscere la portata volumica di aria che fluisce nel condotto nelle condizioni reali è sufficiente moltiplicare per i fattori correttivi $W_T = 1.03$ e $W_P = 0.2$ dei diagrammi 11.3 e 11.4 come indicato nell'espressione 11.2:

$$Q_{25^\circ\text{C}, 5 \text{ ata}} = 1.03 \cdot 0.2 \cdot 10 \text{ m}^3/\text{min} = 2.06 \text{ m}^3/\text{min}.$$

Diagramma 11.1. Tubi Unidelta di polietilene alta densità.

Perdite di carico per aria secca alla temperatura $T_r = 15^\circ\text{C}$ e pressione assoluta $p_r = 7$ ata (relativa 6 ate).

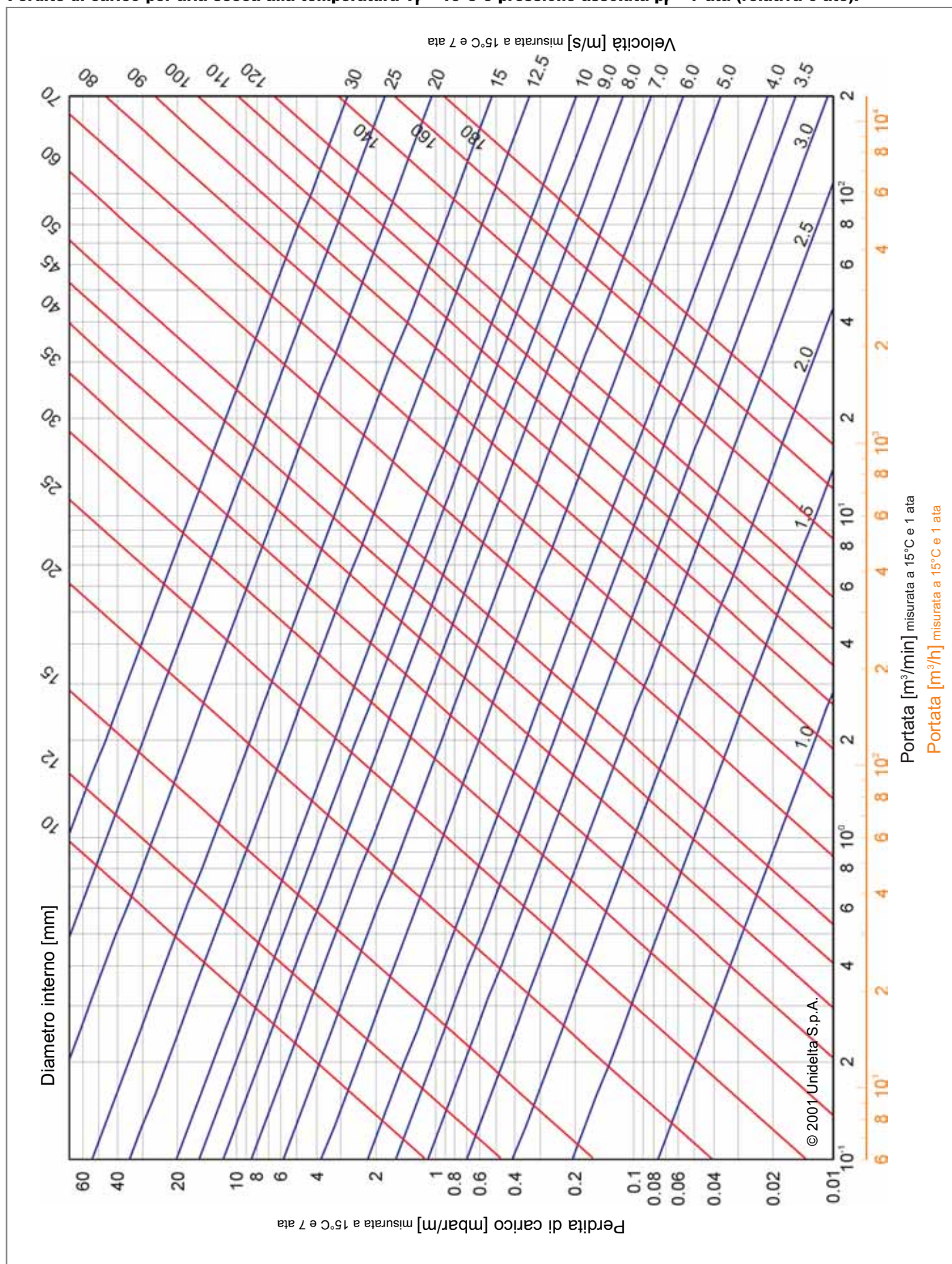


Diagramma 11.2. Tubi Unidelta di polietilene alta densità.
Relazione tra portata e velocità dell'aria secca misurate alla medesima temperatura.

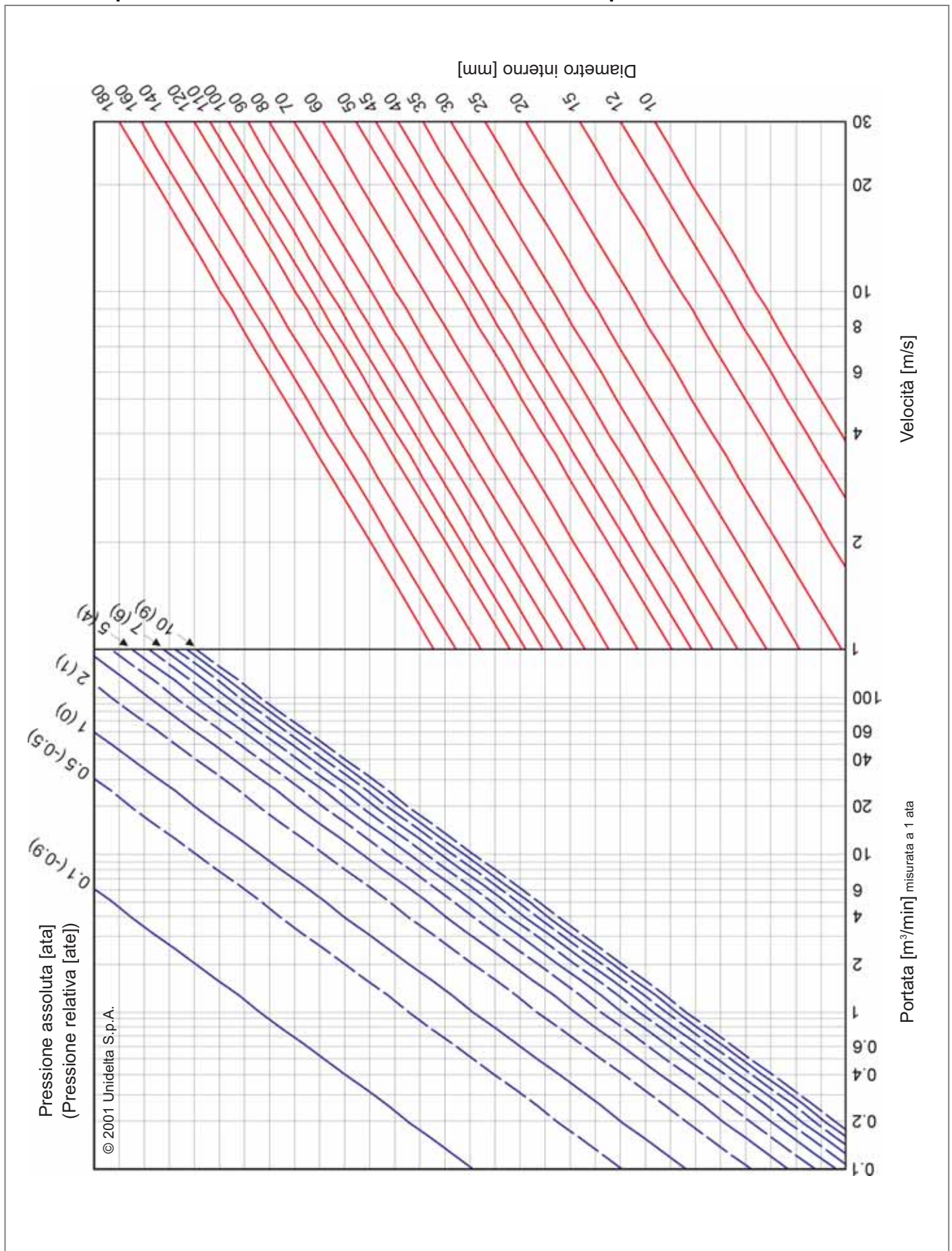


Diagramma 11.3. Fattori di correzione per aria secca a temperature diverse da 15°C

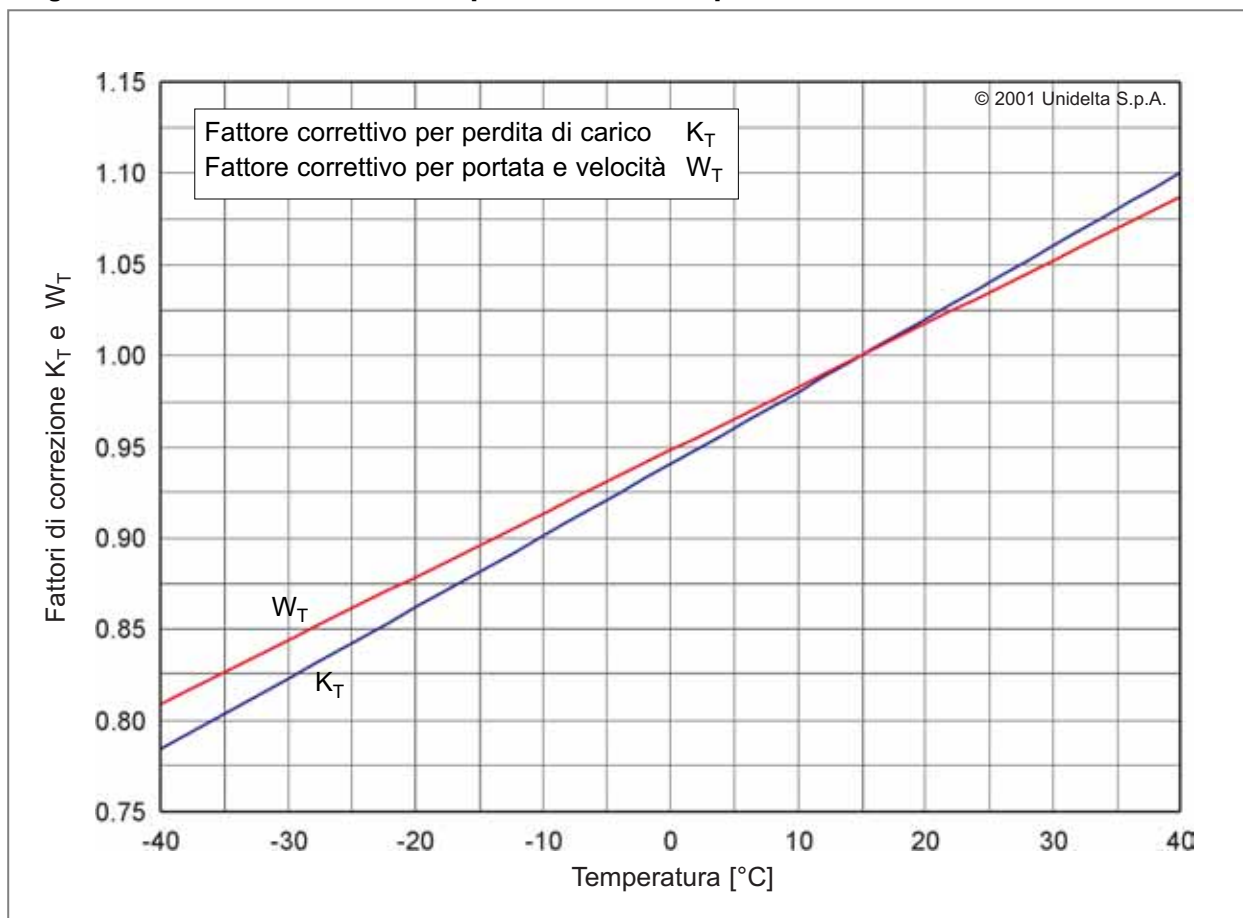


Diagramma 11.4. Fattori di correzione per aria secca a pressioni diverse da quella di riferimento

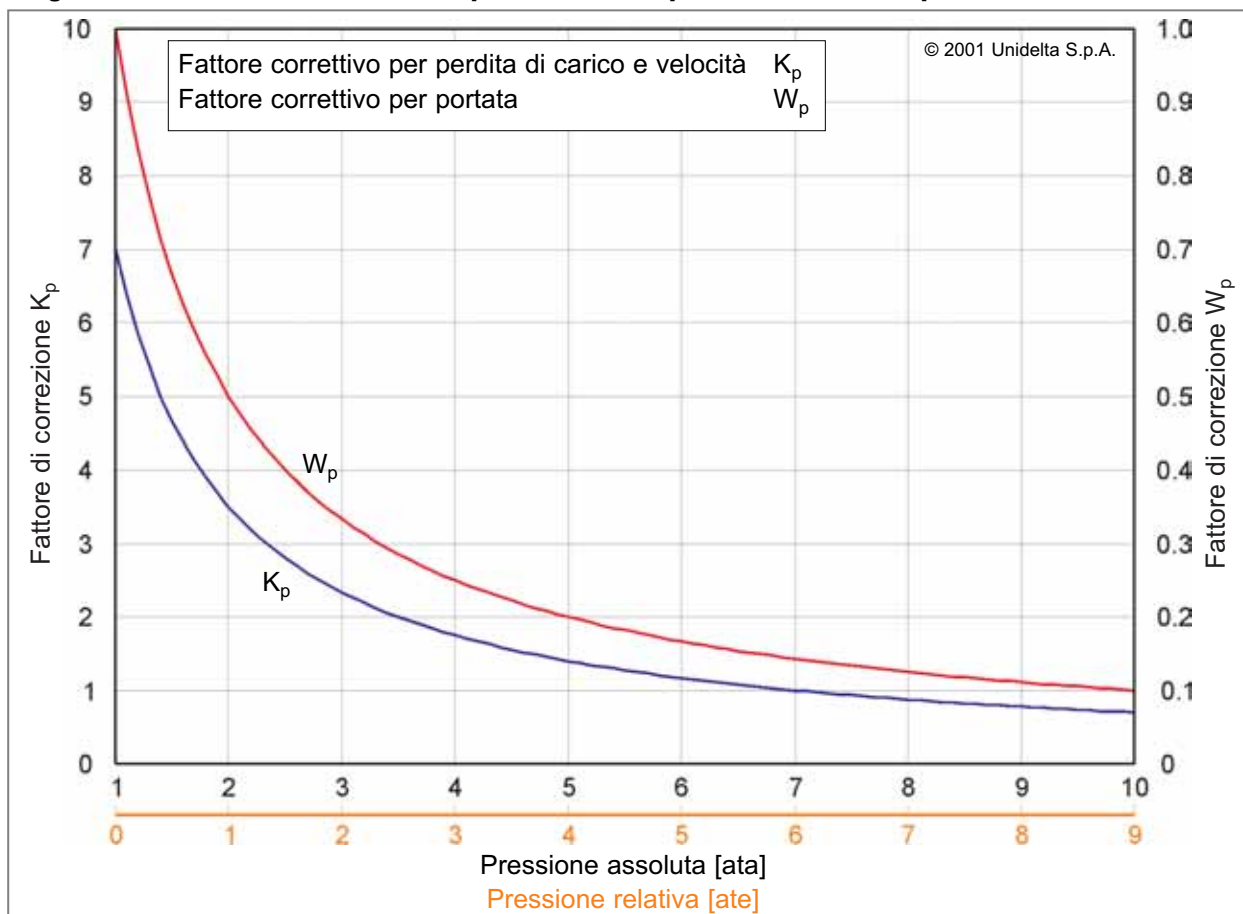
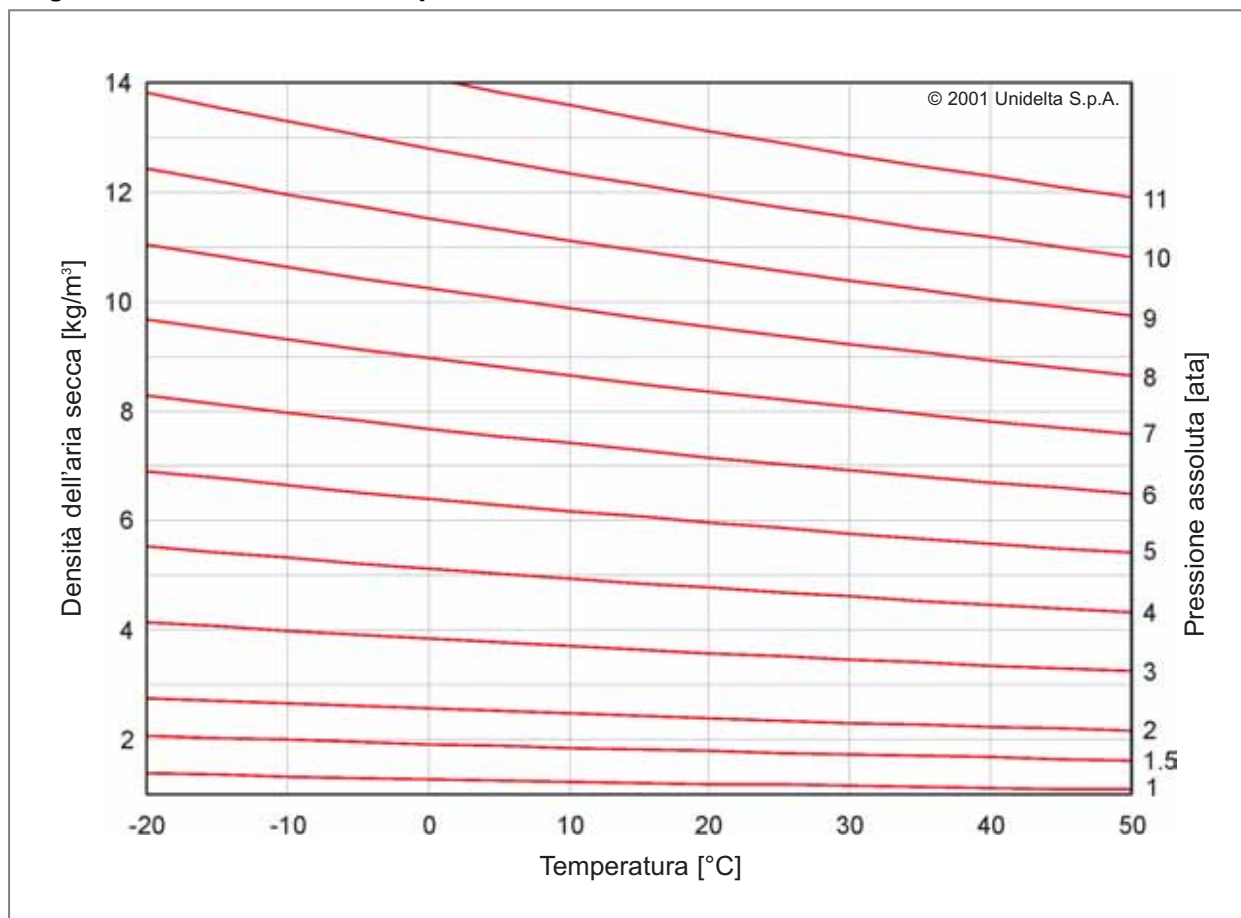
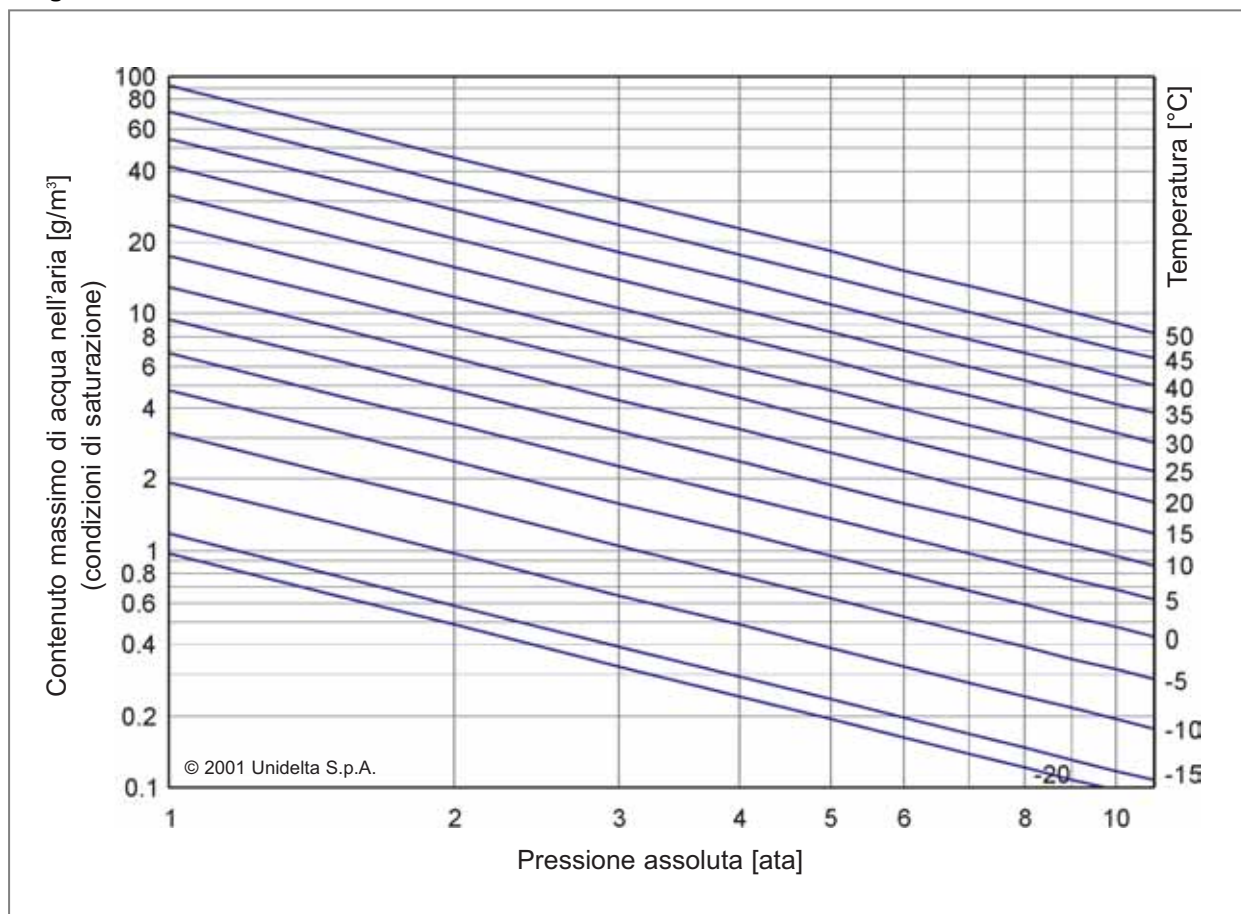


Diagramma 11.5. Contenuto di acqua nell'aria in condizioni di saturazione**Diagramma 11.6. Densità dell'aria secca**

12. Tubi Unidelta di Polietilene Alta Densità PE 80 per condotte di scarico interrate secondo UNI 7613

I tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 7613 (Tipo 303) sono destinati alla realizzazione di condotte interrate per il convogliamento di acque di scarico civili ed industriali aventi temperatura massima permanente di 40°C. I tubi Unidelta UNI 7613 sono dimensionati con una sollecitazione di progetto di 5.0 MPa ($C_s = 1.6$) considerando una pressione massima ipotetica di 3.2 bar.



Requisiti fisico-meccanici

I requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 7613 sono esposti nella tabella seguente.

Tabella 12.1. Requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 80 UNI 7613

Requisito	Unità	Valore	Metodo
Indice di fluidità a 190°C peso 5 kg (MFR 190/5)	g/10·min	0.40÷0.60	ISO 1133
Tensioni interne sulla lunghezza	%	≤3	UNI 7615
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 15$ MPa, 20°C, >1 ora)	ore	>1	UNI EN 921
Resistenza alla pressione interna ($\sigma = 4.6$ MPa, 80°C, >170 ore)	ore	>170	UNI EN 921
Contenuto di nero fumo	%	2÷2.5	ISO 6964
Indice di dispersione di nero fumo	-	≤3	UNI 9555
Indice di ripartizione di nero fumo	-	≤C2	UNI 9555

Condizioni di impiego

Tali tubi vengono impiegati per la realizzazione di condotte per lo scarico di acque usate civili e industriali. Le caratteristiche strutturali di questi tubi sono tali da consentire la posa sotto le seguenti condizioni.

- Minimo ricoprimento misurato a partire dalla generatrice superiore del tubo per traffico fino a 12 tonnellate:
 - 1.0 metri per diametri fino a 600 mm;
 - 1.5 metri per diametri oltre 600 mm.
- Massimo ricoprimento misurato a partire dalla generatrice superiore del tubo:
 - 4.0 metri se la larghezza dello scavo non supera $De + 1$ m;
 - 6.0 metri se la larghezza dello scavo non supera $De + 0.5$ m.

Sotto queste condizioni di interramento e di carico i tubi possono essere impiegati senza ulteriori verifiche di carico statico; per condizioni differenti possono essere impiegati i tubi previsti nella norma UNI 10910. Per ulteriori informazioni fare riferimento alla norma in oggetto UNI 7613.

Tabella 12.2. Tubo Unidelta PN3.2 (SDR 33) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 7613

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Barre [m]
125 ^{+1.2} ₀	3.9 ^{+0.6} ₀	117.2	14.84	107.88	2.723·10 ²	1.53	10.8	6/12
140 ^{+1.3} ₀	4.4 ^{+0.7} ₀	131.2	18.74	135.19	4.313·10 ²	1.93	13.5	6/12
160 ^{+1.5} ₀	5.0 ^{+0.8} ₀	150.0	24.35	176.71	7.319·10 ²	2.51	17.7	6/12
180 ^{+1.7} ₀	5.6 ^{+0.8} ₀	168.8	30.68	223.79	1.168·10 ³	3.14	22.4	6/12
200 ^{+1.8} ₀	6.2 ^{+0.9} ₀	187.6	37.75	276.41	1.774·10 ³	3.87	27.6	6/12
225 ^{+2.1} ₀	7.0 ^{+0.9} ₀	211.0	47.94	349.67	2.851·10 ³	4.88	35.0	6/12
250 ^{+2.3} ₀	7.8 ^{+1.0} ₀	234.4	59.35	431.52	4.356·10 ³	6.04	43.2	6/12
280 ^{+2.6} ₀	8.7 ^{+1.1} ₀	262.6	74.15	541.60	6.829·10 ³	7.54	54.2	6/12
315 ^{+2.9} ₀	9.8 ^{+1.2} ₀	295.4	93.96	685.35	1.095·10 ⁴	9.54	68.5	6/12
355 ^{+3.2} ₀	11.0 ^{+1.3} ₀	333.0	118.88	870.92	1.760·10 ⁴	12.04	87.1	6/12
400 ^{+3.6} ₀	12.4 ^{+1.5} ₀	375.2	150.99	1105.64	2.838·10 ⁴	15.32	110.6	6/12
450 ^{+4.1} ₀	14.0 ^{+1.6} ₀	422.0	191.76	1398.67	4.561·10 ⁴	19.39	139.9	6/12
500 ^{+4.5} ₀	15.5 ^{+1.8} ₀	469.0	235.93	1727.57	6.930·10 ⁴	23.88	172.8	6/12
560 ^{+5.1} ₀	17.4 ^{+2.0} ₀	525.2	296.61	2166.40	1.093·10 ⁵	30.01	216.6	6/12
630 ^{+5.7} ₀	19.6 ^{+2.2} ₀	590.8	375.86	2741.39	1.752·10 ⁵	37.98	274.1	6/12

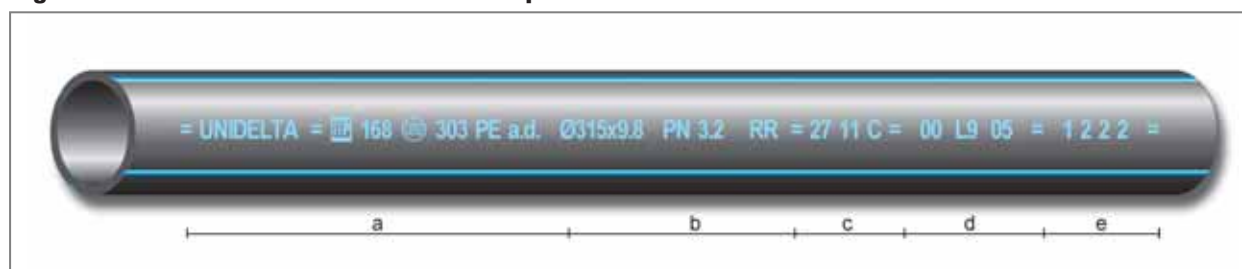
Non esiste norma su questo diametro (tubo non contrassegnato da marchio)

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Barre = Lunghezza dei tubi forniti in barre.

Marcatura

La marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 7613 viene effettuata su ogni metro riportando tutte le informazioni relative alle caratteristiche dimensionali e di impiego del tubo nonché i dati necessari alla rintracciabilità del prodotto (figura 12.1).

Figura 12.1. Marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI 7613



La marcatura contiene le seguenti informazioni (i valori riportati sono di esempio):

- (a) Tubo Unidelta a marchio IIP n°168, tipo 303 secondo norma UNI 7613, prodotto in polietilene alta densità, adatto alla realizzazione di condotte di scarico.
- (b) Diametro esterno 315 mm, spessore 9.8 mm, pressione nominale 3.2 bar, "RR" è l'identificativo della materia prima impiegata ed attribuito dall'Istituto Italiano dei Plastici che l'ha omologata.
- (c) 27 è il giorno di produzione, 11 è il mese di produzione, C è uno dei tre turni di produzione (A, B, C).
- (d) 00 è l'anno di produzione, L9 è la linea di estrusione sulla quale è stato prodotto il tubo, 05 identifica l'operatore addetto all'estrusione durante la produzione del tubo.
- (e) 1222 è il numero di lotto.

13. Dimensionamento idraulico delle condotte di scarico

Il dimensionamento delle condotte di scarico interrate può essere effettuato mediante la formula di Chézy:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot J} \quad [13.1]$$

dove v è la velocità della corrente [m/s]; R è il raggio idraulico della tubazione [m] definito come il rapporto fra l'area A della sezione trasversale della corrente ed il suo perimetro P ; J è la pendenza del condotto [m/m]; $Q = v \cdot A$ è la portata volumica [m³/s].

C è il coefficiente di perdita al quale possono essere assegnate diverse espressioni, la più utilizzata è quella di Bazin:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \quad [13.2]$$

dove γ è l'indice di scabrezza che è uguale a 0.06 m^{1/2}.

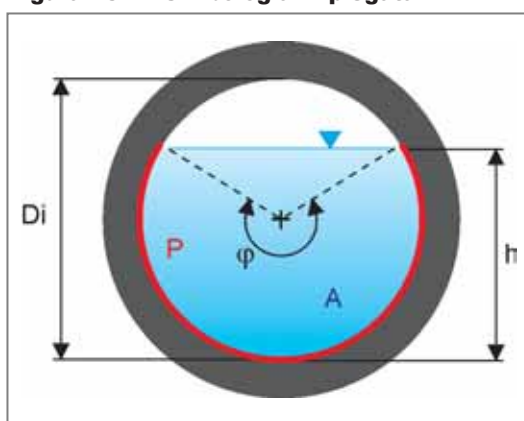
Per la sezione trasversale della corrente A , il perimetro P e il raggio idraulico R si hanno le espressioni seguenti:

$$A = \frac{D_i^2}{8} \cdot (\varphi - \sin\varphi) \quad [13.3]$$

$$P = \frac{D_i \cdot \varphi}{2} \quad [13.4]$$

$$R = \frac{D_i}{4} \cdot \left(1 - \frac{\sin\varphi}{\varphi} \right) \quad [13.5]$$

Figura 13.1. Simbologia impiegata



con l'angolo φ in funzione del grado di riempimento h/D_i , definito come il rapporto fra l'altezza h del pelo libero rispetto al condotto ed il diametro interno D_i , ossia:

$$\varphi = 2 \cdot \arccos \left(1 - 2 \cdot \frac{h}{D_i} \right) \quad [13.6]$$

Nelle tabelle 13.1, 13.2, 13.3, 13.4 e 13.5 sono stati calcolati il raggio idraulico R , la sezione trasversale A , la velocità v e la portata Q della corrente per diversi valori del grado di riempimento h/D_i con una pendenza uguale a 10‰ (10 metri per 1 km). Nella tabella 13.6 è stato calcolato il coefficiente correttivo moltiplicativo K_J della velocità v e della portata Q per pendenze diverse da 10‰ e comprese fra 0.05‰ e 100‰ da applicare come segue:

$$v_{x\text{‰}} = K_J \cdot v_{10\text{‰}} \quad [13.7]$$

$$Q_{x\text{‰}} = K_J \cdot Q_{10\text{‰}} \quad [13.8]$$

Il dimensionamento della condotta può anche essere eseguito avvalendosi dei diagrammi 13.1 e 13.2. Nel diagramma 13.1 sono infatti tracciate le curve della portata Q [l/s] e della velocità della corrente v [m/s] in funzione della pendenza J espressa in metri per km con un grado di riempimento della tubazione $h/Di = 1$ (tubazione piena). Nel diagramma 13.2 sono state determinate le curve dei fattori moltiplicativi K_R per il raggio idraulico, K_A per la sezione di passaggio e i fattori correttivi medi K_V della velocità e K_Q della portata volumica per gradi di riempimento h/Di diversi da 1:

$$R_{h/Di=x} = K_R \cdot R_{h/Di=1} \quad [13.9]$$

$$A_{h/Di=x} = K_A \cdot A_{h/Di=1} \quad [13.10]$$

$$v_{h/Di=x} = K_V \cdot v_{h/Di=1} \quad [13.11]$$

$$Q_{h/Di=x} = K_Q \cdot Q_{h/Di=1} \quad [13.12]$$

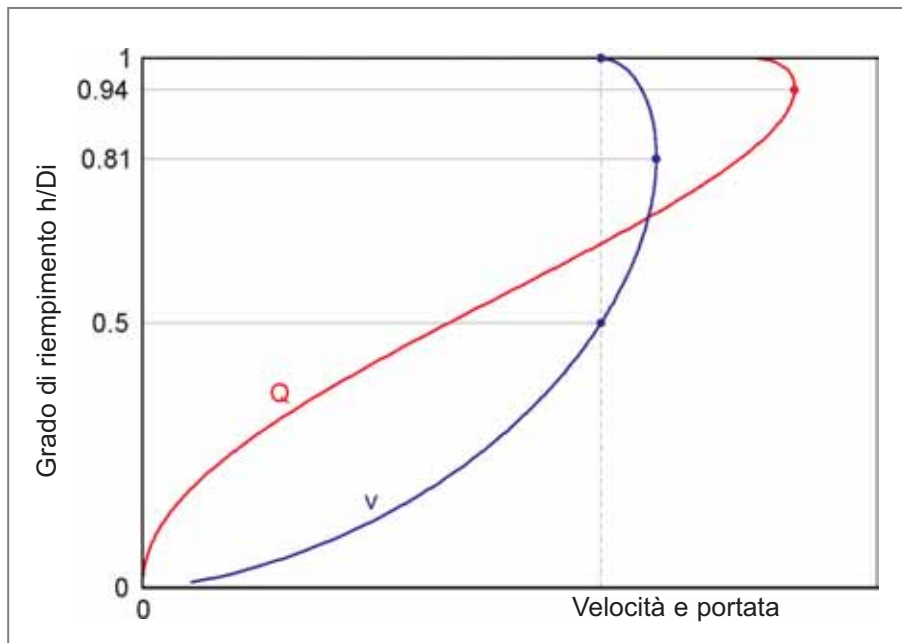
dove, per tubi a sezione circolare, il raggio idraulico e la sezione per grado di riempimento unitario sono rispettivamente

$$R_{h/Di=1} = Di/4 \quad [13.13]$$

$$A_{h/Di=1} = \pi \cdot Di^2/4 \quad [13.14]$$

Alcune considerazioni interessanti possono essere fatte osservando la figura sottostante che mostra il tipico andamento della velocità e della portata in funzione del grado di riempimento del tubo.

Figura 13.2. Velocità e portata in funzione del grado di riempimento del tubo



In corrispondenza della sezione piena ($h/Di = 1$) e della sezione piena a metà ($h/Di = 0.5$) si ha la stessa velocità, sembrerebbe quindi conveniente riempire il tubo fino quasi in sommità ($h/Di = 0.94$) dove si raggiungerebbe la massima portata. In pratica però si preferisce adottare riempimenti inferiori ($h/Di \approx 0.80$) per evitare condizioni di instabilità del flusso. Infatti con riempimenti molto alti basterebbero piccole perturbazioni per occludere la sezione e formare bolle d'aria tra il pelo d'acqua e la volta del tubo e queste sarebbero un grave ostacolo al regolare svolgersi del moto.

Esempio 1

Determinare la velocità e la portata di acqua in una condotta di scarico diametro 200 mm per un grado di riempimento $h/D_i = 80\%$ ed avente una pendenza del 1‰.

Dalla tabella 13.2, in corrispondenza del diametro 200 mm e del grado di riempimento $h/D_i = 0.80$, si determina la velocità $v = 1.66$ m/s e la portata $Q = 39.38$ l/s misurate ad una pendenza del 10‰.

Poiché la condotta è installata con una pendenza del 1‰ è necessario calcolare la velocità e la portata effettive applicando il fattore correttivo K_J come specificato dalle relazioni 13.7 e 13.8. Dalla tabella 13.6, in corrispondenza della pendenza $J = 1\text{‰}$, si determina $K_J = 0.316$ e quindi la velocità e la portata effettive sono rispettivamente $v = 0.316 \cdot 1.66$ m/s = 0.52 m/s e $Q = 0.316 \cdot 39.38$ l/s = 12.44 l/s.

Esempio 2

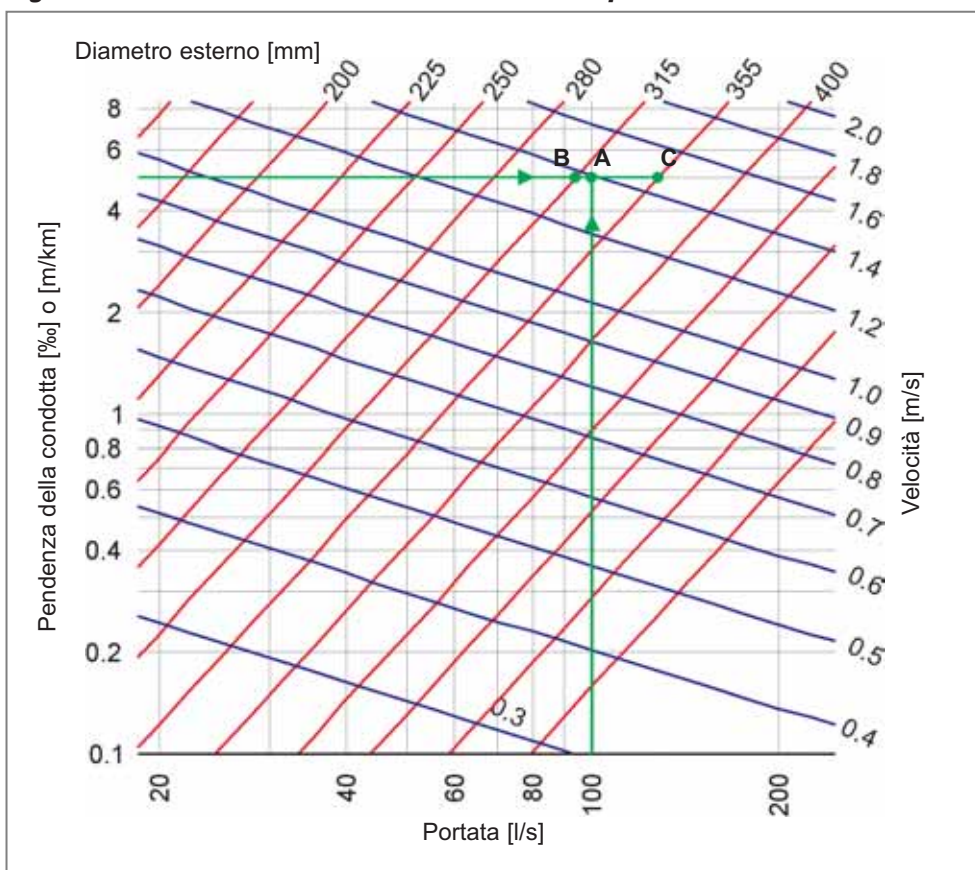
Si voglia dimensionare una condotta di scarico per una portata di 100 l/s con pendenza 5‰.

Dalla tabella 13.6 si ricava il fattore di correzione $K_J = 0.707$ per una pendenza del 5‰: la portata corrispondente alla pendenza del 10‰ è quindi data da $Q_{10\text{‰}} = Q_{5\text{‰}} / K_J = 100 / 0.707 = 142$ l/s (invertendo la relazione 13.8).

Nelle tabelle a partire dalla 13.1 si osserva che i valori di portata aumentano progressivamente con il diametro del tubo e solo in corrispondenza del diametro 315 mm si incontrano portate dello stesso ordine di grandezza di quella calcolata. Infatti nella tabella 13.3 e per il diametro 315 mm si individua un valore di portata di 141.1 l/s, molto vicino al valore calcolato di 142 l/s e tale da non richiedere interpolazione. In corrispondenza di tale portata si trova un grado di riempimento del 94% quindi un riempimento della condotta quasi completo.

Per evitare problemi di instabilità della corrente è quindi preferibile scegliere il diametro immediatamente superiore, il 355 mm, con il quale, interpolando, si ha un grado di riempimento inferiore $h/D_i = 0.68$. Interpolando i valori di tabella 13.4 si trova una velocità della corrente uguale a $v = K_J \cdot v_{10\text{‰}} = 0.707 \cdot 2.27$ m/s = 1.60 m/s, raggio idraulico $R = 97$ mm e area della sezione trasversale della corrente $A = 630$ cm². Gli stessi risultati si possono ottenere con i diagrammi.

Figura 13.3. Scelta del diametro del tubo dell'esempio 2



Come si vede dalla figura 13.3, sul diagramma 13.1 in corrispondenza della pendenza del 5‰ e per una portata di 100 l/s si individua un punto A compreso tra due linee a diametro costante: quella del 315 mm e quella del 355 mm. La scelta deve cadere sul diametro che garantisce una portata uguale o superiore a quella richiesta e quindi sul 355 mm (punto C) per cui la portata è di 130 l/s e la velocità è 1.47 m/s.

Si ricordi che tale diagramma è definito con $h/D_i = 1$ e quindi anche i valori di portata e velocità ricavati corrispondono a tale grado di riempimento.

Invertendo l'espressione 13.12 si ha che il rapporto fra la portata richiesta e quella che si ha con riempimento totale è $K_Q = Q / Q_{h/D_i=1} = 100 / 130 = 0.77$; tale valore consente di ricavare il grado di riempimento effettivo.

Sul diagramma 13.2 (vedi figura 13.4) tracciando una linea orizzontale al valore di ordinata 0.77 si trova un punto A sulla curva K_Q corrispondente a un grado di riempimento uguale a $h/D_i = 0.67$; i valori degli altri fattori correttivi i relativi a tale livello di riempimento sono $K_R = 1.17$, $K_A = 0.72$ e $K_V = 1.1$ (punti B, C e D). La velocità della corrente è quindi $v = K_V \cdot v_{h/D_i=1} = 1.1 \cdot 1.47 \text{ m/s} = 1.61 \text{ m/s}$.

Dalla tabella 12.2 si legge la sezione di passaggio complessiva del tubo scelto e quindi la sezione trasversale è $A = K_A \cdot A_{h/D_i=1} = 0.72 \cdot 870.92 \text{ cm}^2 = 627.06 \text{ cm}^2$.

Il raggio idraulico della sezione circolare è $D_i/4$ e allora $R = K_R \cdot R_{h/D_i=1} = 1.17 \cdot 333 / 4 = 97 \text{ mm}$.

Figura 13.4. Scelta del diametro del tubo dell'esempio 2

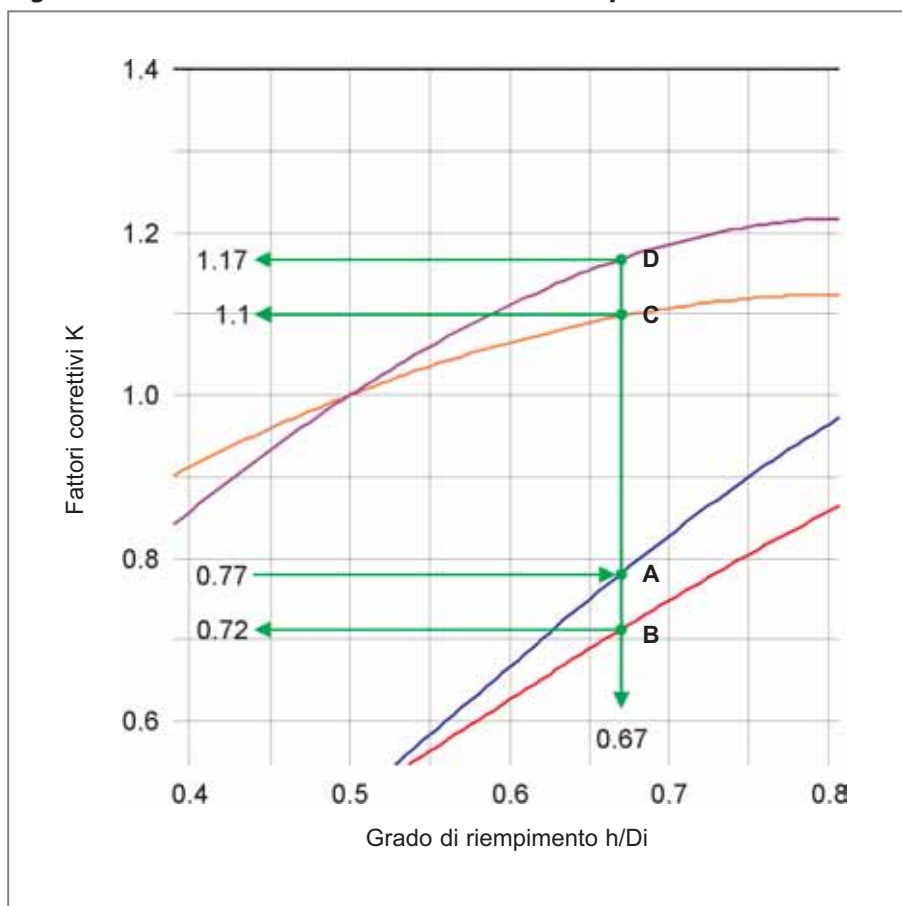


Tabella 13.1. Raggio idraulico R, sezione A, velocità v e portata Q per una pendenza del 10‰ in funzione del grado di riempimento h/Di

Grado h/Di	Diametro esterno del tubo De [mm]											
	125				140				160			
	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]
1.00	29.30	107.88	1.10	11.90	32.80	135.19	1.18	16.00	37.50	176.71	1.29	22.73
0.94	33.93	105.24	1.21	12.72	37.98	131.88	1.30	17.10	43.42	172.39	1.41	24.27
0.90	34.93	102.27	1.23	12.59	39.10	128.16	1.32	16.92	44.71	167.52	1.43	24.00
0.81	35.66	93.61	1.25	11.67	39.92	117.31	1.34	15.68	45.65	153.34	1.45	22.25
0.80	35.65	92.52	1.25	11.53	39.91	115.95	1.34	15.50	45.63	151.55	1.45	21.99
0.70	34.72	80.66	1.23	9.89	38.87	101.08	1.31	13.29	44.44	132.13	1.43	18.86
0.60	32.54	67.58	1.18	7.96	36.43	84.70	1.26	10.70	41.65	110.71	1.37	15.19
0.50	29.30	53.94	1.10	5.95	32.80	67.60	1.18	8.00	37.50	88.36	1.29	11.36
0.40	25.11	40.30	1.00	4.03	28.11	50.50	1.07	5.42	32.13	66.01	1.17	7.71
0.30	20.03	27.22	0.86	2.35	22.43	34.11	0.93	3.17	25.64	44.59	1.01	4.52
0.20	14.13	15.36	0.69	1.06	15.82	19.25	0.74	1.43	18.09	25.16	0.81	2.04
0.10	7.44	5.61	0.44	0.25	8.33	7.04	0.48	0.34	9.53	9.20	0.53	0.48
0.09	6.73	4.81	0.41	0.20	7.54	6.03	0.45	0.27	8.62	7.88	0.49	0.39
0.08	6.02	4.04	0.38	0.15	6.73	5.07	0.41	0.21	7.70	6.62	0.45	0.30
0.07	5.29	3.32	0.35	0.12	5.92	4.16	0.38	0.16	6.77	5.44	0.41	0.23
0.06	4.56	2.64	0.31	0.08	5.10	3.31	0.34	0.11	5.83	4.33	0.37	0.16
0.05	3.82	2.02	0.27	0.05	4.27	2.53	0.30	0.07	4.88	3.30	0.33	0.11

Tabella 13.2. Raggio idraulico R, sezione A, velocità v e portata Q per una pendenza del 10‰ in funzione del grado di riempimento h/Di

Grado h/Di	Diametro esterno del tubo De [mm]											
	180				200				225			
	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]
1.00	42.20	223.79	1.38	30.95	46.90	276.41	1.48	40.78	52.75	349.67	1.58	55.40
0.94	48.86	218.31	1.51	33.02	54.31	269.64	1.61	43.47	61.08	341.10	1.73	59.02
0.90	50.31	212.14	1.54	32.66	55.91	262.03	1.64	42.99	62.89	331.47	1.76	58.35
0.81	51.37	194.18	1.56	30.27	57.09	239.84	1.66	39.85	64.21	303.41	1.78	54.08
0.80	51.35	191.92	1.56	29.92	57.07	237.06	1.66	39.38	64.18	299.88	1.78	53.44
0.70	50.00	167.32	1.53	25.67	55.57	206.67	1.63	33.79	62.51	261.44	1.75	45.86
0.60	46.87	140.20	1.47	20.67	52.09	173.16	1.57	27.22	58.58	219.06	1.69	36.96
0.50	42.20	111.89	1.38	15.48	46.90	138.21	1.48	20.39	52.75	174.83	1.58	27.70
0.40	36.16	83.59	1.26	10.51	40.19	103.25	1.34	13.86	45.20	130.61	1.44	18.84
0.30	28.85	56.46	1.09	6.17	32.07	69.74	1.17	8.14	36.07	88.23	1.26	11.08
0.20	20.36	31.86	0.87	2.78	22.62	39.36	0.94	3.68	25.44	49.79	1.01	5.02
0.10	10.72	11.65	0.57	0.66	11.92	14.39	0.61	0.88	13.40	18.20	0.66	1.21
0.09	9.70	9.98	0.53	0.53	10.78	12.32	0.57	0.71	12.12	15.59	0.62	0.97
0.08	8.66	8.39	0.49	0.41	9.63	10.36	0.53	0.55	10.83	13.10	0.57	0.75
0.07	7.62	6.89	0.45	0.31	8.47	8.51	0.48	0.41	9.52	10.76	0.53	0.57
0.06	6.56	5.48	0.40	0.22	7.29	6.77	0.44	0.30	8.20	8.57	0.47	0.41
0.05	5.49	4.18	0.36	0.15	6.11	5.17	0.38	0.20	6.87	6.54	0.42	0.27

Tabella 13.3. Raggio idraulico R, sezione A, velocità v e portata Q per una pendenza del 10‰ in funzione del grado di riempimento h/Di

Grado h/Di	Diametro esterno del tubo De [mm]											
	250				280				315			
	R [mm]	A [cm²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm²]	v [m/s]	Q [l/s]
1.00	58.60	431.52	1.69	72.83	65.65	541.60	1.81	97.82	73.85	685.35	1.94	132.7
0.94	67.85	420.95	1.84	77.54	76.02	528.33	1.97	104.1	85.51	668.56	2.11	141.1
0.90	69.86	409.07	1.87	76.66	78.26	513.41	2.00	102.9	88.04	649.68	2.15	139.5
0.81	71.33	374.44	1.90	71.04	79.91	469.95	2.03	95.34	89.89	594.68	2.17	129.3
0.80	71.30	370.08	1.90	70.20	79.88	464.49	2.03	94.21	89.86	587.77	2.17	127.7
0.70	69.44	322.64	1.87	60.25	77.79	404.95	2.00	80.87	87.51	512.42	2.14	109.6
0.60	65.08	270.34	1.80	48.57	72.91	339.30	1.92	65.21	82.02	429.35	2.06	88.44
0.50	58.60	215.76	1.69	36.41	65.65	270.80	1.81	48.91	73.85	342.67	1.94	66.36
0.40	50.21	161.19	1.54	24.79	56.26	202.30	1.65	33.32	63.28	256.00	1.77	45.24
0.30	40.07	108.88	1.34	14.59	44.89	136.65	1.44	19.63	50.50	172.92	1.54	26.68
0.20	28.27	61.44	1.08	6.62	31.67	77.11	1.16	8.93	35.62	97.58	1.25	12.16
0.10	14.89	22.46	0.71	1.60	16.68	28.19	0.77	2.16	18.76	35.67	0.83	2.96
0.09	13.47	19.24	0.67	1.28	15.09	24.14	0.72	1.73	16.97	30.55	0.78	2.37
0.08	12.03	16.17	0.62	1.00	13.48	20.30	0.67	1.35	15.16	25.69	0.72	1.85
0.07	10.58	13.28	0.57	0.75	11.85	16.67	0.61	1.02	13.33	21.09	0.66	1.39
0.06	9.11	10.57	0.51	0.54	10.21	13.27	0.55	0.73	11.48	16.79	0.60	1.00
0.05	7.63	8.07	0.45	0.36	8.55	10.12	0.49	0.49	9.62	12.81	0.53	0.68

Tabella 13.4. Raggio idraulico R, sezione A, velocità v e portata Q per una pendenza del 10‰ in funzione del grado di riempimento h/Di

Grado h/Di	Diametro esterno del tubo De [mm]											
	355				400				450			
	R [mm]	A [cm²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm²]	v [m/s]	Q [l/s]
1.00	83.25	870.92	2.08	181.0	93.80	1105.6	2.23	246.3	105.5	1398.7	2.39	333.6
0.94	96.40	849.59	2.26	192.3	108.6	1078.6	2.43	261.6	122.2	1364.4	2.60	354.1
0.90	99.25	825.59	2.30	190.1	111.8	1048.1	2.47	258.5	125.8	1325.9	2.64	349.9
0.81	101.3	755.71	2.33	176.1	114.2	959.38	2.50	239.5	128.4	1213.6	2.67	324.1
0.80	101.3	746.92	2.33	174.0	114.1	948.22	2.50	236.7	128.4	1199.5	2.67	320.3
0.70	98.65	651.17	2.29	149.4	111.1	826.67	2.46	203.2	125.0	1045.8	2.63	275.0
0.60	92.46	545.61	2.21	120.5	104.2	692.65	2.37	164.0	117.2	876.22	2.53	222.0
0.50	83.25	435.46	2.08	90.49	93.80	552.82	2.23	123.2	105.5	699.33	2.39	166.8
0.40	71.34	325.31	1.90	61.73	80.38	412.99	2.04	84.07	90.40	522.44	2.18	113.9
0.30	56.92	219.75	1.66	36.45	64.14	278.97	1.78	49.69	72.14	352.91	1.91	67.40
0.20	40.16	124.00	1.34	16.64	45.25	157.42	1.44	22.72	50.89	199.14	1.55	30.87
0.10	21.15	45.33	0.90	4.06	23.83	57.54	0.97	5.57	26.81	72.79	1.04	7.59
0.09	19.13	38.82	0.84	3.26	21.56	49.29	0.91	4.47	24.25	62.35	0.98	6.10
0.08	17.09	32.64	0.78	2.54	19.26	41.44	0.84	3.49	21.66	52.42	0.91	4.77
0.07	15.03	26.80	0.72	1.92	16.93	34.02	0.77	2.64	19.04	43.04	0.84	3.60
0.06	12.94	21.33	0.65	1.38	14.58	27.08	0.70	1.90	16.40	34.26	0.76	2.60
0.05	10.84	16.28	0.57	0.94	12.21	20.67	0.62	1.29	13.74	26.15	0.67	1.76

Tabella 13.5. Raggio idraulico R, sezione A, velocità v e portata Q per una pendenza del 10‰ in funzione del grado di riempimento h/Di

Grado h/Di	Diametro esterno del tubo De [mm]											
	500				560				630			
	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]	R [mm]	A [cm ²]	v [m/s]	Q [l/s]
1.00	117.3	1727.7	2.53	437.9	131.3	2166.4	2.70	585.9	147.7	2741.4	2.89	792.8
0.94	135.8	1685.3	2.76	464.6	152.0	2113.3	2.94	621.3	171.0	2674.2	3.14	840.3
0.90	139.8	1637.7	2.80	459.0	156.5	2053.7	2.99	613.8	176.1	2598.7	3.19	830.0
0.81	142.7	1499.0	2.84	425.2	159.8	1879.8	3.02	568.5	179.8	2378.7	3.23	768.7
0.80	142.7	1481.6	2.84	420.1	159.8	1858.0	3.02	561.8	179.7	2351.1	3.23	759.6
0.70	138.9	1291.7	2.79	360.8	155.6	1619.8	2.98	482.5	175.0	2049.7	3.18	652.4
0.60	130.2	1082.3	2.69	291.3	145.8	1357.2	2.87	389.7	164.0	1717.4	3.07	527.1
0.50	117.3	863.78	2.53	219.0	131.3	1083.2	2.70	293.0	147.7	1370.7	2.89	396.4
0.40	100.5	645.30	2.32	149.6	112.5	809.22	2.48	200.3	126.6	1024.0	2.65	271.2
0.30	80.17	435.89	2.03	88.60	89.78	546.62	2.17	118.7	101.0	691.70	2.33	160.9
0.20	56.56	245.97	1.65	40.64	63.33	308.45	1.77	54.53	71.25	390.31	1.90	74.00
0.10	29.79	89.91	1.11	10.02	33.36	112.75	1.20	13.49	37.53	142.67	1.29	18.36
0.09	26.95	77.01	1.05	8.05	30.17	96.57	1.12	10.85	33.94	122.21	1.21	14.78
0.08	24.07	64.75	0.97	6.30	26.96	81.19	1.05	8.49	30.32	102.74	1.13	11.58
0.07	21.17	53.16	0.90	4.76	23.70	66.67	0.96	6.43	26.66	84.36	1.04	8.76
0.06	18.23	42.32	0.81	3.44	20.42	53.07	0.88	4.65	22.97	67.15	0.94	6.34
0.05	15.27	32.29	0.72	2.34	17.10	40.50	0.78	3.16	19.23	51.24	0.84	4.32

Tabella 13.6. Fattore correttivo K_J della velocità e della portata per pendenze J diverse da 10‰

J [‰]	K _J	J [‰]	K _J	J [‰]	K _J	J [‰]	K _J	J [‰]	K _J	J [‰]	K _J	J [‰]	K _J
0.05	0.071	1.60	0.400	4.2	0.648	6.8	0.825	9.4	0.970	20.0	1.414	46.0	2.145
0.1	0.100	1.8	0.424	4.4	0.663	7.0	0.837	9.6	0.980	22.0	1.483	48.0	2.191
0.2	0.141	2.0	0.447	4.6	0.678	7.2	0.849	9.8	0.990	24.0	1.549	50.0	2.236
0.3	0.173	2.2	0.469	4.8	0.693	7.4	0.860	10.0	1.000	26.0	1.612	55.0	2.345
0.4	0.200	2.4	0.490	5.0	0.707	7.6	0.872	11.0	1.049	28.0	1.673	60.0	2.449
0.5	0.224	2.6	0.510	5.2	0.721	7.8	0.883	12.0	1.095	30.0	1.732	65.0	2.550
0.6	0.245	2.8	0.529	5.4	0.735	8.0	0.894	13.0	1.140	32.0	1.789	70.0	2.646
0.7	0.265	3.0	0.548	5.6	0.748	8.2	0.906	14.0	1.183	34.0	1.844	75.0	2.739
0.8	0.283	3.2	0.566	5.8	0.762	8.4	0.917	15.0	1.225	36.0	1.897	80.0	2.828
0.9	0.300	3.4	0.583	6.0	0.775	8.6	0.927	16.0	1.265	38.0	1.949	85.0	2.915
1.0	0.316	3.6	0.600	6.2	0.787	8.8	0.938	17.0	1.304	40.0	2.000	90.0	3.000
1.2	0.346	3.8	0.616	6.4	0.800	9.0	0.949	18.0	1.342	42.0	2.049	95.0	3.082
1.4	0.374	4.0	0.632	6.6	0.812	9.2	0.959	19.0	1.378	44.0	2.098	100.0	3.162

Diagramma 13.1. Tubi Unidelta PN3.2 (SDR 33) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI 7613. Relazione tra pendenza e portata con acqua a 10-20°C e per un grado di riempimento $h/Di = 1$.

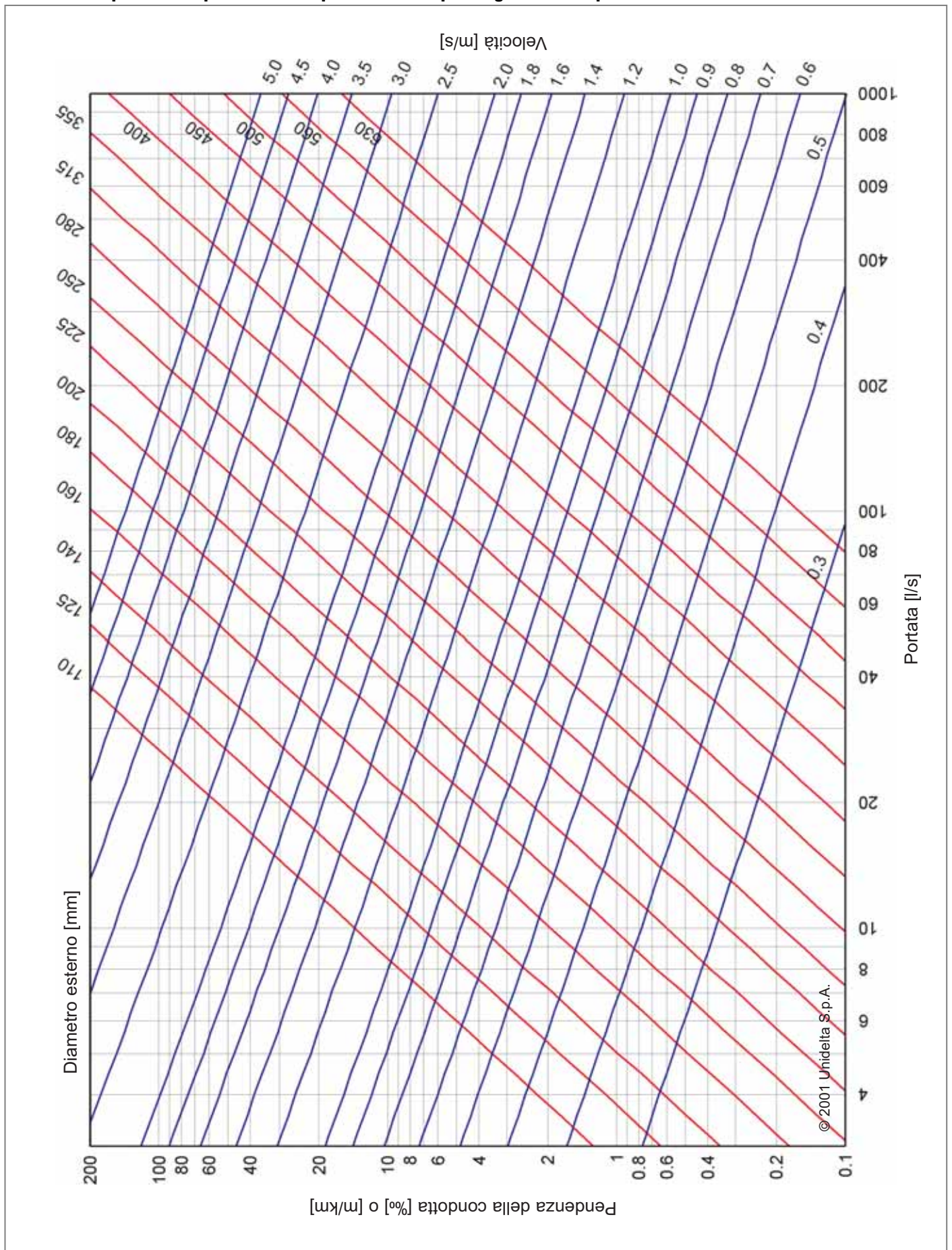
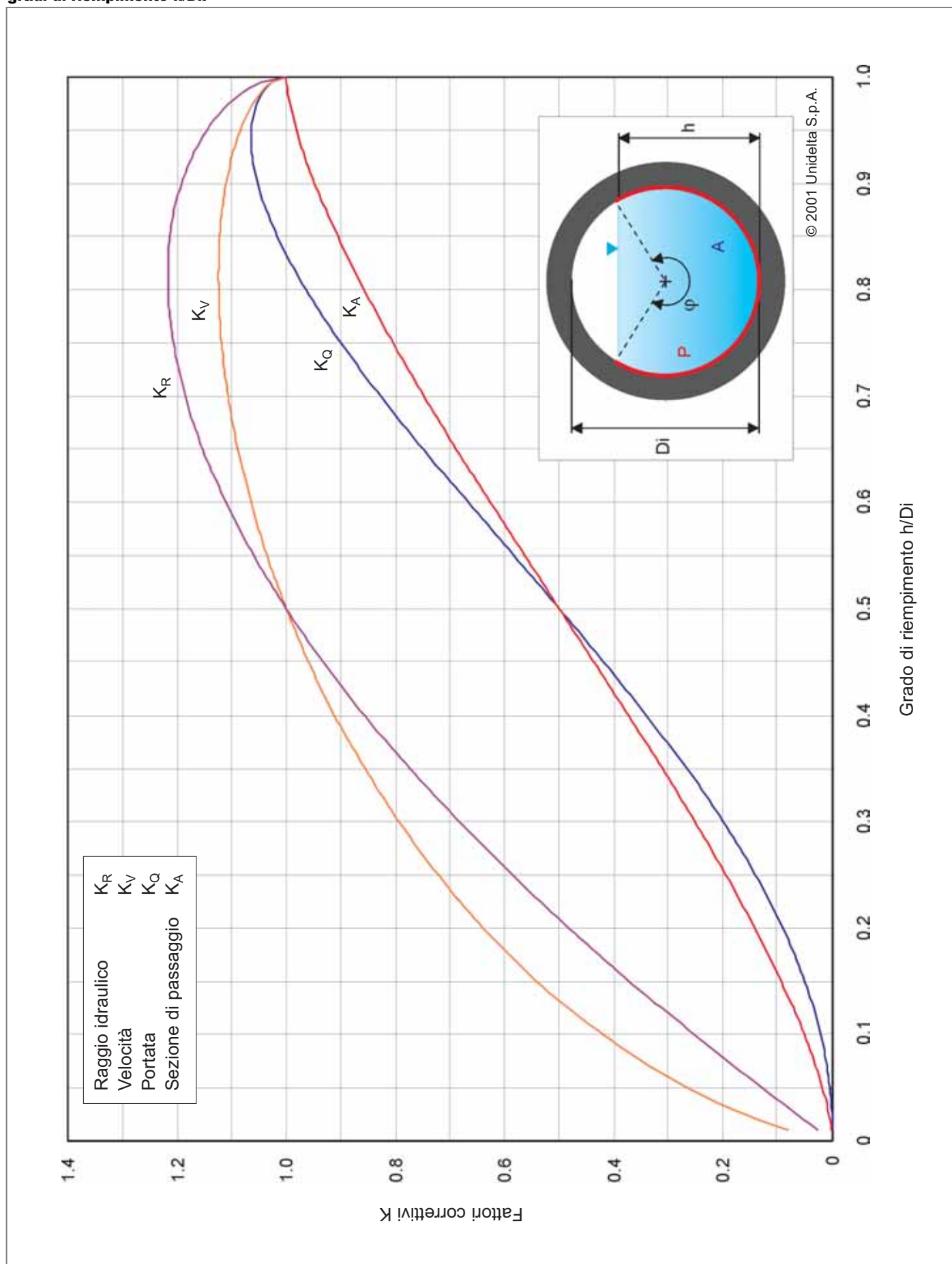


Diagramma ottenuto dalla Formula di Chézy-Bazin con indice di scabrezza $\lambda = 0.06 \text{ m}^{1/2}$.

Diagramma 13.2. Fattori correttivi delle portate, velocità, raggi idraulici e sezioni di passaggio per diversi gradi di riempimento h/D_i .



14. Il gas combustibile

Per gas combustibile si intende un prodotto chimico che a pressione atmosferica è allo stato gassoso e che contiene almeno una sostanza chimica in grado di dar luogo ad una reazione di combustione con l'ossigeno per esempio presente nell'aria.

In Italia i gas combustibili vengono suddivisi in tre famiglie.

- Prima famiglia: gas manifatturati. Vengono ricavati dal carbone o da idrocarburi mediante processi diversi (gassificazione, scissione, ecc.).
- Seconda famiglia: gas naturali. Sono gas estratti dal sottosuolo, prevalentemente il metano.
- Terza famiglia: gas di petrolio liquefatti (GPL). Sono ricavati per estrazione dal sottosuolo o come sottoprodotti di raffinazione e del petrolio. Sono prevalentemente miscele di propano e di butano.

Il gas naturale

Il gas naturale è costituito essenzialmente dal metano CH_4 in percentuali variabili a seconda della provenienza tra l'80% ed il 99%, può essere presente anidride carbonica CO_2 fino al 9.6% nel gas di Lacq-Francia, azoto N_2 nel gas di Slochteren-Olanda e vari altri idrocarburi (etano, propano, butano).

È un gas atossico, incolore ed inodore e per questo prima della distribuzione viene additivato con sostanze odorizzanti per segnalare la presenza di eventuali perdite.

I gas di petrolio liquefatti (GPL)

I gas di petrolio liquefatti sono miscele costituite prevalentemente da propano C_3H_8 e butano C_4H_{10} in percentuali molto variabili. Generalmente i gas di petrolio liquefatti per uso domestico hanno un contenuto di propano del 25% e di butano del 75% ma per il riscaldamento il contenuto di propano può salire fino al 95%. Nelle condizioni di temperatura ambiente e pressione atmosferica i gas di petrolio liquefatti sono allo stato gassoso ma possono passare allo stato liquido con una moderata compressione. Questa caratteristica li rende facilmente trasportabili allo stato liquido ed utilizzabili allo stato gassoso per semplice espansione. I gas di petrolio liquefatti possono essere impiegati per tutti gli usi per i quali si impiega il metano ma in più hanno il vantaggio di poter essere contenuti e distribuiti allo stato liquido in serbatoi fissi o mobili per alimentare singole utenze o per essere distribuiti in reti di distribuzione dove non arriva la rete del metano.

In un serbatoio contenente gas di petrolio liquefatto parte del volume (80%) è occupato dal liquido e parte dal gas (20%) che si sviluppa dal liquido stesso. La condizione di equilibrio per cui il rapporto tra i due volumi è costante si raggiunge nel momento in cui la pressione del gas equivale alla tensione di vapore del prodotto.

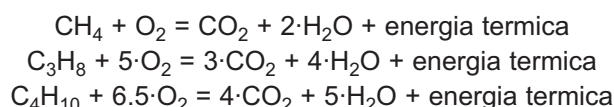
La tensione di vapore di un gas varia in funzione della temperatura e quindi anche la pressione alla quale si trova il serbatoio varia con la temperatura: a 20°C il propano ha una tensione di vapore di 8 bar mentre il butano di 2 bar. All'aumentare della temperatura aumenta lo sviluppo del gas, al contrario al diminuire della temperatura questa si riduce fino ad arrestarsi. Le temperature alle quali cessa lo sviluppo di gas sono -42°C per il propano e -2°C per il butano; tale temperatura per miscele di propano e butano è compresa fra questi due valori intermedi.

Come si è visto la tensione di vapore del butano e del propano sono notevolmente diverse e quindi le pressioni dei serbatoi di GPL variano tra 1.5 bar e 11 bar in relazione alla composizione della miscela (e alla temperatura). Il GPL prima di essere impiegato negli apparecchi utilizzatori passa allo stato gassoso attraverso due fasi successive di riduzione della pressione fino a raggiungere pressioni dell'ordine dei 30 mbar per utenze domestiche e pressioni tra 0.5 bar e 1.5 bar per utenze industriali.

A differenza del metano il propano ed il butano sono più pesanti dell'aria e quindi tendono a localizzarsi nella zona bassa dei locali, in fase liquida invece il GPL ha un peso specifico di circa 500 kg/m^3 e quindi è più leggero dell'acqua. Come il metano il GPL necessita di odorizzazione per l'individuazione di eventuali fughe, non è corrosivo e non è tossico.

La combustione

La reazione di combustione di un gas combustibile con l'ossigeno contenuto nell'aria sviluppa anidride carbonica, vapore d'acqua e energia termica. Di seguito sono riportate le reazioni di combustione ideale del metano, propano e butano.



Perché avvenga la combustione è necessario che il rapporto tra la quantità di gas combustibile e la quantità di aria sia all'interno del campo di infiammabilità; è necessario innescare la reazione di combustione fornendo alla miscela energia sufficiente a fargli raggiungere la cosiddetta temperatura di autoaccensione. In tabella 14.1 sono mostrate le temperature di autoaccensione di alcuni combustibili gassosi e le quantità ideali (stechiometriche) di ossigeno, quindi di aria, in m³ necessarie alla combustione completa di 1 m³ di gas. La caratteristica fondamentale di un combustibile è il potere calorifico ovvero la quantità di energia termica che 1 m³ di combustibile sviluppa in seguito ad una reazione di combustione completa. A seconda che venga considerata o meno l'energia recuperata dalla condensazione del vapore acqueo prodotto dalla combustione si deve fare riferimento al potere calorifico superiore PCs o al potere calorifico inferiore PCi (tabella 14.1). Poiché il volume dei gas subisce notevoli variazioni in funzione di temperatura e pressione i valori del potere calorifico sono riferiti alle condizioni normali di temperatura di 0°C e pressione assoluta di 1013 mbar (1 atm).

Tabella 14.1. Caratteristiche di alcuni gas a 0°C e 1013 mbar

Gas	ρ [kg/m ³]	ρ/ρ_{Aria}	T_{acc} [°C]	O ₂ [m ³]	Aria [m ³]	PCi [kcal/m ³]	PCs [kcal/m ³]	PCi [kcal/kg]	PCs [kcal/kg]
Aria	1.2928	1	-	-	-	-	-	-	-
Azoto N ₂	1.2505	0.9674	-	-	-	-	-	-	-
Ossigeno O ₂	1.4289	1.1053	-	-	-	-	-	-	-
Anidride carbonica CO ₂	1.9769	1.5292	-	-	-	-	-	-	-
Idrogeno H ₂	0.0899	0.0695	400	0.5	2.38	2570	3050	28597	33938
Ossido di carbonio CO	1.2504	0.9672	605	0.5	2.38	3020	3020	2415	2415
Metano CH ₄	0.7168	0.5545	537	2.0	9.52	8573	9520	11960	13281
Propano C ₃ H ₈	2.0193	1.5619	493	5.0	23.81	22340	24320	11063	12044
Butano C ₄ H ₁₀	2.6851	2.0770	460	6.5	30.95	29330	31810	10923	11847

ρ = Densità, ρ/ρ_{Aria} = Densità riferita a quella dell'aria, T_{acc} = Temperatura di autoaccensione, O₂ = Volume di ossigeno necessario alla combustione completa di 1 m³ di gas, Aria = Volume di aria necessario alla combustione completa di 1 m³ di gas, PCi = Potere calorifico inferiore, PCs = Potere calorifico superiore.

15. Tubi Unidelta di Polietilene Alta Densità PE 80 per gas combustibili secondo UNI ISO 4437

I tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI ISO 4437 (Tipo 316) sono destinati alla realizzazione di condotte interrate per il trasporto di gas combustibili. Sono impiegati per realizzare condotte di distribuzione del gas con pressioni massime di esercizio inferiori o uguali a 5 bar e impianti di derivazione d'utenza.



Requisiti fisico-meccanici

I requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI ISO 4437 sono esposti nella tabella seguente.

Tabella 15.1. Requisiti fisico-meccanici dei tubi Unidelta di polietilene alta densità PE 80 UNI ISO 4437

Requisito	Unità	Valore	Metodo
Aspetto superficiale	-	-	UNI 10910
Caratteristiche geometriche	-	-	pr EN ISO 3126
Indice di fluidità a 190°C peso 5 kg (MFR 190/5)	g/10·min	0.20÷1.40 e variazione dopo la lavorazione inferiore al 20%	ISO 1133
Tempo di induzione all'ossidazione	min	≥20	EN 728
Tensioni interne sulla lunghezza	%	≤3	ISO 2505
Resistenza alla pressione interna (σ = 10 MPa, 20°C, >100 ore)	ore	>100	UNI EN 921
Resistenza alla pressione interna (σ = 4.6 MPa, 80°C, >165 ore)	ore	>165	UNI EN 921

Condizioni di impiego

In generale le tubazioni destinate al convogliamento di gas combustibile vengono classificate come nella tabella seguente dove il polietilene è consentito per la realizzazione di condotte aventi pressione massima di 5 bar.

Tabella 15.2. Classificazione delle condotte per il trasporto di gas combustibili e materiali di fabbricazione

Tipo di condotta	Campo di impiego generale	Materiali consentiti D.M. 24/11/84 e s.m.
1ª specie	Condotte per pressione massima di esercizio superiore a 24 bar.	Acciaio
2ª specie	Condotte per pressione massima di esercizio superiore a 12 bar fino a 24 bar compresi.	Acciaio
3ª specie	Condotte per pressione massima di esercizio superiore a 5 bar fino a 12 bar compresi.	Acciaio
4ª specie	Condotte per pressione massima di esercizio superiore a 1.5 bar fino a 5 bar compresi.	Acciaio, ghisa sferoidale, polietilene e in alcuni casi rame.
5ª specie	Condotte per pressione massima di esercizio superiore a 0.5 bar fino a 1.5 bar compresi.	Acciaio, ghisa sferoidale, polietilene e in alcuni casi rame.
6ª specie	Condotte per pressione massima di esercizio superiore a 0.04 bar fino a 0.5 bar compresi.	Acciaio, ghisa sferoidale, polietilene e in alcuni casi rame.
7ª specie	Condotte per pressione massima di esercizio fino a 0.04 bar compresi.	Acciaio, ghisa sferoidale, polietilene e in alcuni casi rame.

La normativa UNI ISO 4437 (così come modificata dal D.M. 16/11/1999) specifica i diametri e gli spessori dei tubi per il trasporto di gas combustibile e prevede, per la realizzazione dei tubi, l'impiego di polietilene avente almeno MRS = 8.0 MPa e con un fattore di sicurezza $C_s = 3.25$. È consentito quindi l'impiego sia del PE 80 che del PE 100 considerando tensioni circonferenziali di progetto rispettivamente di circa 2.46 MPa e di 3.08 MPa. In funzione del tipo di materiale impiegato (PE 80 o PE 100) e della serie S corrisponde la massima pressione di esercizio p_{max} indicata in tabella 15.3. Si nota che per la più diffusa serie S 5 la pressione di esercizio è comunque limitata a 5.0 bar per entrambi i materiali.

Tabella 15.3. Pressioni massime di esercizio per i tubi di polietilene UNI ISO 4437

Tipo di materiale	S 12.5 SDR 26	S 8.3* SDR 17.6	S 5 SDR 11
PE 80	$p_{max} = 2.0$ bar	$p_{max} = 3.0$ bar	$p_{max} = 5.0$ bar
PE 100	$p_{max} = 2.4$ bar	$p_{max} = 3.7$ bar	$p_{max} = 5.0$ bar **

p_{max} è la pressione massima calcolata mediante la formula 6.6 del capitolo 6.

* In Italia è stata adottata la serie 8.3 anziché la serie 8 poiché corrisponde esattamente con la serie PN 6 dei tubi in PE per fluidi in pressione. Tuttavia tale serie è usualmente chiamata S 8.

** Per la serie 5 dei tubi di PE 100 la pressione massima di esercizio calcolata è superiore ai 6 bar ma tale pressione è limitata a 5 bar dalla vigente legislazione.

Caratteristiche dimensionali

Di seguito sono riportate le caratteristiche dimensionali dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI ISO 4437.

Tabella 15.4. Tubo Unidelta S 12.5 (SDR 26) di polietilene alta densità secondo UNI ISO 4437

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200 ^{+1.8 0}	7.7 ^{+1.0 0}	184.6	46.52	267.64	2.154·10 ³	4.73	26.76	n/d	6/12
225 ^{+2.1 0}	8.7 ^{+1.1 0}	207.6	59.12	338.49	3.463·10 ³	6.00	33.85	n/d	6/12
250 ^{+2.3 0}	9.7 ^{+1.2 0}	230.6	73.23	417.65	5.294·10 ³	7.42	41.76	n/d	6/12
280 ^{+2.6 0}	10.8 ^{+1.3 0}	258.4	91.34	524.41	8.287·10 ³	9.24	52.44	n/d	6/12
315 ^{+2.9 0}	12.2 ^{+1.5 0}	290.6	116.06	663.26	1.332·10 ⁴	11.76	66.33	n/d	6/12
355 ^{+3.2 0}	13.7 ^{+1.6 0}	327.6	146.89	842.90	2.142·10 ⁴	14.85	84.29	n/d	6/12
400 ^{+3.6 0}	15.4 ^{+1.8 0}	369.2	186.07	1070.57	3.446·10 ⁴	18.80	107.06	n/d	6/12
450 ^{+4.1 0}	17.4 ^{+2.0 0}	415.2	236.48	1353.96	5.541·10 ⁴	23.88	135.40	n/d	6/12
500 ^{+4.5 0}	19.3 ^{+2.2 0}	461.4	291.46	1672.03	8.432·10 ⁴	29.41	167.20	n/d	6/12
560 ^{+5.1 0}	21.6 ^{+2.4 0}	516.8	365.35	2097.66	1.326·10 ⁵	36.82	209.77	n/d	6/12
630 ^{+5.7 0}	24.3 ^{+2.7 0}	581.4	462.40	2654.85	2.124·10 ⁵	46.61	265.48	n/d	6/12

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Rotoli = Lunghezza dei tubi forniti in rotolo, Barre = Lunghezza dei tubi forniti in barre, n/d = Non disponibile nel formato specificato.

Tabella 15.5. Tubo Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) di polietilene alta densità secondo UNI ISO 4437

De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40 ^{+0.4} ₀	3.0 ^{+0.5} ₀	34.0	3.49	9.08	6.007·10 ⁰	0.360	0.91	100	n/d
50 ^{+0.5} ₀	3.0 ^{+0.5} ₀	44.0	4.43	15.21	1.228·10 ¹	0.458	1.52	100	n/d
63 ^{+0.6} ₀	3.6 ^{+0.6} ₀	55.8	6.72	24.45	2.974·10 ¹	0.694	2.45	100	n/d
75 ^{+0.7} ₀	4.3 ^{+0.7} ₀	66.4	9.55	34.63	5.989·10 ¹	0.985	3.46	50/100	n/d
90 ^{+0.9} ₀	5.2 ^{+0.8} ₀	79.6	13.85	49.76	1.250·10 ²	1.42	4.98	50/100	6/12
110 ^{+1.0} ₀	6.3 ^{+0.9} ₀	97.4	20.52	74.51	2.769·10 ²	2.10	7.45	50	6/12
125 ^{+1.2} ₀	7.1 ^{+1.0} ₀	110.8	26.30	96.42	4.586·10 ²	2.69	9.64	n/d	6/12
140 ^{+1.3} ₀	8.0 ^{+1.0} ₀	124.0	33.18	120.76	7.252·10 ²	3.37	12.1	n/d	6/12
160 ^{+1.5} ₀	9.1 ^{+1.2} ₀	141.8	43.14	157.92	1.232·10 ³	4.39	15.8	n/d	6/12
180 ^{+1.7} ₀	10.3 ^{+1.3} ₀	159.4	54.91	199.56	1.984·10 ³	5.58	20.0	n/d	6/12
200 ^{+1.8} ₀	11.4 ^{+1.4} ₀	177.2	67.55	246.61	3.014·10 ³	6.85	24.7	n/d	6/12
225 ^{+2.1} ₀	12.8 ^{+1.5} ₀	199.4	85.33	312.28	4.820·10 ³	8.63	31.2	n/d	6/12
250 ^{+2.3} ₀	14.2 ^{+1.7} ₀	221.6	105.19	385.68	7.338·10 ³	10.65	38.6	n/d	6/12
280 ^{+2.6} ₀	16.0 ^{+1.8} ₀	248.0	132.70	483.05	1.160·10 ⁴	13.39	48.3	n/d	6/12
315 ^{+2.9} ₀	17.9 ^{+2.0} ₀	279.2	167.07	612.24	1.850·10 ⁴	16.85	61.2	n/d	6/12
355 ^{+3.2} ₀	20.2 ^{+2.3} ₀	314.6	212.46	777.33	2.988·10 ⁴	21.45	77.7	n/d	6/12
400 ^{+3.6} ₀	22.8 ^{+2.5} ₀	354.4	270.18	986.46	4.823·10 ⁴	27.23	98.6	n/d	6/12
450 ^{+4.1} ₀	25.6 ^{+2.8} ₀	398.8	341.32	1249.11	7.713·10 ⁴	34.40	124.9	n/d	6/12
500 ^{+4.5} ₀	28.5 ^{+3.1} ₀	443.0	422.16	1541.34	1.177·10 ⁵	42.53	154.1	n/d	6/12
560 ^{+5.1} ₀	31.9 ^{+3.4} ₀	496.2	529.24	1933.76	1.852·10 ⁵	53.27	193.4	n/d	6/12
630 ^{+5.7} ₀	35.8 ^{+3.8} ₀	558.4	668.29	2448.95	2.960·10 ⁵	67.25	244.9	n/d	6/12

Tabella 15.6. Tubo Unidelta S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità secondo UNI ISO 4437

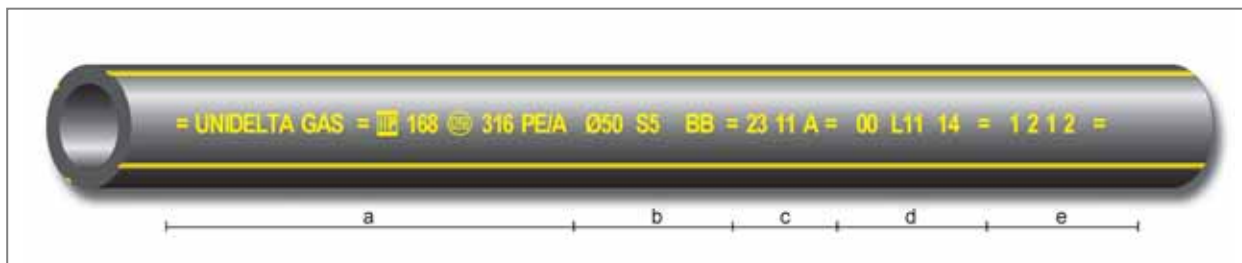
De [mm]	s [mm]	Di [mm]	Ar [cm ²]	Au [cm ²]	J [cm ⁴]	Pt [kg/m]	Vf [l/m]	Rotoli [m]	Barre [m]
20 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.5} ₀	14.0	1.60	1.54	5.968·10 ⁻¹	0.165	0.154	100	n/d
25 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.5} ₀	19.0	2.07	2.84	1.278·10 ⁰	0.213	0.284	100	n/d
32 ^{+0.3} ₀	3.0 ^{+0.5} ₀	26.0	2.73	5.31	2.904·10 ⁰	0.282	0.531	100	6
40 ^{+0.4} ₀	3.7 ^{+0.6} ₀	32.6	4.22	8.35	7.022·10 ⁰	0.434	0.835	100	6
50 ^{+0.5} ₀	4.6 ^{+0.7} ₀	40.8	6.56	13.07	1.708·10 ¹	0.672	1.31	100	6
63 ^{+0.6} ₀	5.8 ^{+0.8} ₀	51.4	10.42	20.75	4.306·10 ¹	1.06	2.07	50/100	6
75 ^{+0.7} ₀	6.8 ^{+0.9} ₀	61.4	14.57	29.61	8.555·10 ¹	1.48	2.96	50/100	6
90 ^{+0.9} ₀	8.2 ^{+1.1} ₀	73.6	21.07	42.54	1.780·10 ²	2.14	4.25	50/100	6/12
110 ^{+1.0} ₀	10.0 ^{+1.3} ₀	90.0	31.42	63.62	3.966·10 ²	3.19	6.36	50	6/12
125 ^{+1.2} ₀	11.4 ^{+1.4} ₀	102.2	40.68	82.03	6.629·10 ²	4.12	8.20	n/d	6/12
140 ^{+1.3} ₀	12.7 ^{+1.5} ₀	114.6	50.79	103.15	1.039·10 ³	5.13	10.3	n/d	6/12
160 ^{+1.5} ₀	14.6 ^{+1.7} ₀	130.8	66.69	134.37	1.780·10 ³	6.73	13.4	n/d	6/12
180 ^{+1.7} ₀	16.4 ^{+1.9} ₀	147.2	84.29	170.18	2.848·10 ³	8.50	17.0	n/d	6/12
200 ^{+1.8} ₀	18.2 ^{+2.1} ₀	163.6	103.95	210.21	4.338·10 ³	10.48	21.0	n/d	6/12
225 ^{+2.1} ₀	20.5 ^{+2.3} ₀	184.0	131.70	265.90	6.954·10 ³	13.26	26.6	n/d	6/12
250 ^{+2.3} ₀	22.7 ^{+2.5} ₀	204.6	162.10	328.78	1.057·10 ⁴	16.31	32.9	n/d	6/12
280 ^{+2.6} ₀	25.4 ^{+2.8} ₀	229.2	203.16	412.59	1.663·10 ⁴	20.44	41.3	n/d	6/12
315 ^{+2.9} ₀	28.6 ^{+3.1} ₀	257.8	257.33	521.98	2.665·10 ⁴	25.87	52.2	n/d	6/12
355 ^{+3.2} ₀	32.3 ^{+3.5} ₀	290.4	327.45	662.34	4.305·10 ⁴	32.92	66.2	n/d	6/12
400 ^{+3.6} ₀	36.4 ^{+3.9} ₀	327.2	415.79	840.85	6.940·10 ⁴	41.77	84.1	n/d	6/12
450 ^{+4.1} ₀	41.0 ^{+4.3} ₀	368.0	526.81	1063.62	1.113·10 ⁵	52.88	106.4	n/d	6/12
500 ^{+4.5} ₀	45.5 ^{+4.8} ₀	409.0	649.67	1313.82	1.694·10 ⁵	65.23	131.4	n/d	6/12
560 ^{+5.1} ₀	51.0 ^{+5.4} ₀	458.0	815.53	1647.48	2.668·10 ⁵	81.90	164.8	n/d	6/12
630 ^{+5.7} ₀	57.3 ^{+6.0} ₀	515.4	1030.94	2086.31	4.269·10 ⁵	103.47	208.6	n/d	6/12

De = Diametro esterno, s = Spessore, Di = Diametro interno, Ar = Area della sezione del tubo, Au = Area della sezione utile di passaggio, J = Momento geometrico d'inerzia rispetto ad asse diametrale, Pt = Peso del tubo al metro lineare, Vf = Volume di fluido contenuto al metro lineare, Rotoli = Lunghezza dei tubi forniti in rotolo, Barre = Lunghezza dei tubi forniti in barre, n/d = Non disponibile nel formato specificato.

Marcatura

La marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI ISO 4437 viene effettuata su ogni metro riportando tutte le informazioni relative alle caratteristiche dimensionali e di impiego del tubo nonché i dati necessari alla rintracciabilità del prodotto (figura 15.1).

Figura 15.1. Marcatura dei tubi Unidelta di polietilene alta densità UNI ISO 4437



La marcatura contiene le seguenti informazioni (i valori riportati sono di esempio):

- (a) Tubo Unidelta a marchio IIP n°168, tipo 316 secondo norma UNI ISO 4437, prodotto in polietilene alta densità, adatto al convogliamento di gas combustibile.
- (b) Diametro esterno 50 mm, serie S 5, "BB" è l'identificativo della materia prima impiegata ed attribuito dall'Istituto Italiano dei Plastici che l'ha omologata.
- (c) 23 è il giorno di produzione, 11 è il mese di produzione, A è uno dei tre turni di produzione (A, B, C).
- (d) 00 è l'anno di produzione, L11 è la linea di estrusione sulla quale è stato prodotto il tubo, 14 identifica l'operatore addetto all'estrusione durante la produzione del tubo.
- (e) 1212 è il numero di lotto.

Campi di applicazione

Le normative vigenti che regolamentano la progettazione, la costruzione ed il collaudo delle condotte di distribuzione e degli impianti di derivazione d'utenza consentono l'impiego dei tubi di polietilene per il trasporto sia di gas naturale (metano) sia di GPL.

In particolare per le installazioni destinate al convogliamento di gas naturale avente densità riferita all'aria non superiore a 0.8 e realizzate sul territorio della Repubblica Italiana devono essere rispettate le disposizioni stabilite nel Decreto Ministeriale del 24/11/1984 e successive modifiche (di cui l'ultima è pubblicata nel D.M. 16/11/1999 della G.U. del 23/11/1999).

Nella tabella 15.7 che segue sono elencate le principali normative nazionali inerenti le condotte per la distribuzione del gas combustibile con i relativi campi di applicazione.

Si può verificare come in ogni normativa è consentito l'impiego dei tubi di polietilene per il trasporto dei gas combustibili (metano e GPL) purché installati all'esterno degli edifici ed interrati. Nei tratti fuori terra o interni agli edifici è necessario l'impiego di altri materiali come l'acciaio.

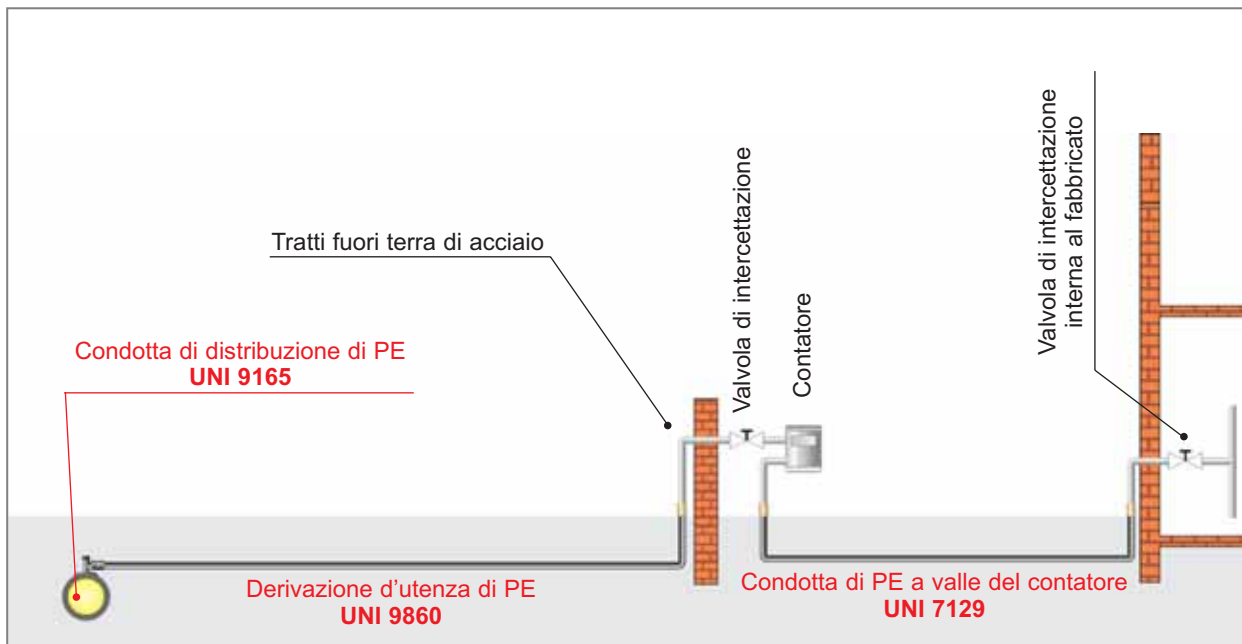
Il passaggio dai tubi di polietilene a quelli di acciaio si realizza mediante giunzioni miste polietilene-metallo saldate al tubo di polietilene con i raccordi elettrosaldabili o con saldatura di testa. Lo stacco della condotta di derivazione dalla rete può essere realizzato mediante le selle di derivazione elettrosaldabili che possono essere saldate con la rete in carico, quindi senza dover interrompere il flusso di gas. Infatti, una volta completato l'impianto che deve alimentare l'edificio, con la fresa posta all'interno della sella di derivazione si fora la condotta principale alimentando istantaneamente l'utenza (fare riferimento al "Catalogo Tecnico Unidelta - Raccordi elettrosaldabili, accessori ed attrezzature").

Nelle figure 15.2 e 15.3 sono stati schematizzati due tipici impianti di distribuzione del gas combustibile all'utenza: il primo mediante rete di distribuzione cittadina di gas naturale, il secondo mediante serbatoio di GPL. Per una maggior chiarezza sono state indicate le norme di riferimento per ogni tratto dell'impianto.

Tabella 15.7. Norme relative agli impianti di trasporto del gas combustibile

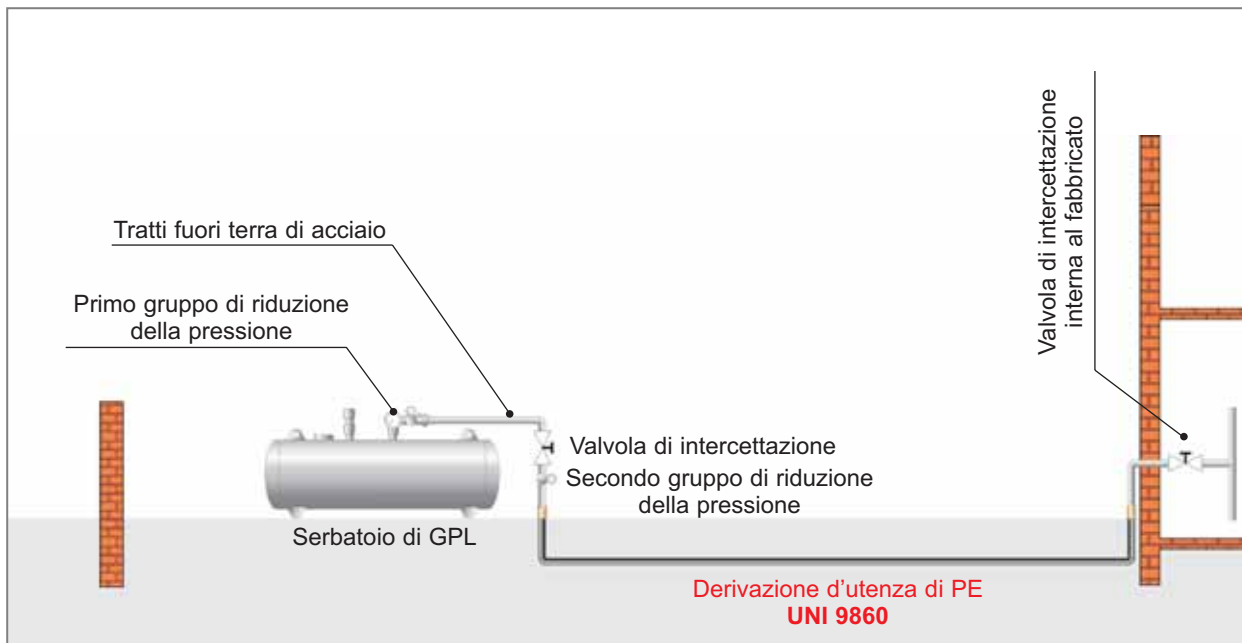
Norma	Scopo/campo di applicazione	Osservazioni
UNI 9034 Condotte di distribuzione del gas con pressioni massime di esercizio minori o uguali a 5 bar. Materiali e sistemi di giunzione.	Definisce i sistemi di giunzione ed i materiali destinati alla costruzione delle reti di distribuzione (UNI 9165) e degli impianti di derivazione d'utenza (UNI 9860).	È consentito l'impiego del polietilene per il trasporto sia di gas naturale che di GPL purché interrato.
UNI 9165 Reti di distribuzione del gas con pressioni massime di esercizio minori o uguali a 5 bar. Progettazione, costruzione e collaudo.	Stabilisce i criteri da seguire per la progettazione, la costruzione ed il collaudo delle reti di distribuzione del gas ovvero dei sistemi di condotte, prevalentemente interrate, posate su suolo pubblico o privato che, partendo dall'impianto di produzione o dal punto di prelievo e/o riduzione e/o misura, consente la distribuzione del gas ai nuclei abitati ed alle case sparse fino agli impianti di derivazione d'utenza (UNI 9860), questi ultimi esclusi.	È consentito l'impiego del polietilene per il trasporto sia di gas naturale che di GPL purché interrato.
UNI 9860 Impianti di derivazione d'utenza del gas. Progettazione, costruzione e collaudo.	Stabilisce i criteri per la progettazione, la costruzione ed il collaudo degli impianti di derivazione d'utenza ovvero il complesso di dispositivi, tubazioni ed elementi compresi fra la condotta stradale o serbatoio d'utenza per GPL (esclusi) ed il gruppo di misura o, in assenza di questo, il rubinetto di intercettazione che lo deve sostituire (questi esclusi).	È consentito l'impiego del polietilene per il trasporto sia di gas naturale che di GPL con pressioni minori o uguali a 5 bar purché interrato.
UNI 7129 Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione. Progettazione, installazione e collaudo.	Si applica anche alla costruzione ed ai rifacimenti di impianti o di parte di essi, comprendenti il complesso delle tubazioni e degli accessori che distribuiscono il gas a valle del contatore (impianti interni).	È consentito l'impiego del polietilene per il trasporto sia di gas naturale che di GPL nel tratto interrato, se esiste, che parte dal contatore fino all'esterno dell'edificio.
UNI 7131 Impianti a GPL per uso domestico non alimentati da rete di distribuzione. Progettazione, installazione, esercizio e manutenzione.	Stabilisce i criteri per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione di impianti a GPL per uso domestico e similare alimentati o da uno o più bidoni di GPL collegati o da un deposito di GPL per uso domestico.	Tratta esclusivamente impianti interni; la parte di tubazione che può essere realizzata in polietilene è quella compresa tra la valvola di intercettazione generale posta in uscita da un deposito per uso domestico (serbatoio d'utenza) fino all'esterno dell'edificio ma per tale impianto la norma rimanda alla UNI 9860.

Figura 15.2. Esempio di alimentazione di un'utenza da rete di distribuzione di gas combustibile



Nella figura 15.2 l'alimentazione all'utenza avviene attraverso una linea di distribuzione di metano realizzata in polietilene e posata su suolo pubblico; sono tracciate la condotta di derivazione che va dalla linea di distribuzione fino al contatore e la condotta che, a valle del contatore, porta il gas fino all'ingresso dell'edificio, entrambe realizzate con tubi di polietilene nella parte interrata.

Figura 15.3. Esempio di alimentazione di un'utenza da serbatoio di GPL



Nella figura 15.3 l'alimentazione avviene mediante un serbatoio di GPL posato su suolo privato; dopo i due gruppi di riduzione e la valvola di intercettazione, la condotta, realizzata in polietilene, prosegue interrata fino all'edificio. Per impianti ad uso domestico alimentati da un deposito di GPL si deve fare riferimento alla norma UNI 7131 che rimanda (Parte 1 - Nota 1) alla UNI 9860 per i tratti esterni all'edificio e compresi fra la valvola di intercettazione posta in uscita al serbatoio e il punto di inizio dell'impianto interno. Poichè per punto di inizio si intende la valvola di intercettazione posta all'interno dell'edificio si dovrà installare la tubazione di polietilene nel tratto interrato e poi proseguire all'interno del fabbricato con tubo d'acciaio.

16. Dimensionamento delle condotte: perdite di carico per il trasporto di gas combustibile

I gas che vengono presi in considerazione nel dimensionamento delle condotte sono il metano, componente principale del gas naturale, e il propano ed il butano che costituiscono, in proporzioni variabili, il GPL. Nella tabella seguente, fra gli altri, sono indicate le proprietà dei tre gas in condizioni normali ovvero allo stato secco, alla temperatura di 0°C e pressione di 1013 mbar (1 atm) e che verranno impiegate per il calcolo delle perdite di carico nei tubi di polietilene.

Tabella 16.1. Caratteristiche di alcuni gas combustibili a 0°C e 1013 mbar

Gas		Densità ρ [kg/m ³]	Viscosità dinamica μ [kg/m·s]	Viscosità cinematica $\nu=\mu/\rho$ [m ² /s]	P. calorifico inferiore PCi [kcal/m ³]	P. calorifico superiore PCs [kcal/m ³]
Idrogeno	H ₂	0.0899	8.50·10 ⁻⁶	94.50·10 ⁻⁶	2570	3050
Ossido di carbonio	CO	1.2504	16.63·10 ⁻⁶	13.30·10 ⁻⁶	3020	3020
Metano	CH ₄	0.7168	10.25·10 ⁻⁶	14.30·10 ⁻⁶	8573	9520
Propano	C ₃ H ₈	2.0193	7.49·10 ⁻⁶	3.71·10 ⁻⁶	22340	24320
Butano	C ₄ H ₁₀	2.6851	7.95·10 ⁻⁶	2.96·10 ⁻⁶	29330	31810

I gas a differenza dell'acqua sono fluidi comprimibili e quindi le loro caratteristiche (densità e viscosità) variano in modo più o meno accentuato al variare della temperatura e della pressione. Durante il moto di un gas in un tubo la pressione diminuisce per effetto delle perdite di carico e quindi la sua densità varia. È evidente quindi che per le condotte per il trasporto di gas combustibile si debbano applicare criteri differenti e a volte più complessi rispetto a quelli impiegati per le condotte per fluidi incomprimibili.

Indicando con A e B rispettivamente i punti iniziale e finale della condotta, la caduta di pressione può essere determinata come prodotto tra la caduta di pressione del fluido considerato incomprimibile Δp ed un fattore di correzione d'espansione K_e detto coefficiente di espansione o fattore di comprimibilità:

$$p_A - p_B = \Delta p \cdot K_e \quad [16.1]$$

Questa espressione delle perdite di carico in forma lineare è impiegata generalmente nel dimensionamento di condotte in bassa pressione (fino a 100 mbar relativi) dove le caratteristiche fluidodinamiche del gas (densità e viscosità) subiscono variazioni trascurabili. Per le condotte in media (fino a 3 bar relativi) ed alta pressione viene impiegata l'espressione delle perdite di carico in forma quadratica poiché ingloba gli effetti di comprimibilità:

$$p_A^2 - p_B^2 = 2 \cdot p_A \cdot \Delta p \quad [16.2]$$

La caduta di pressione del fluido supposto incomprimibile Δp è data come già si è visto dalla formula di Darcy-Weisbach:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot D_i} \cdot L \quad [16.3]$$

dove in questo caso $\lambda = \alpha \cdot Re^{-n}$ è il coefficiente di perdita di Renouard con Re numero di Reynolds e α e n coefficienti del gas, ρ è la densità del gas in ingresso al tubo, v è la velocità in ingresso al tubo, D_i il diametro interno del tubo, L la lunghezza del tratto A-B.

Le espressioni 16.1 e 16.2 delle perdite di carico possono essere riscritte rispettivamente nella forma seguente:

$$p_A - p_B = \Psi \cdot \gamma_r^{1-n} \cdot \mu_r^n \cdot \left(\frac{T_A}{T_r} \right)^{m+1} \cdot \frac{p_r}{p_A} \cdot Q_r^{2-n} \cdot Di^{n-5} \cdot L \cdot Ke \quad [16.4]$$

$$p_A^2 - p_B^2 = 2 \cdot \Psi \cdot \gamma_r^{1-n} \cdot \mu_r^n \cdot \left(\frac{T_A}{T_r} \right)^{m+1} \cdot p_r \cdot Q_r^{2-n} \cdot Di^{n-5} \cdot L \quad [16.5]$$

dove Q_r è la portata misurata alle condizioni di riferimento $T_r = 15^\circ\text{C}$ e $p_r = 1013 \text{ mbar}$. γ_r e μ_r sono il peso specifico e la viscosità dell'aria nelle condizioni di riferimento mentre Ψ , n , m , x sono costanti dipendenti dal gas.

Si può osservare come le due espressioni dipendano dalle condizioni del gas nel punto A: la prima dipende sia dalla temperatura che dalla pressione, la seconda solo dalla temperatura. Sotto questa forma le due espressioni richiederebbero la realizzazione di un diagramma per ogni valore di temperatura T e pressione p del punto d'ingresso A. Data l'assoluta mancanza di praticità di una soluzione di questo tipo si è preferito realizzare i diagrammi delle perdite di carico lineari e quadratiche nelle condizioni di riferimento $T_r = 15^\circ\text{C}$ e $p_r = 1013 \text{ mbar}$ ed introdurre due coefficienti correttivi moltiplicativi di temperatura K_T e di pressione K_p nel modo di seguito esposto.

La caduta di pressione in forma lineare si determina seguendo due passaggi successivi. Una volta rilevata la caduta di pressione per unità di lunghezza Δp^* del gas supposto incompressibile e nelle condizioni di riferimento si calcola, mediante i due fattori correttivi K_T e K_p , la caduta di pressione del gas supposto incompressibile e nelle condizioni effettive di temperatura e pressione (espressione 16.6) considerando ovviamente la lunghezza L del tubo. Nota quest'ultima, moltiplicandola per il fattore di comprimibilità Ke , si determina la caduta di pressione reale (espressione 16.7).

$$\Delta p_{T,p} = \Delta p_{15^\circ\text{C}, 1013 \text{ mbar}}^* \cdot L \cdot K_T \cdot K_p \quad [16.6]$$

$$(p_A - p_B)_{T,p} = \Delta p_{T,p} \cdot Ke \quad [16.7]$$

Quando però si ha a che fare con gas in bassa pressione il coefficiente Ke è prossimo al valore unitario e quindi la caduta di pressione coincide con la caduta di pressione del gas supposto incompressibile. Per esempio se il gas in ingresso ha una pressione relativa di 100 mbar (limite per le condotte in bassa pressione) e la perdita di carico rilevata è di 1 mbar (valore tipico per le derivazioni d'utenza) il coefficiente di comprimibilità vale $Ke=1.005$ ed è quindi trascurabile; l'errore commesso è appunto dello 0.5%. In questi casi al posto delle due espressioni precedenti si utilizza la seguente:

$$(p_A - p_B)_{T,p} = \Delta p_{15^\circ\text{C}, 1013 \text{ mbar}}^* \cdot L \cdot K_T \cdot K_p \quad [16.8]$$

La caduta di pressione in forma quadratica si determina al contrario mediante un unico passaggio: moltiplicando la caduta di pressione in forma quadratica per unità di lunghezza rilevata alla temperatura di riferimento per il coefficiente correttivo K_T e per la lunghezza L del tubo.

$$(p_A^2 - p_B^2)_T = (p_A^2 - p_B^2)_{15^\circ\text{C}}^* \cdot L \cdot K_T \quad [16.9]$$

I diagrammi 16.1, 16.2 e 16.3 rappresentano la perdita di pressione lineare per unità di lunghezza Δp^* nelle condizioni di riferimento quindi per una temperatura di ingresso $T_r = 15^\circ\text{C}$ e una pressione assoluta di ingresso $p_r = 1013 \text{ mbar}$ per metano, propano e butano.

I diagrammi 16.4, 16.5 e 16.6 mostrano le perdite di pressione in forma quadratica per unità di lunghezza e alla temperatura di riferimento $T_r = 15^\circ\text{C}$ per metano, propano e butano.

Il diagramma 16.7 rappresenta il fattore di comprimibilità K_e in funzione del rapporto fra la perdita di carico del gas supposto incompressibile e nelle condizioni effettive di temperatura e pressione $\Delta P_{T,p}$ data dall'espressione 16.6 e la pressione in ingresso p_A .

Infine nei diagrammi 16.8 e 16.9 sono tracciati i fattori correttivi moltiplicativi K_p e K_T .

Portata, velocità e diametro del tubo

Impiegando la legge dei gas e la continuità della portata in massa si possono ricavare le due seguenti relazioni per la portata in volume e la velocità del gas:

$$Q = Q_r \cdot K_p \cdot W_T \quad [16.10]$$

$$v = v_r \cdot K_p \cdot W_T \quad [16.11]$$

dove K_p e W_T sono rispettivamente i coefficienti correttivi moltiplicativi per pressioni e temperature diverse da quelle di riferimento $T_r = 15^\circ\text{C}$ e $p_r = 1013 \text{ mbar}$, Q_r e v_r sono la portata e la velocità misurate nelle condizioni di riferimento mentre Q e v sono la portata e la velocità misurate nelle condizioni di pressione p e temperatura T .

Il fattore correttivo K_p è lo stesso impiegato per le perdite di carico ed è quindi dato dal diagramma 16.8 mentre il fattore correttivo W_T è differente dal fattore K_T ed è tracciato nel diagramma 16.10.

Dal legame tra portata, velocità e sezione di passaggio $Q = v \cdot A_u$ ed impiegando le relazioni viste sopra si ottiene l'espressione seguente:

$$v = 353.7 \cdot \frac{Q_r}{D_i^2} \cdot K_p \cdot W_T \quad [16.12]$$

dove v è la velocità [m/s] misurata alla temperatura T [°C] e pressione assoluta p [mbar], Q_r è la portata [m³/h] misurata nelle condizioni di riferimento, D_i è il diametro interno del tubo [mm] e K_p e W_T sono i coefficienti correttivi funzione della pressione assoluta p e temperatura T .

A meno del coefficiente correttivo W_T , che può essere applicato successivamente, l'espressione 16.12 può essere riscritta in una forma alternativa rappresentata nel diagramma 16.11:

$$v = 358275 \cdot \frac{Q_r}{D_i^2} \cdot \frac{1}{p} \quad [16.13]$$

Sempre dall'espressione 16.12 si possono ricavare due utili relazioni esplicitando i due coefficienti correttivi K_p e W_T :

$$D_i = \left(1244 \cdot \frac{Q_r}{v} \cdot \frac{273.15 + T}{p} \right)^{0.5} \quad [16.14]$$

$$v = 1244 \cdot \frac{Q_r}{D_i^2} \cdot \frac{273.15 + T}{p} \quad [16.15]$$

La prima consente di calcolare il diametro interno del tubo nota la portata e la velocità, la seconda permette di calcolare la velocità del gas in un tubo di diametro interno noto stabilita la portata. Anche in questo caso la velocità è misurata alla temperatura T [°C] e pressione assoluta p [mbar] mentre la portata alla temperatura di riferimento $T_r = 15^\circ\text{C}$ e pressione di riferimento $p_r = 1013 \text{ mbar}$.

Lunghezza limite dei tubi

Come si vedrà in seguito le norme relative alle derivazioni d'utenza o agli impianti per uso domestico impongono un limite massimo sulla caduta di pressione $p_A - p_B$. In questi casi risulta quindi utile valutare la lunghezza L del tratto di tubo tale per cui la perdita di carico che ne deriva è uguale a quella imposta. Invertendo l'espressione 16.8 si ottiene la seguente:

$$L = \frac{(p_A - p_B)_{T,p}}{\Delta p_{15^\circ\text{C}, 1013 \text{ mbar}}^*} \cdot \frac{1}{K_T} \cdot \frac{1}{K_p} \quad [16.16]$$

Il primo rapporto può essere identificato come la lunghezza che dovrebbe avere il tubo se il gas fosse in condizioni di riferimento quindi a $T_r = 15^\circ\text{C}$ e $p_r = 1013 \text{ mbar}$ quindi la 16.16 può essere riscritta nella forma:

$$L = L_{15^\circ\text{C}, 1013 \text{ mbar}} \cdot \frac{1}{K_T} \cdot \frac{1}{K_p} \quad [16.17]$$

Nei diagrammi 16.12, 16.13 e 16.14 sono tracciate le lunghezze limite dei tubi per metano, propano e butano nelle condizioni di riferimento; per il metano è stata imposta una caduta di pressione di 1 mbar mentre per il propano ed il butano di 2 mbar come specificato nella UNI 9860 e nella UNI 7129. I coefficienti correttivi K_p e K_T sono gli stessi visti in precedenza.

Vincoli per il dimensionamento

Nel processo di dimensionamento dei tubi per gas si deve imporre un vincolo di base. Per i tubi destinati al trasporto di acqua generalmente il vincolo è la velocità massima del flusso, per i tubi per gas i vincoli sono di tipo diverso a seconda del settore di impiego.

I vincoli prescritti dalle norme di riferimento sono sulle massime velocità del flusso o sulle massime cadute di pressione e sono di seguito riassunti:

Tabella 16.2. Vincoli per il dimensionamento dei tubi per il trasporto di gas combustibile

Norma	Tipo di condotta	Vincolo
UNI 9165 Reti di distribuzione del gas con pressioni massime di esercizio minori o uguali a 5 bar. Progettazione, costruzione e collaudo.	7ª specie	$v \leq 4\div5 \text{ m/s}$
	6ª specie	$v \leq 10\div15 \text{ m/s}$
	5ª e 4ª specie	$v \leq 20\div25 \text{ m/s}$
UNI 9860 Impianti di derivazione d'utenza del gas. Progettazione, costruzione e collaudo.	7ª specie	$(p_A - p_B) \leq 1 \text{ mbar}$ per metano, $(p_A - p_B) \leq 2 \text{ mbar}$ per gas di petrolio liquefatto
	6ª specie	$v \leq 10\div15 \text{ m/s}$
	5ª e 4ª specie	$v \leq 20\div25 \text{ m/s}$
UNI 7129 Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione. Progettazione, installazione e collaudo.	S 8.3, S 5	$(p_A - p_B) \leq 1 \text{ mbar}$ per metano, $(p_A - p_B) \leq 2 \text{ mbar}$ per gas di petrolio liquefatto. Si ammette una perdita di carico doppia nel caso in cui a monte del contatore sia installato un regolatore di pressione.

Esempio 1

Si debba dimensionare un tratto di lunghezza 1000 m di una rete di distribuzione cittadina per una portata massima di metano misurata in condizioni normali di 3000 m³/h. La pressione relativa in ingresso alla tubazione sia di 3 bar.

Dato che la pressione di esercizio è di 3 bar la condotta rientra nella 4^a specie (tabella 15.2) e poiché si tratta di una condotta di distribuzione si deve fare riferimento alla norma UNI 9165 che prevede, come vincolo di dimensionamento, una velocità massima di 20 m/s (si veda tabella 16.2).

Dalla relazione 16.15 si può calcolare in prima approssimazione il diametro D_i della tubazione:

$$D_i = \left(1244 \cdot \frac{3000}{20} \cdot \frac{273.15 + 15}{4013} \right)^{0.5} = 115.7 \text{ mm}$$

dove la pressione assoluta $p = 3000 + 1013 = 4013 \text{ mbar}$ e si è supposto che la temperatura coincida con quella di riferimento (15°C).

La pressione di esercizio di 3 bar consentirebbe l'impiego sia di un tubo serie S 5 che di un tubo serie S 8.3; si sceglie di impiegare un S 5 poiché permette eventuali futuri incrementi della pressione rispetto ad un tubo S 8.3.

In tabella 15.6 un tubo avente diametro interno uguale a quello calcolato non esiste; è quindi opportuno individuare un tubo che abbia diametro interno maggiore di 115.7 mm per assicurare una sezione di passaggio sufficiente.

Si trova un diametro interno $D_i = 130.8 \text{ mm} > 115.7 \text{ mm}$ corrispondente al diametro esterno $D_e = 160 \text{ mm}$.

Dalla 16.15 si può quindi calcolare la velocità reale:

$$v = 1244 \cdot \frac{3000}{130.8^2} \cdot \frac{273.15 + 15}{4013} = 15.6 \text{ m/s}$$

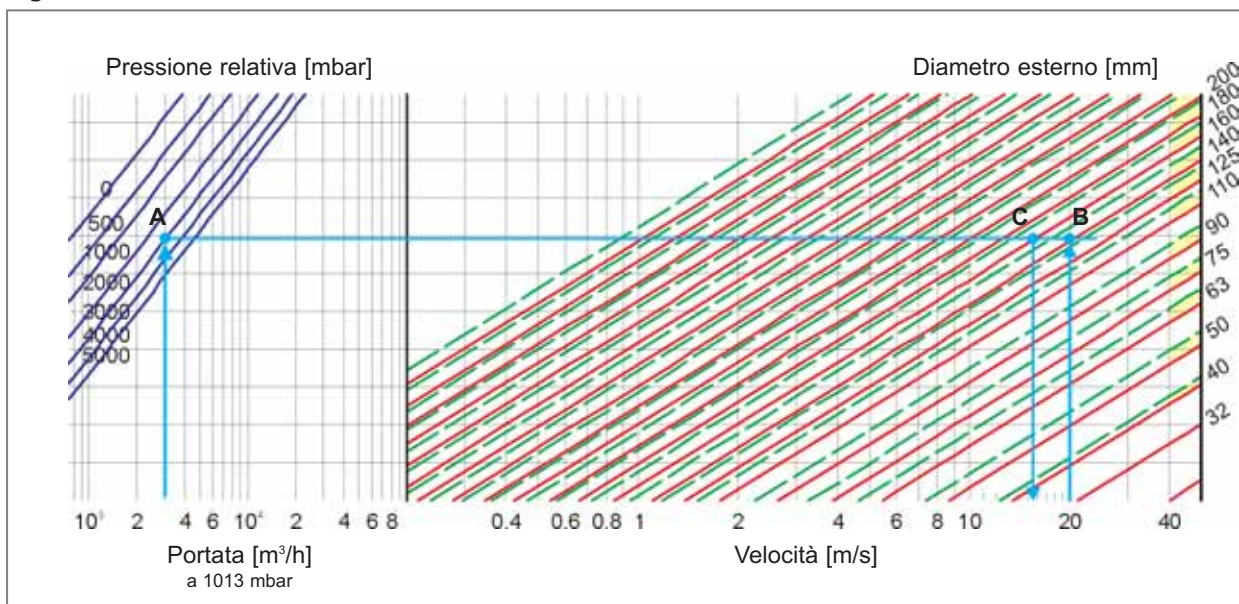
Gli stessi risultati si possono ottenere mediante il diagramma 16.11.

Si individui il punto A dato dall'intersezione della linea corrispondente alla pressione di 3 bar (relativi) con la linea verticale corrispondente alla portata di 3000 m³/h (figura 16.1). Dal punto A si tracci una linea orizzontale fino ad intersecare nel punto B la linea verticale riferita alla velocità di 20 m/s.

Tale punto si trova tra due diametri della serie S 5, il 140 mm ed il 160 mm, ma per assicurare una sezione di passaggio sufficiente si considera il diametro 160 mm.

La velocità effettiva risulta quindi essere quella corrispondente al punto C dato dall'intersezione della linea orizzontale AB con la linea (rossa) rappresentativa del tubo S 5, $D_e = 160 \text{ mm}$.

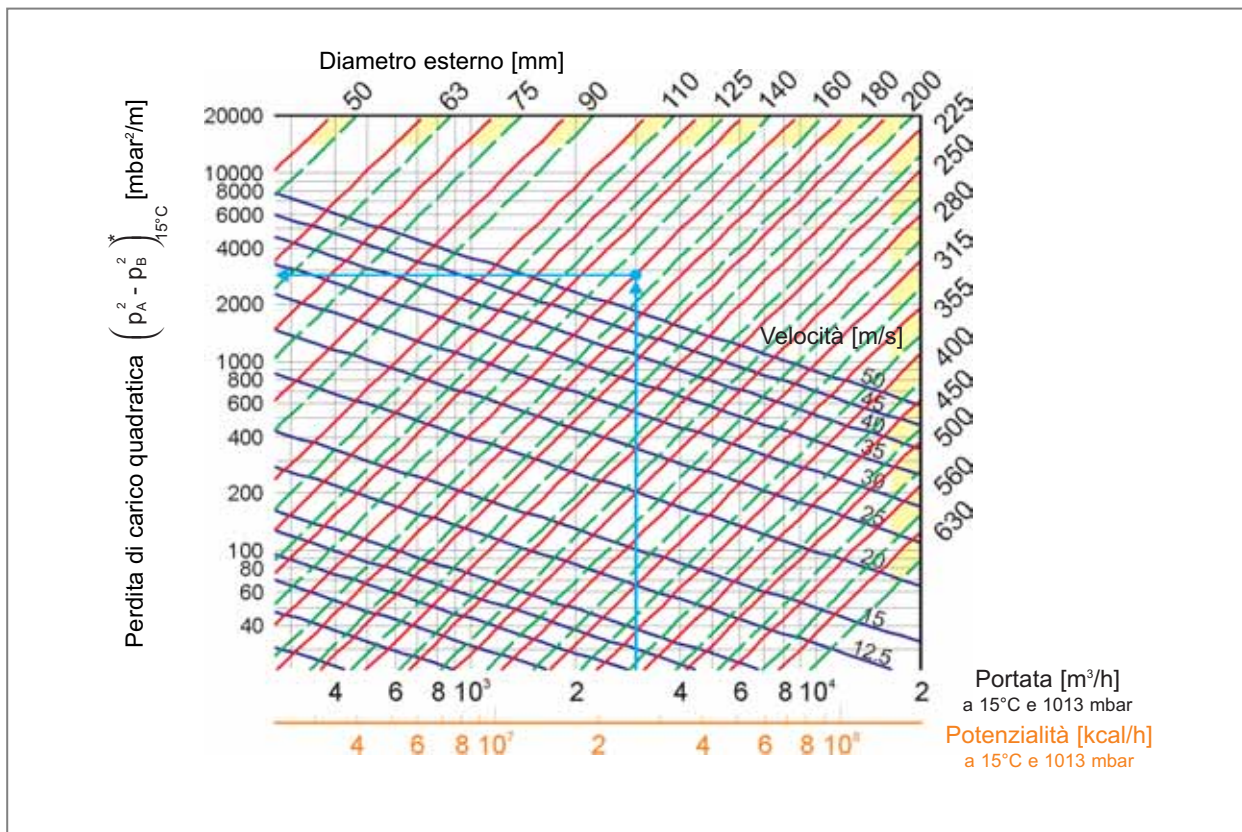
Figura 16.1. Determinazione del diametro del tubo e della velocità effettiva



La condotta opera in un regime di media pressione e quindi si impiega la formula delle perdite di carico in forma quadratica. Avvalendosi dunque del diagramma 16.4 si determina, in corrispondenza della portata di 3000 m³/h e del diametro De = 160 mm serie S5, la perdita di carico quadratica per ogni metro di tubo (figura 16.2):

$$\left(p_A^2 - p_B^2\right)_{15^\circ\text{C}}^* = 2800 \text{ mbar}^2/\text{m}$$

Figura 16.2. Perdita di carico in forma quadratica



Essendo $L = 1000$ metri e il fattore correttivo di temperatura $K_T = 1$ (la temperatura è posta uguale a quella di riferimento) la formula 16.9 da:

$$\left(p_A^2 - p_B^2\right)_T = 2800 \cdot 1000 \cdot 1 = 2800000 \text{ mbar}^2$$

e poiché $p_A = 4013$ mbar si calcola la pressione alla fine del tubo:

$$p_B^2 = 4013^2 - 2800000 = 13304169 \text{ mbar}^2$$

$$p_B = 3647 \text{ mbar assoluti} = 2634 \text{ mbar relativi}$$

e la caduta di pressione è dunque

$$p_A - p_B = 366 \text{ mbar}$$

Lo stesso risultato lo si può ottenere anche impiegando il diagramma 16.1 delle perdite di carico in forma lineare e i corrispondenti fattori correttivi come indicato nelle due espressioni 16.6 e 16.7.

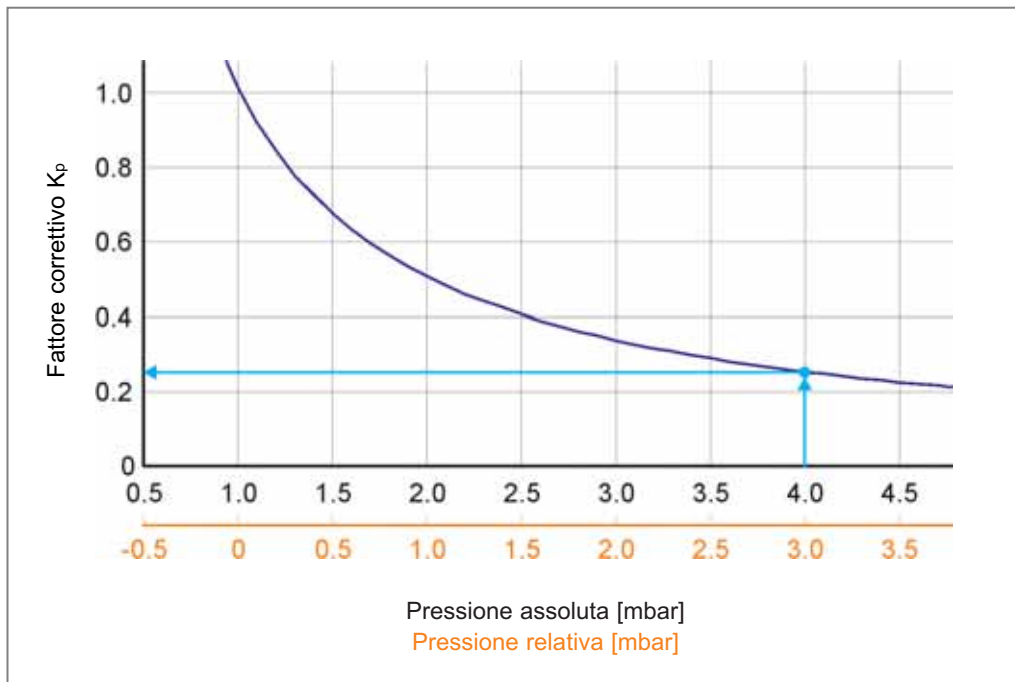
Dal diagramma 16.1 in corrispondenza della portata di 3000 m³/h e del diametro $D_e = 160$ mm serie S5 si ha

$$\Delta p_{15^\circ\text{C}, 1013 \text{ mbar}}^* = 1.40 \text{ mbar/m}$$

Dal diagramma 16.8 si ricava il fattore correttivo di pressione $K_p = 0.25$ (figura 16.3) ed essendo $K_T = 1$ e $L = 1000$ m la relazione 16.6 porta a:

$$\Delta p_{T,p} = 1.40 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 0.25 = 350 \text{ mbar/m}$$

Figura 16.3. Fattore correttivo di pressione

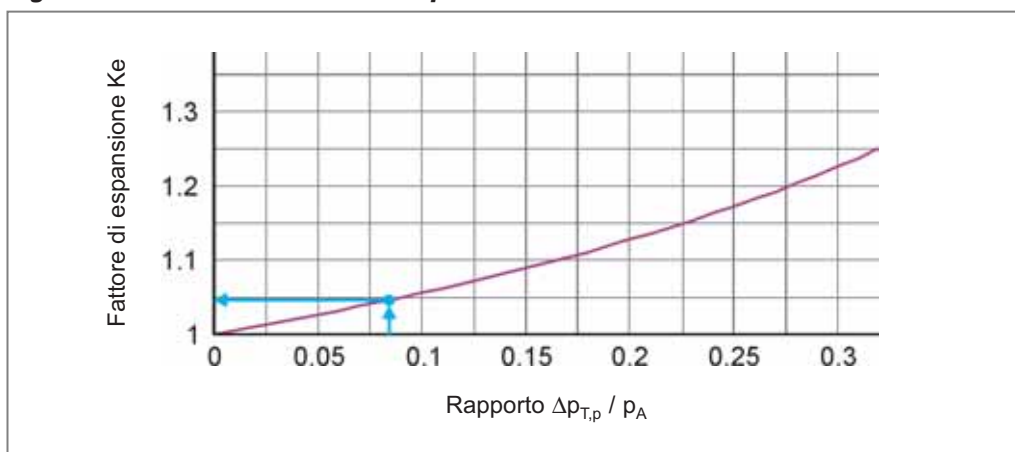


Infine si applica la relazione 16.7 con il fattore di espansione $K_e = 1.047$ determinato in corrispondenza di $\Delta p_{T,p} / p_A = 0.0872$ (figura 16.4):

$$(p_A - p_B)_{T,p} = 350 \cdot 1.047 = 366 \text{ mbar}$$

Il valore che si viene a determinare è il medesimo anche se il procedimento impiegato in precedenza è più diretto.

Figura 16.4. Fattore correttivo di espansione



Esempio 2

Si debba realizzare la linea a valle del contatore che alimenta un'utenza con metano per una potenzialità di 60000 kcal/h. La pressione sia di 30 mbar e la lunghezza del tratto interrato da realizzare sia di 100 m.

Per la parte interrata esterna al fabbricato a valle del contatore viene impiegato tubo di polietilene serie S 8.3. La progettazione, la realizzazione ed il collaudo di questa parte di impianto è specificata nella UNI 7129 (tabella 15.7) che stabilisce una caduta di pressione massima di 1 mbar come vincolo per il dimensionamento lungo tutto il tratto.

Dato che siamo in condizioni di bassa pressione trascuriamo il fattore di comprimibilità: tale assunzione è verificata dal fatto che il rapporto tra la caduta di pressione e la pressione di ingresso vale circa 0.001, ne risulta un valore di K_e molto vicino all'unità. Quindi, dato che i fattori correttivi K_p e K_T sono unitari, (assumendo una temperatura di 15°C) con l'espressione 16.8 si ottiene una caduta di pressione per metro di condotta pari a:

$$\Delta p_{15^\circ\text{C}, 1013 \text{ mbar}}^* = \frac{(p_A - p_B)_{T,p}}{L} = \frac{1 \text{ mbar}}{100 \text{ m}} = 0.01 \text{ mbar/m}$$

Intersecando, sul diagramma 16.1, la linea orizzontale corrispondente alla caduta di pressione di 0.01 mbar/m con la linea verticale corrispondente alla potenzialità di 60000 kcal/h si individua il punto A compreso fra i due diametri 40 mm e 50 mm della serie S 8.3 (linee tratteggiate verdi, figura 16.5).

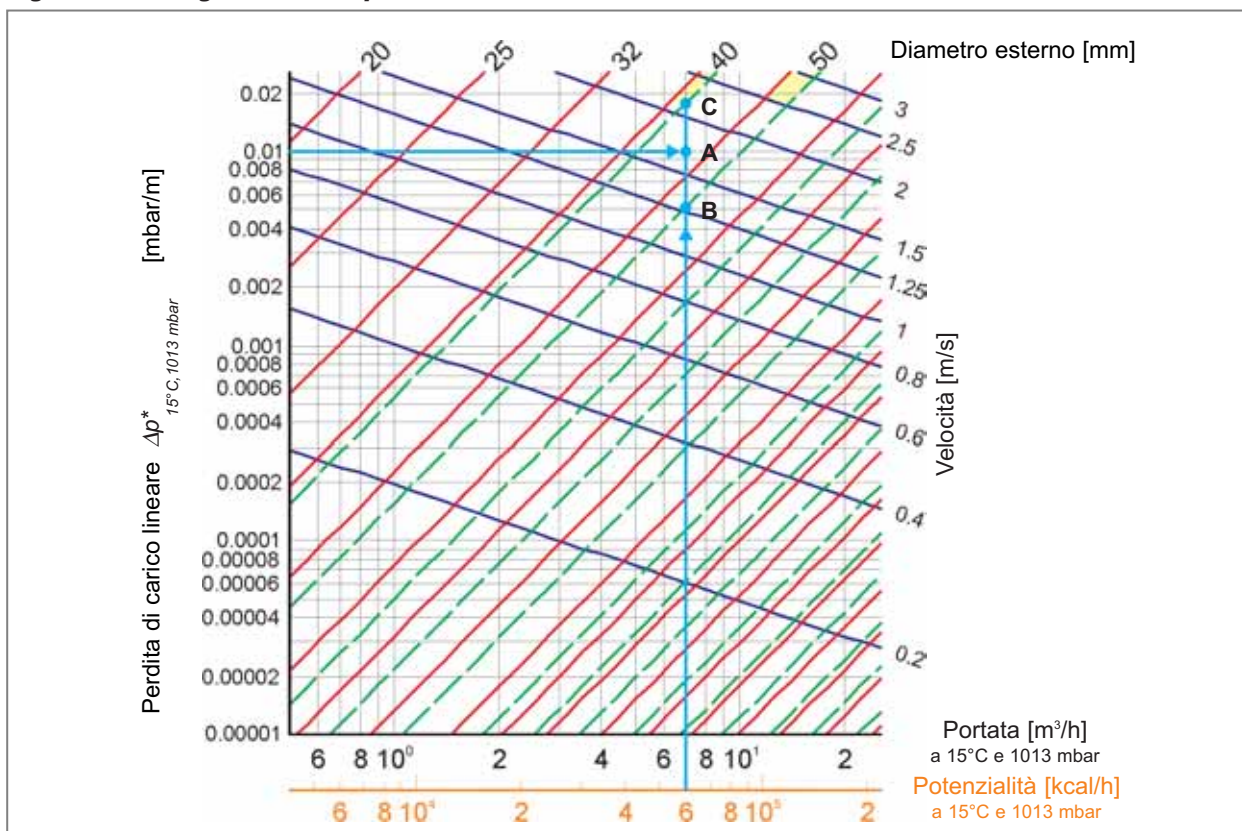
Per assicurare una caduta di pressione non superiore a quella imposta si deve scegliere il diametro 50 mm (punto B) a cui corrisponde:

$$\Delta p_{15^\circ\text{C}, 1013 \text{ mbar}}^* = 0.005 \text{ mbar/m}$$

e quindi una caduta di pressione effettiva uguale a:

$$(p_A - p_B)_{T,p} = 0.005 \cdot 100 = 0.5 \text{ mbar}$$

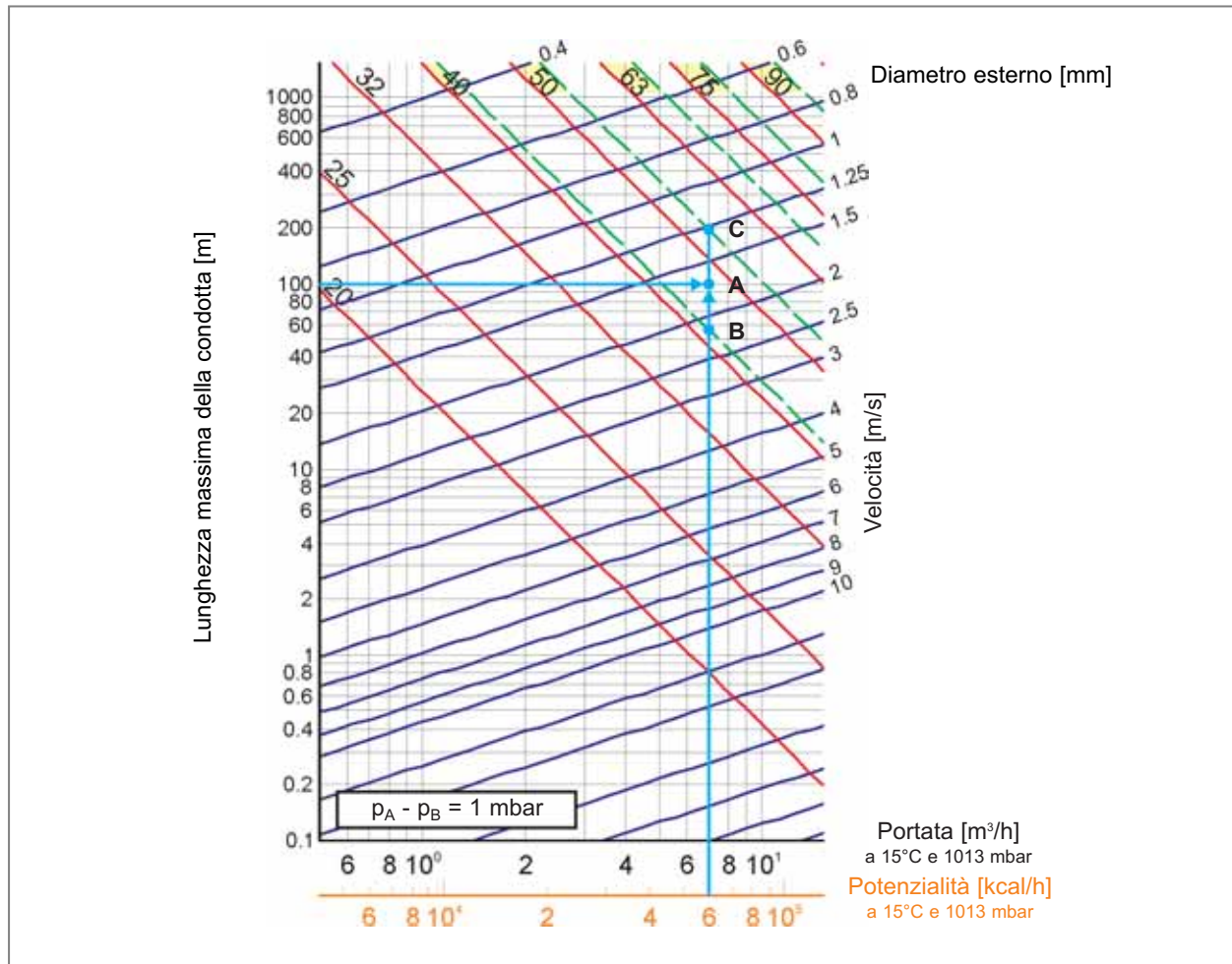
Figura 16.5. Diagramma delle perdite di carico in forma lineare



Il dimensionamento può essere effettuato in modo più immediato con il diagramma 16.12.

Si individui il punto dato dall'intersezione della linea orizzontale corrispondente alla lunghezza di 100 m con la linea verticale corrispondente alla potenzialità di 60000 kcal/h (figura 16.6). Il punto A trovato è compreso fra i due diametri 40 mm e 50 mm della serie S 8.3; tuttavia con il diametro 40 mm sono sufficienti circa 55 metri per avere una perdita di carico di 1 mbar (punto B) mentre con il diametro 50 mm occorrono circa 200 m (punto C). La scelta deve cadere quindi sul diametro più elevato, il 50 mm, con il quale si ha una caduta di pressione per metro di tubo uguale a $1 \text{ mbar} / 200 \text{ m} = 0.005 \text{ mbar/m}$ e una caduta di pressione sui 100 m di tubo di 0.5 mbar.

Figura 16.6. Diagramma delle lunghezze massime per perdite di carico di 1 mbar



Infine dai diagrammi impiegati è possibile determinare la portata in volume del metano che è di $7 \text{ m}^3/\text{h}$ oppure dividendo la potenzialità per il potere calorifico inferiore del gas (tabella 16.1):

$$Q_r = \frac{60000 \text{ kcal/h}}{8573 \text{ kcal/m}^3} = 7.00 \text{ m}^3/\text{h}$$

Diagramma 16.1. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Perdite di carico in forma lineare Δp^* per metano in condizioni normali (15°C e 1013 mbar).

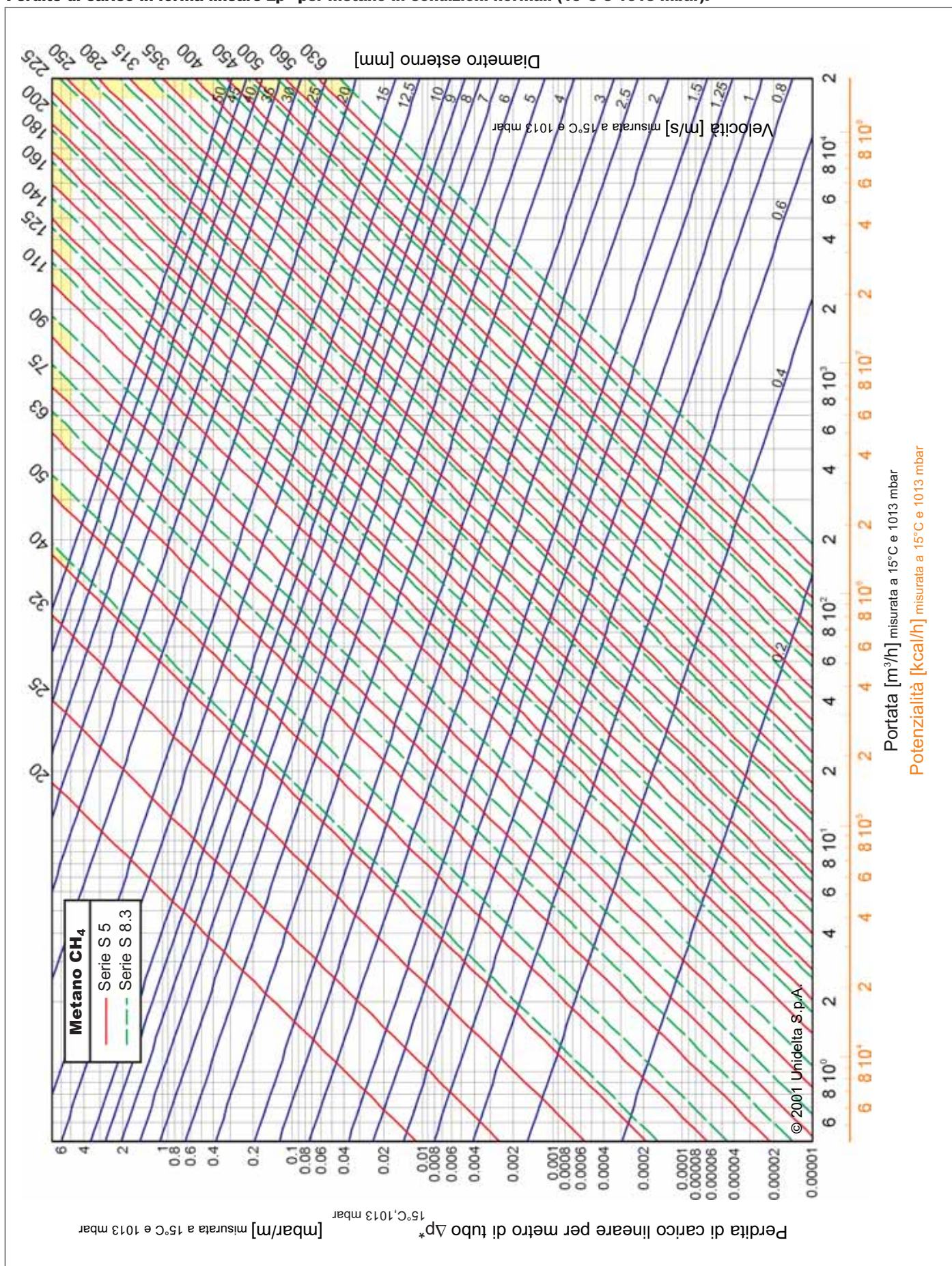


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-0.25}$.

Diagramma 16.2. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Perdite di carico in forma lineare Δp^* per propano in condizioni normali (15°C e 1013 mbar).

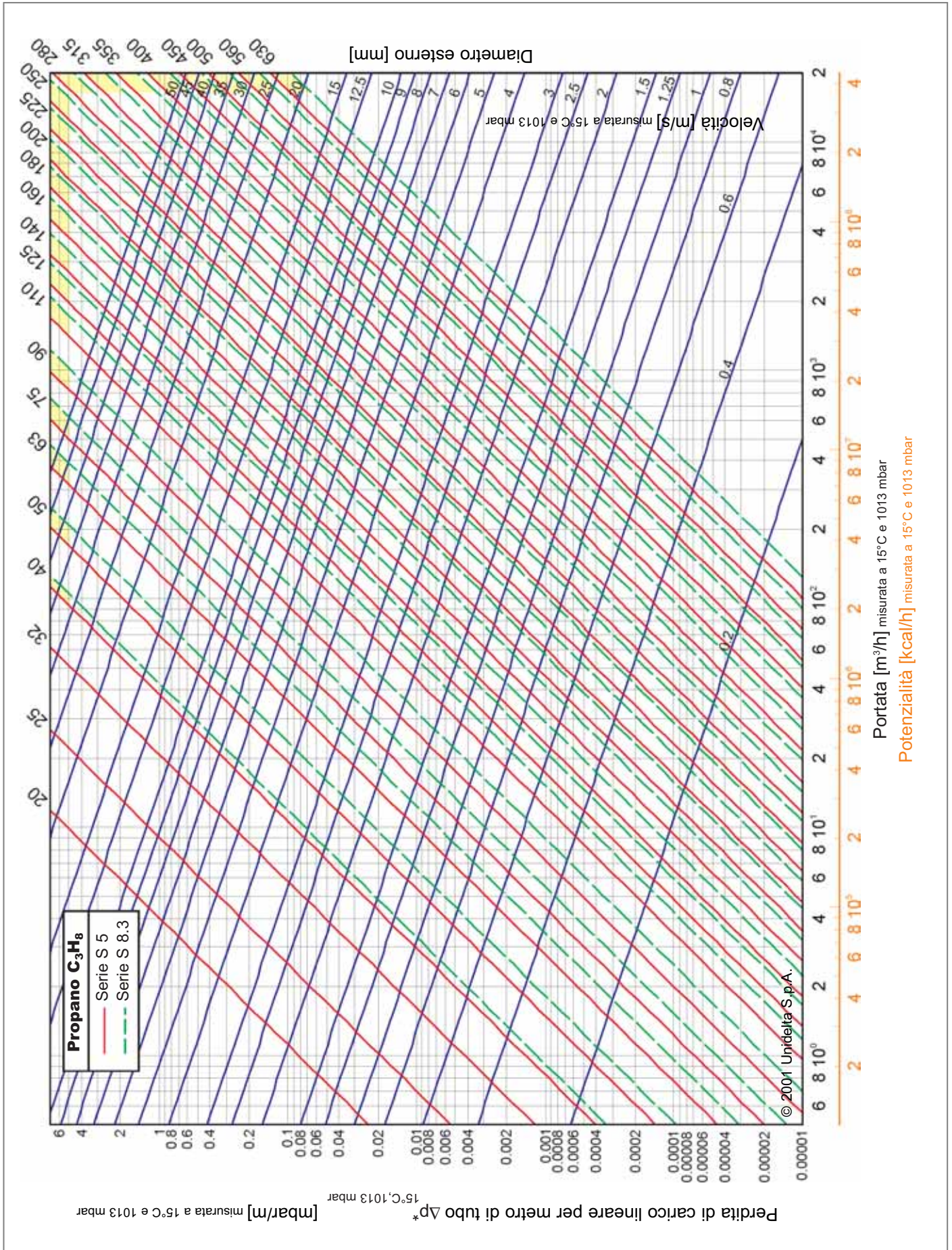


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-0.25}$.

Diagramma 16.3. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Perdite di carico in forma lineare Δp^* per butano in condizioni normali (15°C e 1013 mbar).

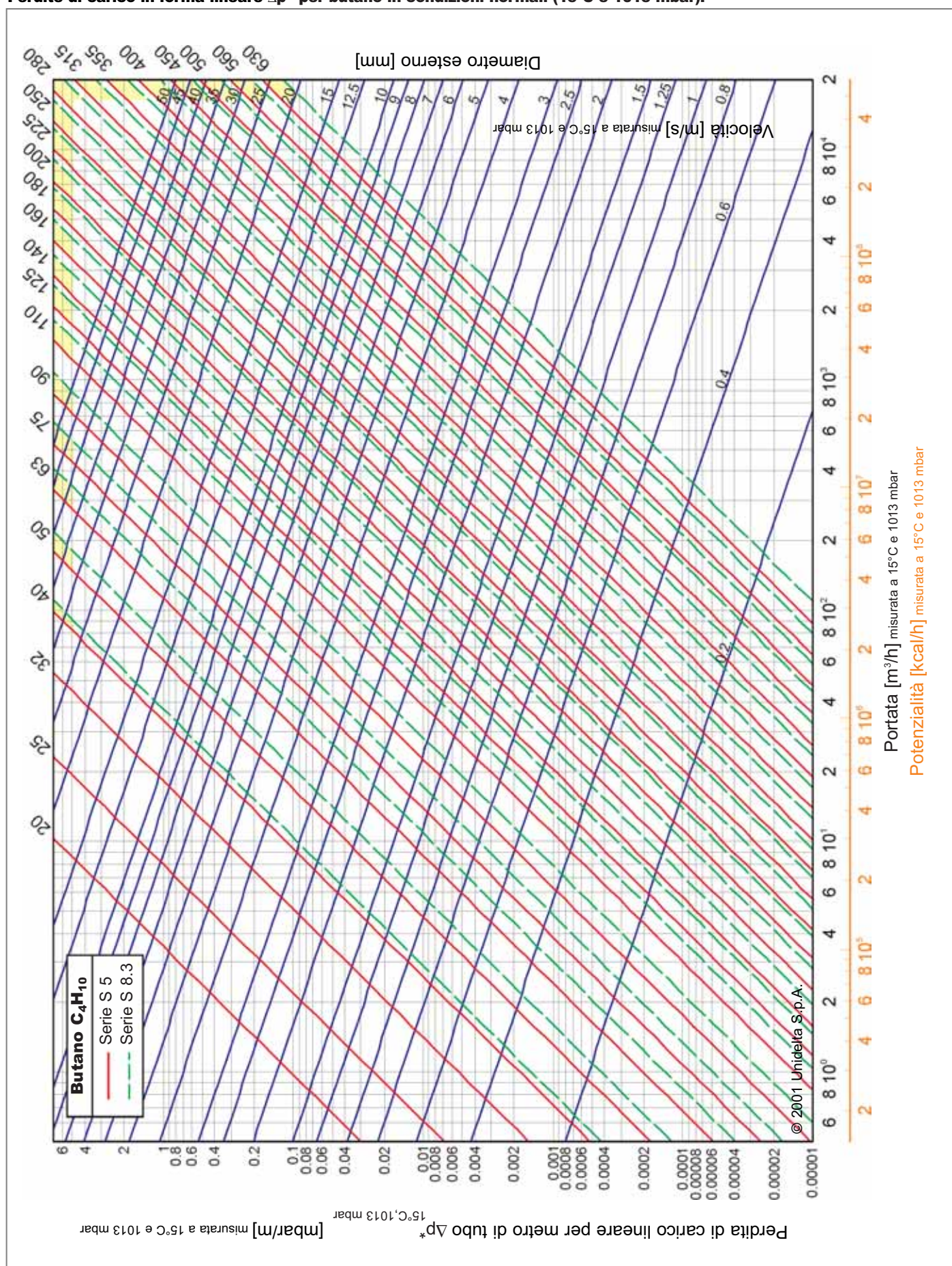


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-0.25}$.

Diagramma 16.4. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Perdite di carico in forma quadratica $(p_A^2 - p_B^2)$ per metano in condizioni normali (15°C).

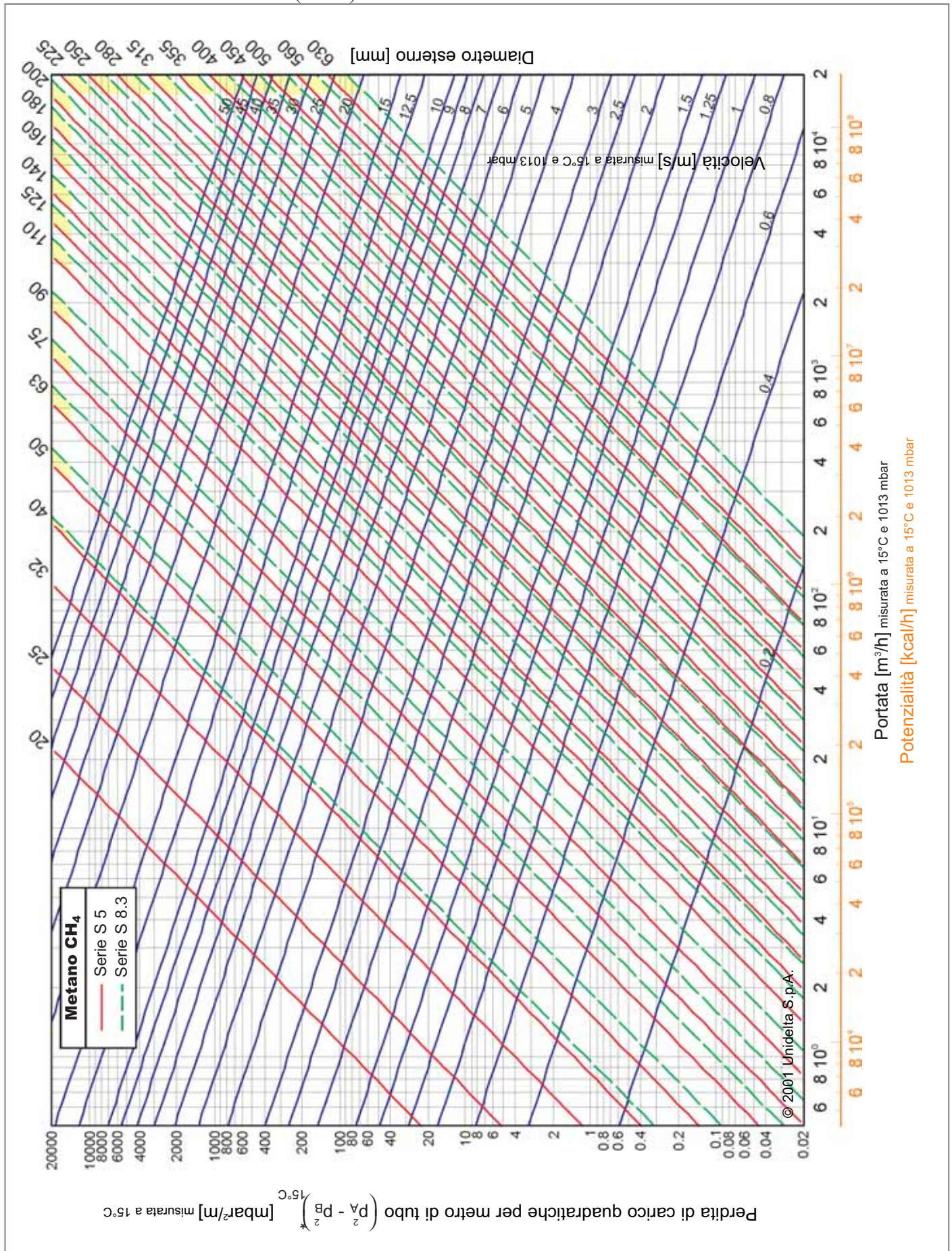


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-0.25}$.

Diagramma 16.5. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Perdite di carico in forma quadratica $(p_A^2 - p_B^2)$ per propano in condizioni normali (15°C).

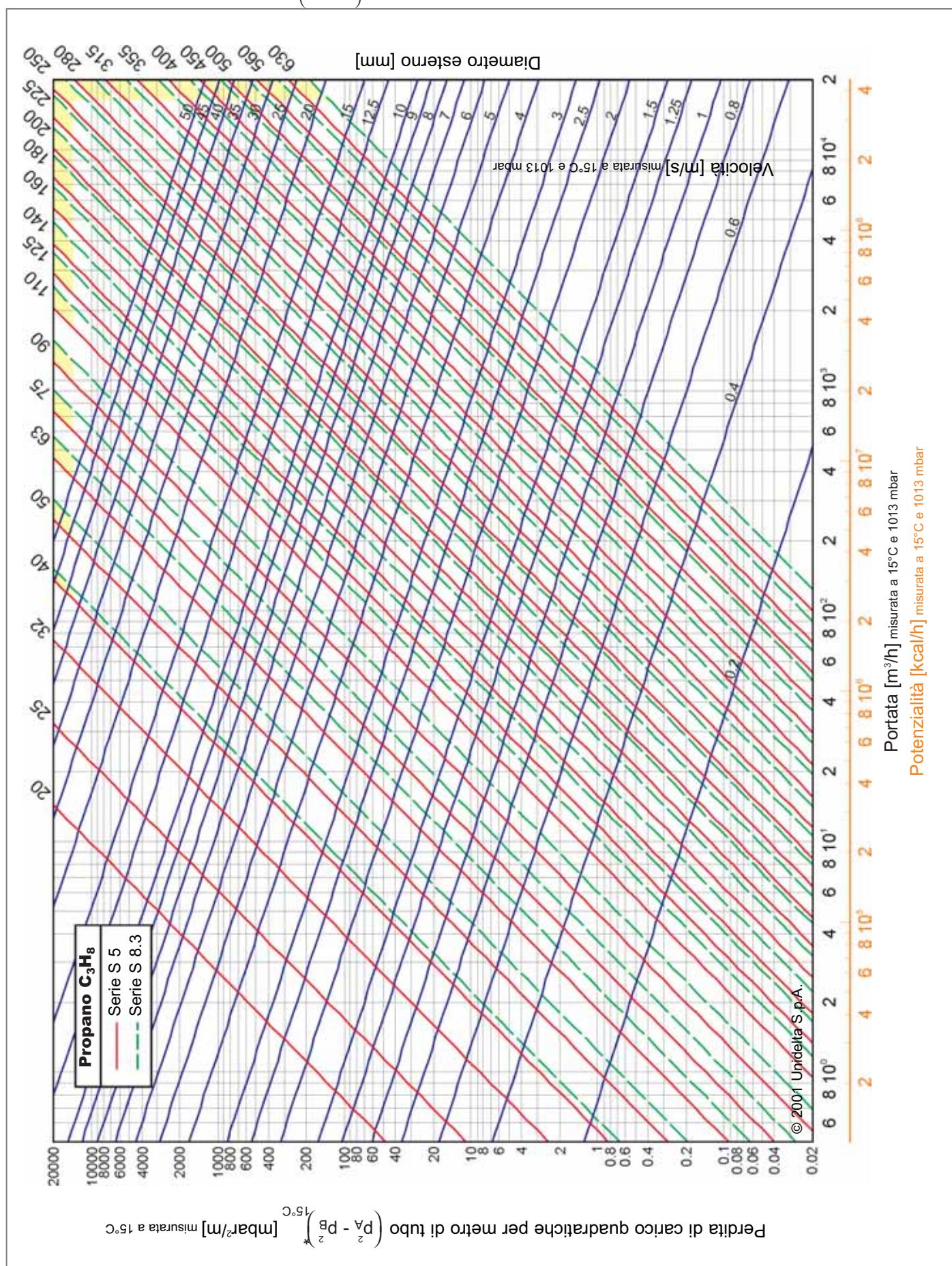


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-0.25}$.

Diagramma 16.6. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Perdite di carico in forma quadratica $(p_A^2 - p_B^2)$ per butano in condizioni normali (15°C).

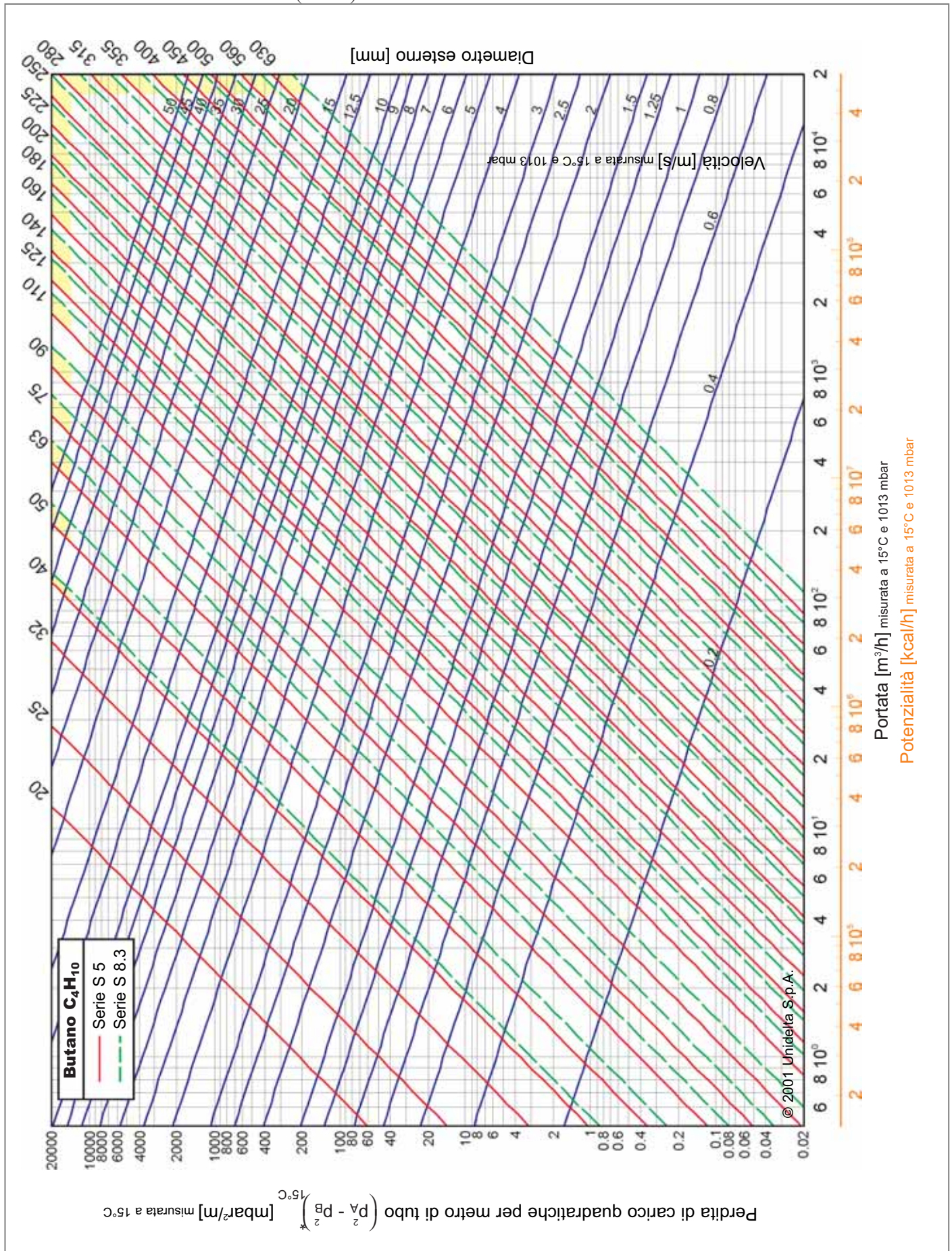


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-1}$.

Diagramma 16.7. Fattore correttivo di espansione K_e delle perdite di carico lineari

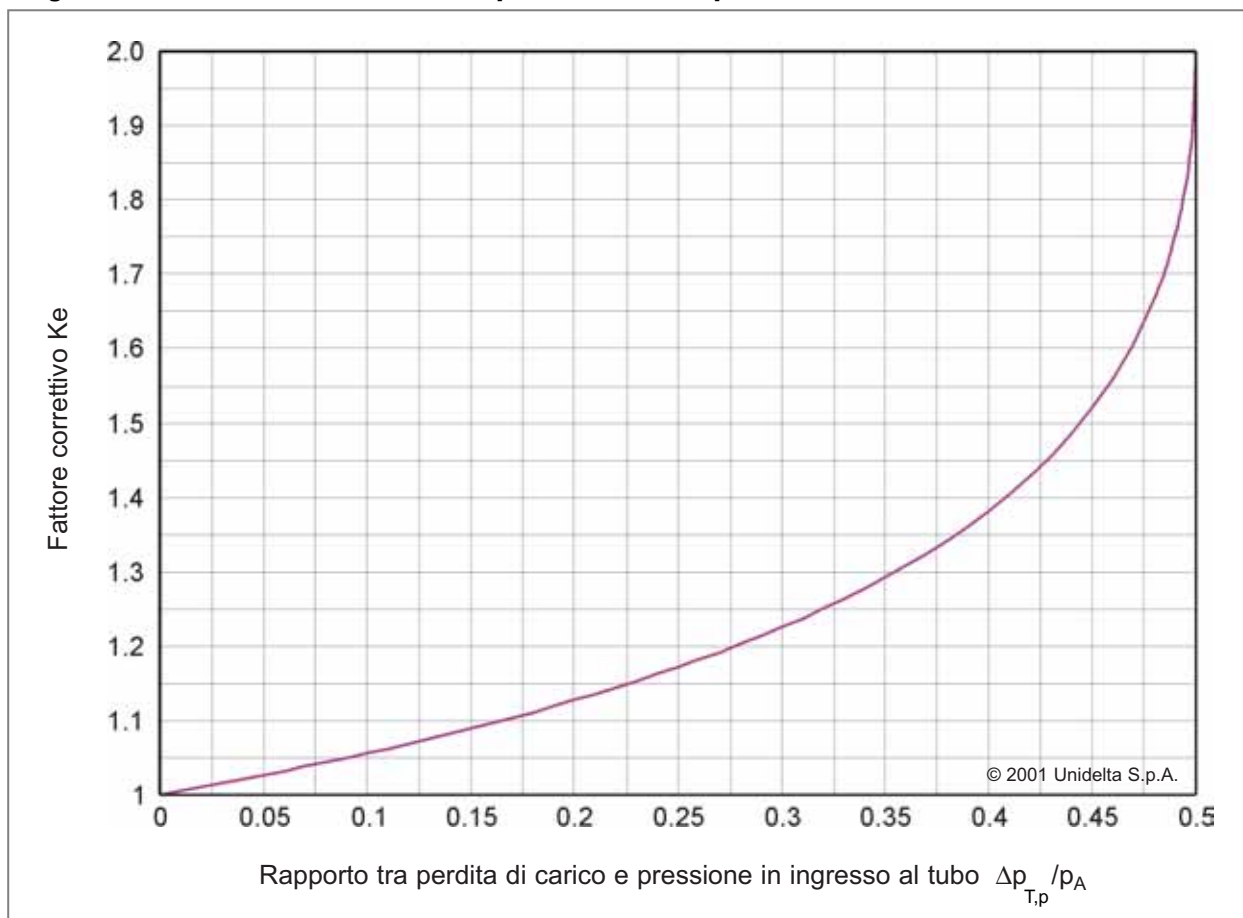


Diagramma 16.8. Fattore correttivo K_p delle perdite di carico, delle portate e delle velocità

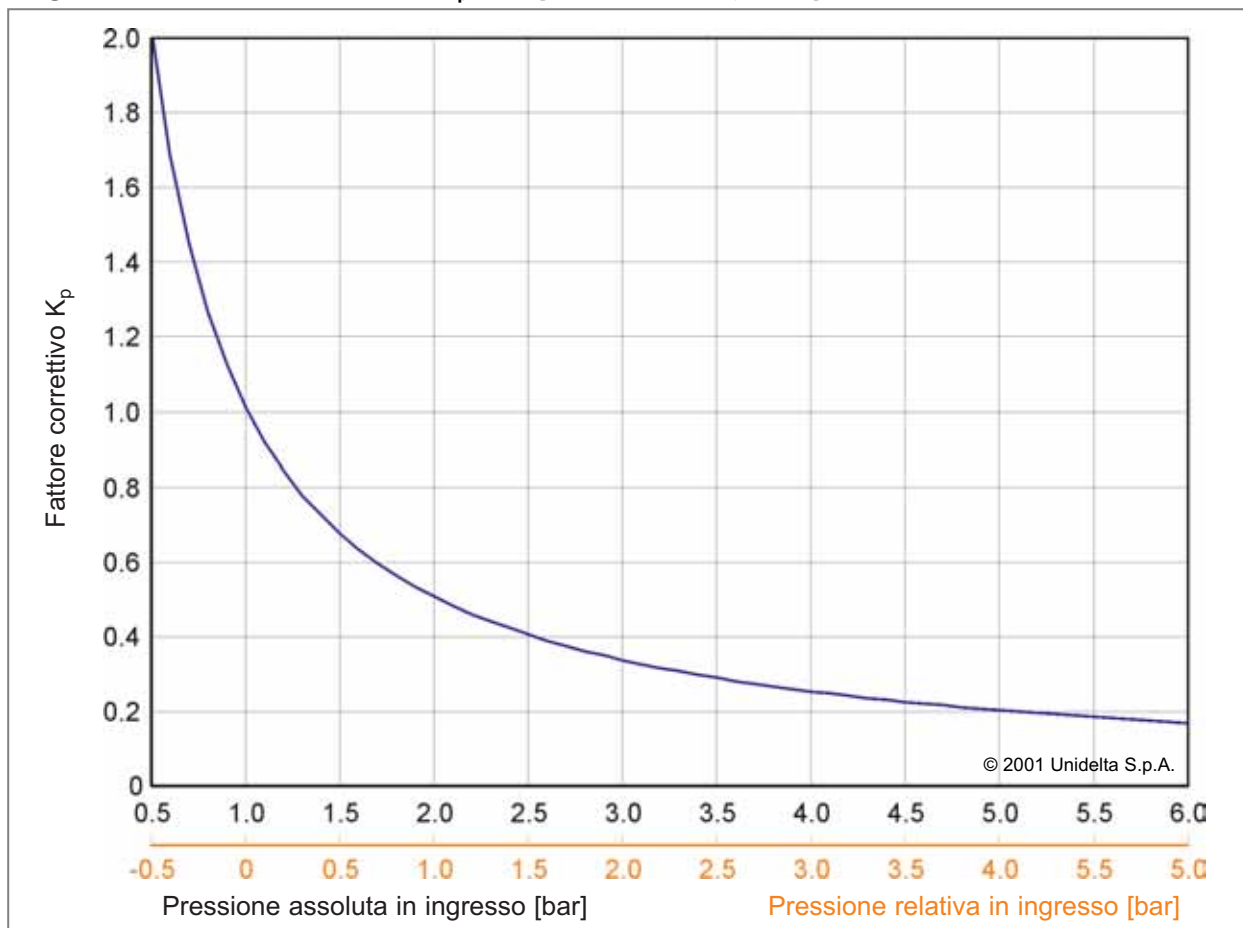


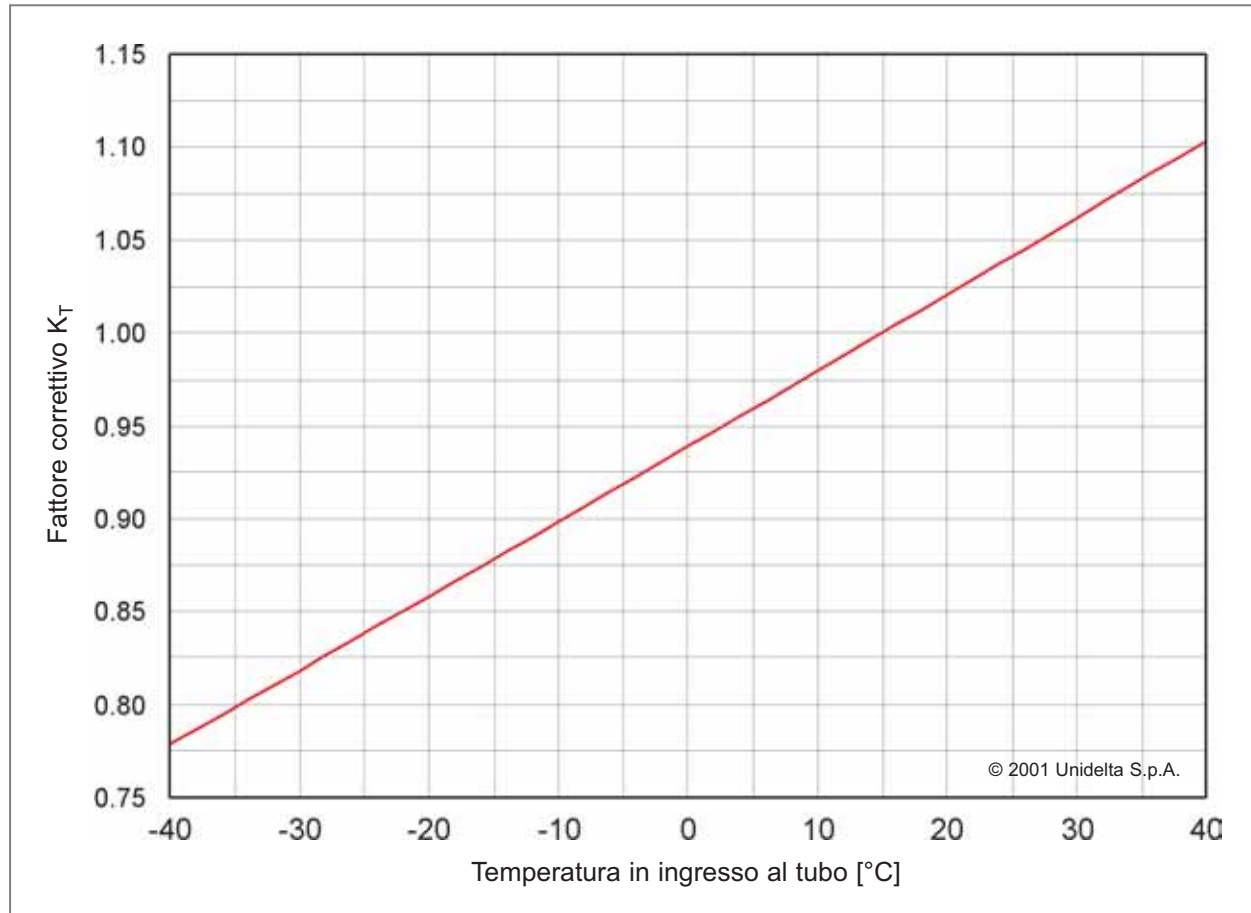
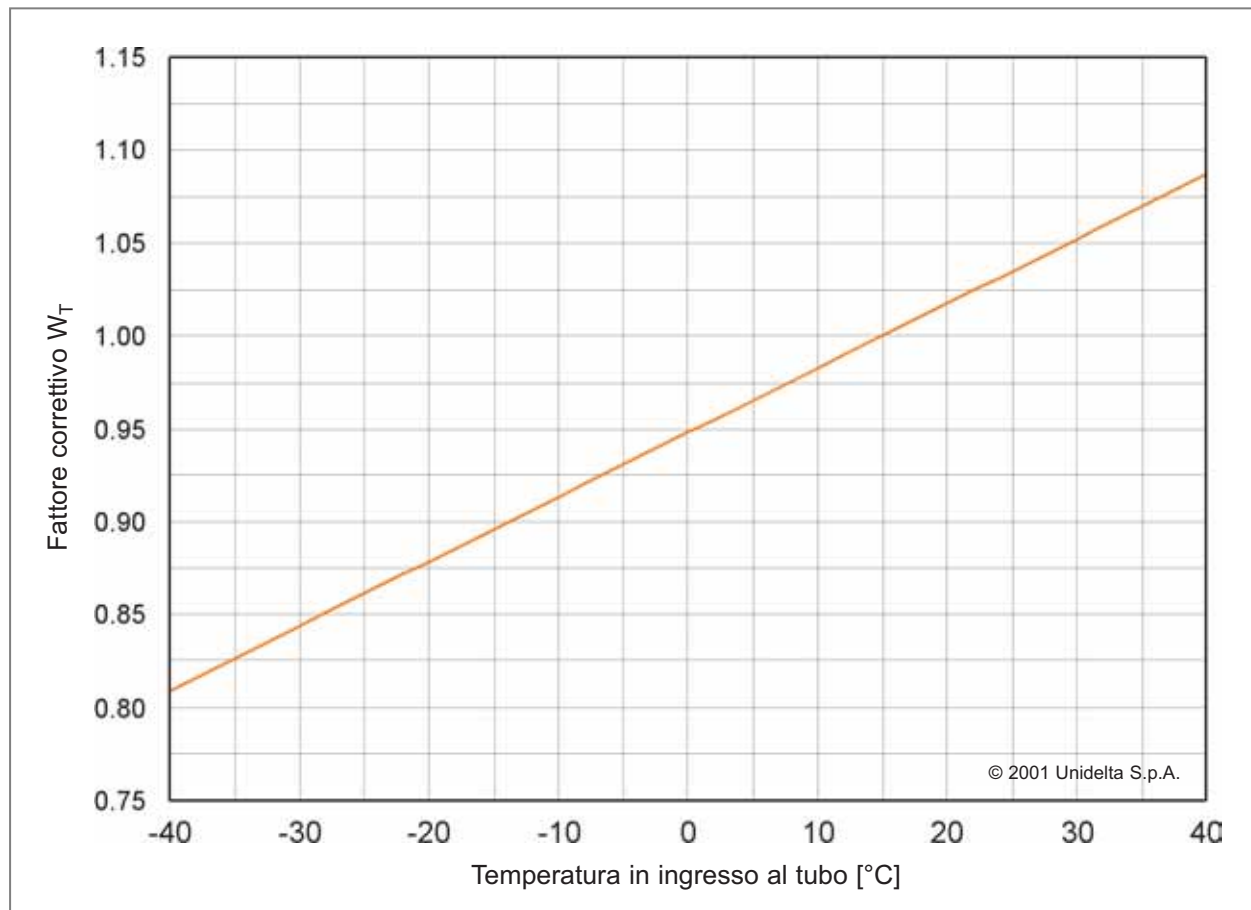
Diagramma 16.9. Fattore correttivo K_T delle perdite di carico**Diagramma 16.10. Fattore correttivo W_T delle portate e delle velocità**

Diagramma 16.11. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Relazione fra portata e velocità in un tubo di polietilene in funzione della pressione.

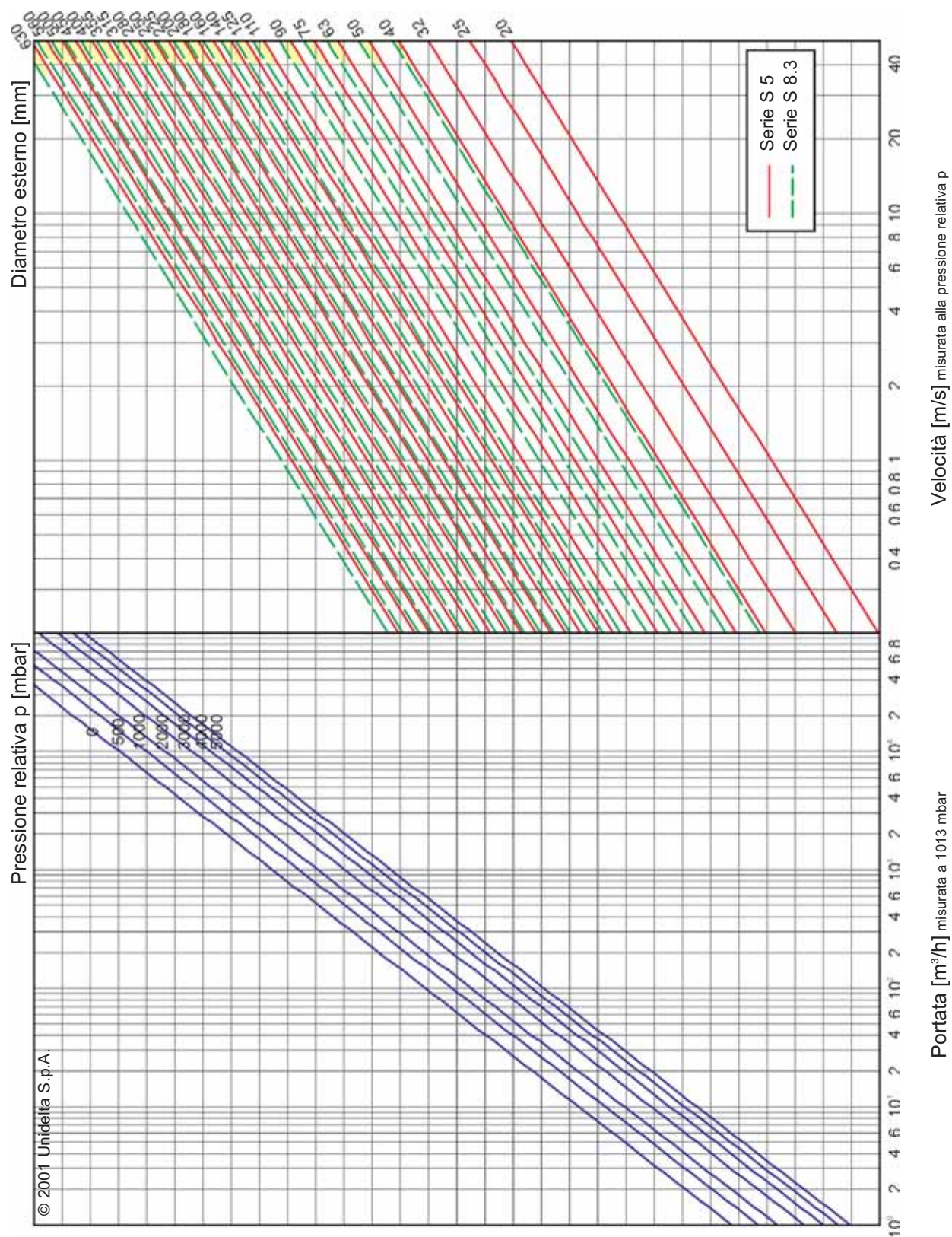


Diagramma 16.12. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Lunghezza limite del tubo per metano in condizioni normali (15°C e 1013 mbar) con una caduta di pressione di 1 mbar.

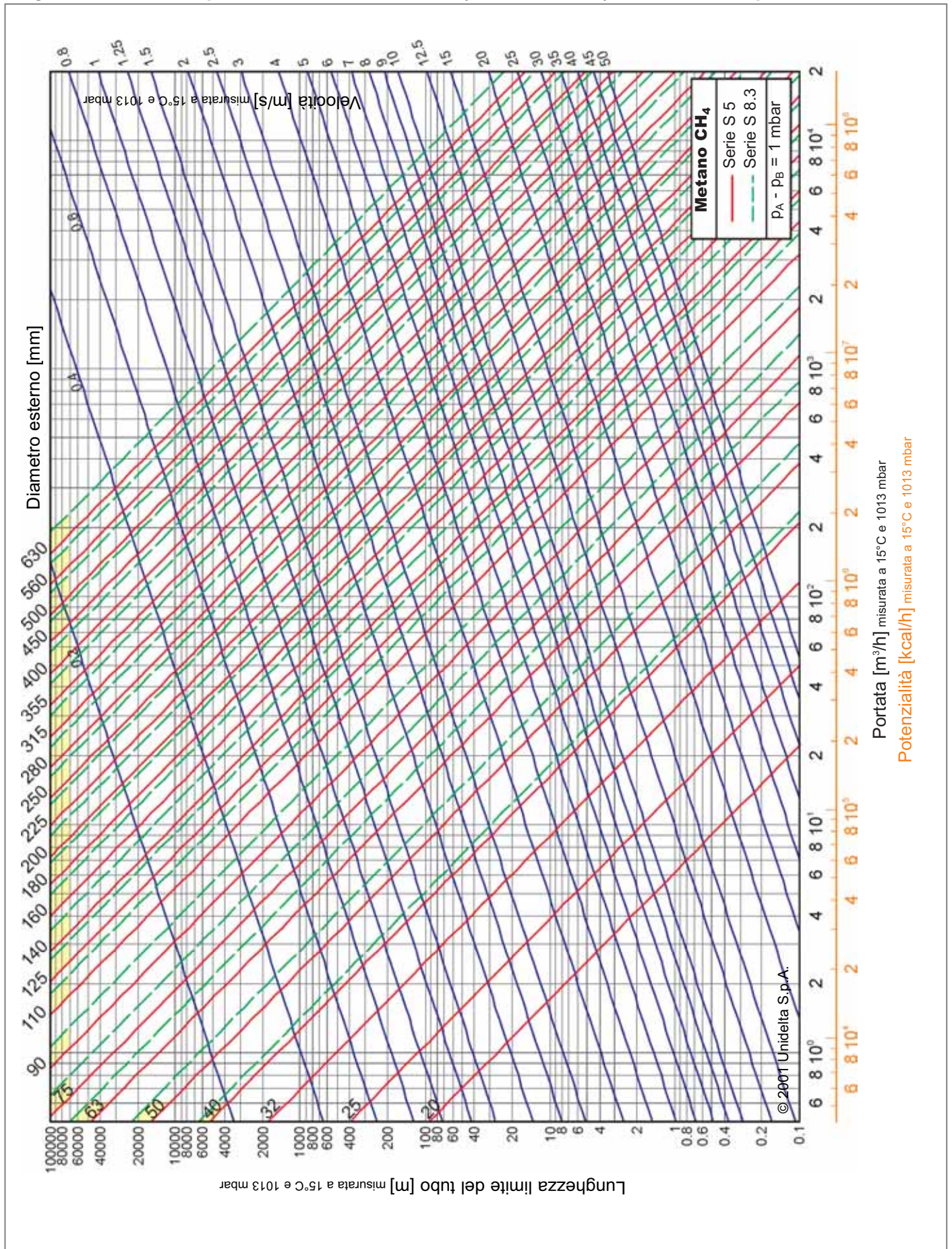


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-0.25}$.

Diagramma 16.13. Tubi Unidelta S 8.3 (SDR 17.6) e S 5 (SDR 11) di polietilene alta densità PE 80 secondo UNI ISO 4437. Lunghezza limite del tubo per propano in condizioni normali (15°C e 1013 mbar) con una caduta di pressione di 2 mbar.

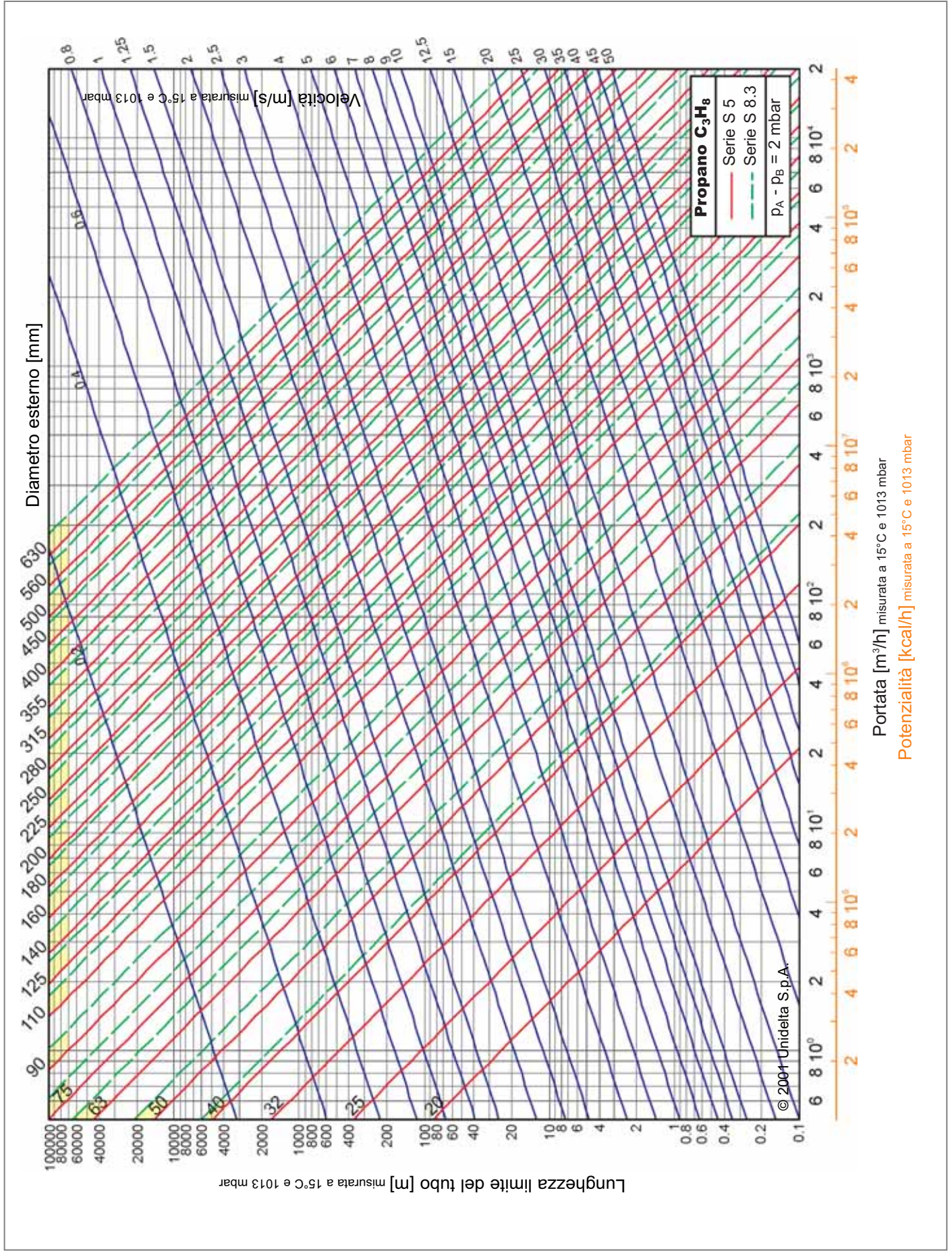


Diagramma ottenuto utilizzando il coefficiente di perdita dato dalla formula di Renouard $\lambda = \alpha \cdot Re^{-0.25}$.

17. Colpo d'ariete

Le tubazioni possono essere soggette ad improvvise sovrappressioni o depressioni in seguito a fenomeni di moto vario. Sia le sovrappressioni che le depressioni possono risultare molto pericolose in quanto le prime possono superare la pressione nominale sollecitando eccessivamente la condotta, le seconde possono far scendere la pressione interna a livelli tali da generare rischi di collassamento per instabilità elastica. Questi fenomeni sono generalmente generati da variazioni di portata dovute all'apertura o alla chiusura di una saracinesca, all'accensione o spegnimento di una pompa od al suo brusco arresto per interruzione della potenza motrice. Se queste manovre avvengono rapidamente si verifica un fenomeno comunemente noto con il nome di colpo di ariete in cui pressioni, velocità e portate variano non solo nel tempo ma anche lungo la tubazione. La velocità c con cui queste variazioni (perturbazioni) avvengono è espressa dalla relazione seguente:

$$c = \sqrt{\frac{E_{\text{Fluido}} / \rho}{1 + \frac{D_m}{s} \cdot \frac{E_{\text{Fluido}}}{E_{\text{Tubo}}}}} \quad [17.1]$$

dove ρ è la densità del fluido [kg/m^3]; D_m è il diametro medio del tubo [mm]; s lo spessore [mm] ed E_{Fluido} e E_{Tubo} sono rispettivamente il modulo di elasticità di volume del fluido (per l'acqua 2030 MPa) ed il modulo di elasticità del materiale del tubo. Nel caso in cui il tubo sia fisso longitudinalmente allora il suo modulo di elasticità deve essere sostituito dall'espressione:

$$\frac{E_{\text{Tubo}}}{1 - \nu^2} \quad [17.2]$$

dove ν è il modulo di Poisson (coefficiente di contrazione) che per il polietilene può essere assunto pari a 0.4. Ricordando la relazione per SDR l'espressione 17.1 può essere riscritta come segue:

$$c = \frac{c^*}{\sqrt{1 + \tau \cdot (\text{SDR} - 1)}} \quad [17.3]$$

con

$$c^* = \sqrt{E_{\text{Fluido}} / \rho} = 1425 \text{ m/s} \quad [17.4]$$

$$\tau = \frac{E_{\text{Fluido}}}{E_{\text{Tubo}}} \quad [17.5]$$

dove c^* rappresenta la velocità di propagazione delle perturbazioni, ovvero del suono, nel fluido e τ il rapporto fra i moduli di elasticità del fluido e del tubo.

In tabella 17.1 sono indicati per differenti tipi di tubo il modulo di elasticità E_{Tubo} , il rapporto τ riferito all'acqua e le tipiche velocità di propagazione c date dall'espressione 17.3.

Tabella 17.1. Modulo di elasticità, rapporto τ e velocità delle perturbazioni c per alcuni tipi di tubo

Tubo	E_{Tubo} [MPa]	$\tau = E_{\text{Acqua}} / E_{\text{Tubo}}$	c [m/s]
Acciaio	206000	0.010	1000÷1350
Ghisa	105000	0.019	950÷1300
PRFV	12000	0.169	300÷800
Cementizio	10000	0.203	600÷1000
PVC	3500	0.580	250÷600
PE 100	1400	1.450	250÷450
PE 80	1000	2.030	200÷400

Il modulo elastico del PE e del PVC è valutato a 20°C e a breve termine.

Il confronto dei moduli di elasticità dei materiali mostra come il polietilene abbia l'elasticità più elevata (modulo E basso) dando origine a velocità di propagazione delle perturbazioni relativamente basse (tabella 17.2).

Tabella 17.2. Velocità di propagazione delle perturbazioni nei tubi di polietilene

Tubo PE80				Tubo PE100			
PN 5 SDR 26	PN 8 SDR 17.6	PN 12.5 SDR 11	PN 20 SDR 7.4	PN 6.3 SDR 26	PN 10 SDR 17	PN 16 SDR 11	PN 25 SDR 7.4
Velocità per tubo non fissato longitudinalmente [m/s]							
198	242	309	381	233	290	362	444
Velocità per tubo fissato longitudinalmente [m/s]							
216	263	335	413	254	315	392	480

Durata della manovra

Si è detto che il fenomeno del colpo di ariete si presenta quando le manovre avvengono in modo brusco. Una manovra è definita brusca quando la sua durata T_m è inferiore alla durata critica T_{cr} così definita:

$$T_m \leq T_{cr} = \frac{2 \cdot L}{c} \quad [17.6]$$

dove L è la lunghezza della condotta [m] e c è la velocità della perturbazione [m/s].

In questo caso la sovrappressione o depressione espressa in metri di colonna d'acqua è determinata dall'espressione seguente:

$$\Delta H = \frac{c \cdot \Delta v}{g} \quad [17.7]$$

dove Δv è la variazione di velocità del fluido dovuta alla manovra (per esempio per la chiusura di una saracinesca $\Delta v = v$ poiché si ha un arresto completo del flusso) e g è l'accelerazione di gravità (9.81 m/s^2). La sovrappressione o depressione che si genera in seguito ad una manovra brusca in funzione della velocità del flusso e della tipologia del tubo è indicata nel diagramma 17.1.

Se la manovra ha una durata superiore alla durata critica T_{cr} (manovra non brusca) la sovrappressione è inferiore ed è calcolabile mediante la formula di Allievi sulla quale è basato il diagramma 17.2. In questo diagramma si ha la sovrappressione relativa $\Delta H/H$ in funzione del fattore adimensionale Φ seguente:

$$\Phi = \frac{v \cdot L}{H \cdot T_m} \quad [17.8]$$

in cui intervengono la velocità iniziale v [m/s], la lunghezza del condotto L [m], il carico idrostatico H [m] e la durata della manovra T_m [s]. Per semplicità di lettura il diagramma è diviso in due sezioni: la prima, per valori di $\Phi < 0.5$, si legge sull'asse di sinistra, la seconda, per valori di $\Phi > 0.5$, si legge sull'asse di destra.

Negli impianti di sollevamento dell'acqua se viene interrotta l'alimentazione elettrica della pompa si può generare un colpo d'ariete. L'arresto della pompa non è istantaneo ma avviene nel tempo T_m durante il quale la girante continua ad erogare portata per inerzia; per valutare l'entità della sovrappressione è opportuno conoscere questo tempo. In seguito ad una serie di osservazioni sperimentali Mendiluce è giunto ad espressioni del tempo di arresto estremamente pratiche funzione della velocità dell'acqua v [m/s], della lunghezza del condotto L [m] e del carico idrostatico H [m].

La tabella 17.3 dà le espressioni da adottare per il calcolo del tempo di arresto della pompa in relazione al rapporto H/L ed alla lunghezza L come rilevato dalle osservazioni sperimentali.

Tabella 17.3. Formule per il calcolo del tempo di arresto della pompa

H/L	Tempo di arresto della pompa T_m [s]	
	$L \leq 2000$ m	$L > 2000$ m
0÷0.20	$1.00 + \left(2 - \frac{L}{2000}\right) \cdot \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$	$1.00 + \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$
0.21÷0.28	$0.75 + \left(2 - \frac{L}{2000}\right) \cdot \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$	$0.75 + \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$
0.29÷0.32	$0.50 + \left(2 - \frac{L}{2000}\right) \cdot \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$	$0.50 + \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$
0.33÷0.37	$0.25 + \left(2 - \frac{L}{2000}\right) \cdot \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$	$0.25 + \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$
0.38÷0.40	$\left(2 - \frac{L}{2000}\right) \cdot \frac{v \cdot L}{g \cdot H}$	$\frac{v \cdot L}{g \cdot H}$
>0.4	0	0

Le norme tecniche

Le “Norme tecniche relative alle tubazioni” contenute nel Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 12/12/1985 (G.U. 14/03/1986, n°61) fissano dei limiti alla massima sovrappressione di colpo d'ariete ammissibile in funzione della pressione d'esercizio. Questi limiti sono riportati in tabella 17.4 e, per comodità di utilizzo, interpolati per diversi valori di pressione in tabella 17.5. Quando dai calcoli si ricavano sovrappressioni maggiori è necessario prevedere l'installazione di dispositivi di attenuazione.

Tabella 17.4. Limiti alle sovrappressioni contenuti nel D.M. LL.PP. 12/12/1985

Pressione d'esercizio [bar]	≤6	6÷10	10÷20	20÷30
Limite alla sovrappressione di colpo d'ariete [bar]	3	3÷4	4÷5	5÷6

Tabella 17.5. Limiti alle sovrappressioni per pressioni di esercizio con incremento di 1 bar

Pressione [bar]	≤6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
Limite [bar]	3	3.5	4	4.2	4.4	4.6	4.8	5	5.2	5.4
	3.25	3.75	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5

Esempio

In un tubo $De = 200$ mm PN 12.5 in PE 80 (UNI 10910) e di lunghezza 7500 m scorre acqua con una portata di 26 litri/s ed alla pressione di 6.1 bar (quindi con carico idrostatico di 60 m). Si voglia determinare la sovrappressione di colpo d'ariete che si genera in seguito ad una manovra di chiusura di una saracinesca in 100 secondi.

Per questa tubazione la velocità delle perturbazioni, dalla tabella 17.2, è di 309 m/s (supponendo che il tubo non sia fissato longitudinalmente) e quindi il tempo critico è dalla 17.6:

$$T_{cr} = \frac{2 \cdot L}{c} = \frac{2 \cdot 7500 \text{ m}}{309 \text{ m/s}} = 48.5 \text{ s}$$

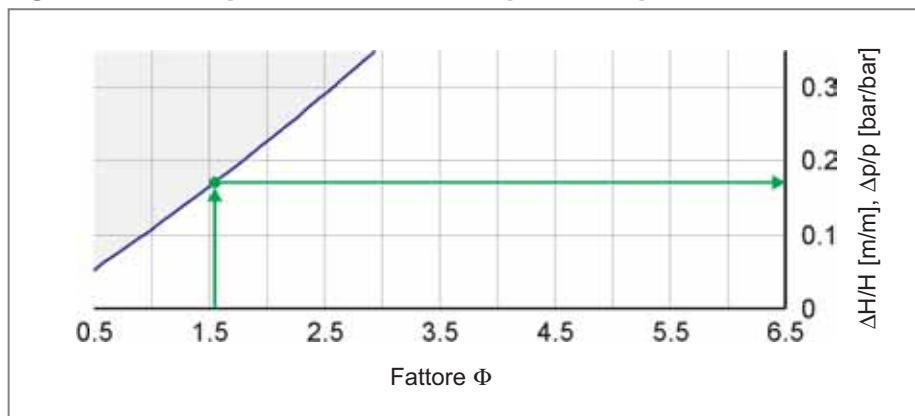
Il tempo di manovra T_m è superiore a quello critico T_{cr} , quindi, poiché la manovra non è brusca, si calcola la sovrappressione mediante il diagramma 17.2.

In funzione del fattore adimensionale

$$\Phi = \frac{v \cdot L}{H \cdot T_m} = \frac{1.237 \cdot 7500}{60 \cdot 100} = 1.55$$

si ottiene una sovrappressione relativa $\Delta H/H = \Delta p/p = 0.17$ e quindi la sovrappressione che si viene a generare è $\Delta H = 0.17 \cdot H = 10$ metri di colonna d'acqua, $\Delta p = 0.17 \cdot p = 1.04$ bar (figura 17.1).

Figura 17.1. Sovrappressione relativa di colpo d'ariete per manovra non brusca



Poiché il D.M. 12/12/1985 fissa una sovrappressione massima di 3 bar per una pressione di esercizio di 6 bar non è necessaria l'installazione di dispositivi di attenuazione della pressione.

Supponiamo ora che il colpo d'ariete sia causato dall'arresto della pompa. In questo caso il tempo è dato dall'espressione di tabella 17.3 in corrispondenza di $H/L = 60/7500 = 0.008$ e per $L > 2000$:

$$T_m = 1.00 + \frac{v \cdot L}{g \cdot H} = 1.00 + \frac{1.237 \cdot 7500}{9.81 \cdot 60} = 16.8 \text{ s}$$

Poiché T_m in questo caso è inferiore al tempo critico T_{cr} la manovra è brusca ed il colpo d'ariete crea una sovrappressione differente da quella calcolata in precedenza.

Dalla tabella 8.5 si ricava la sezione utile di passaggio che per il tubo in questione è 210.21 cm^2 . Si può quindi calcolare la velocità dell'acqua $v = 0.026/0.021021 = 1.237 \text{ m/s}$. Dal diagramma 17.1, in corrispondenza del tubo PE 80 PN 12.5 e della velocità, si determina la sovrappressione massima che si ha con una manovra brusca: $\Delta H = 38$ metri di colonna d'acqua, corrispondenti a $\Delta p = 3.7$ bar (figura 17.2). Tale valore è superiore al limite consentito quindi, in questo caso, è necessario installare sistemi di attenuazione delle sovrappressioni come stabilito dal DM 12/12/1985.

Figura 17.2. Sovrapresioni di colpo d'ariete per manovra brusche.

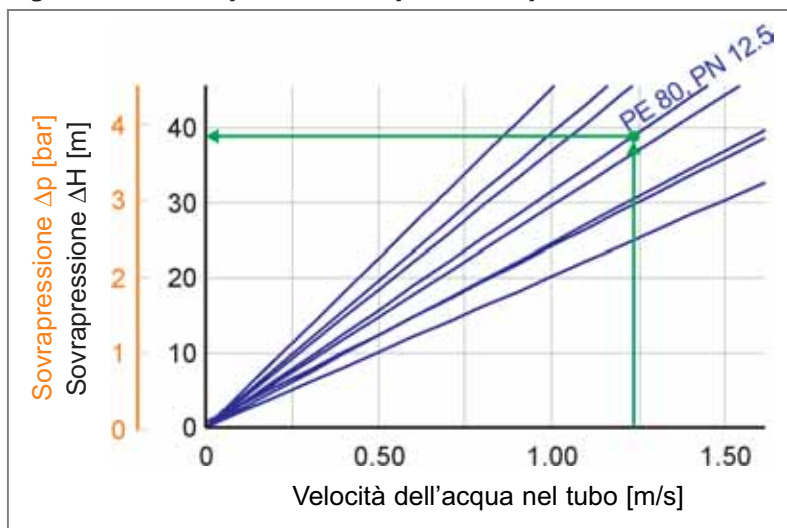


Diagramma 17.1. Sovrapressioni di colpo d'ariete in tubi di polietilene per manovre brusche. Temperatura dell'acqua intorno ai 20°C. Tubo non fisso longitudinalmente.

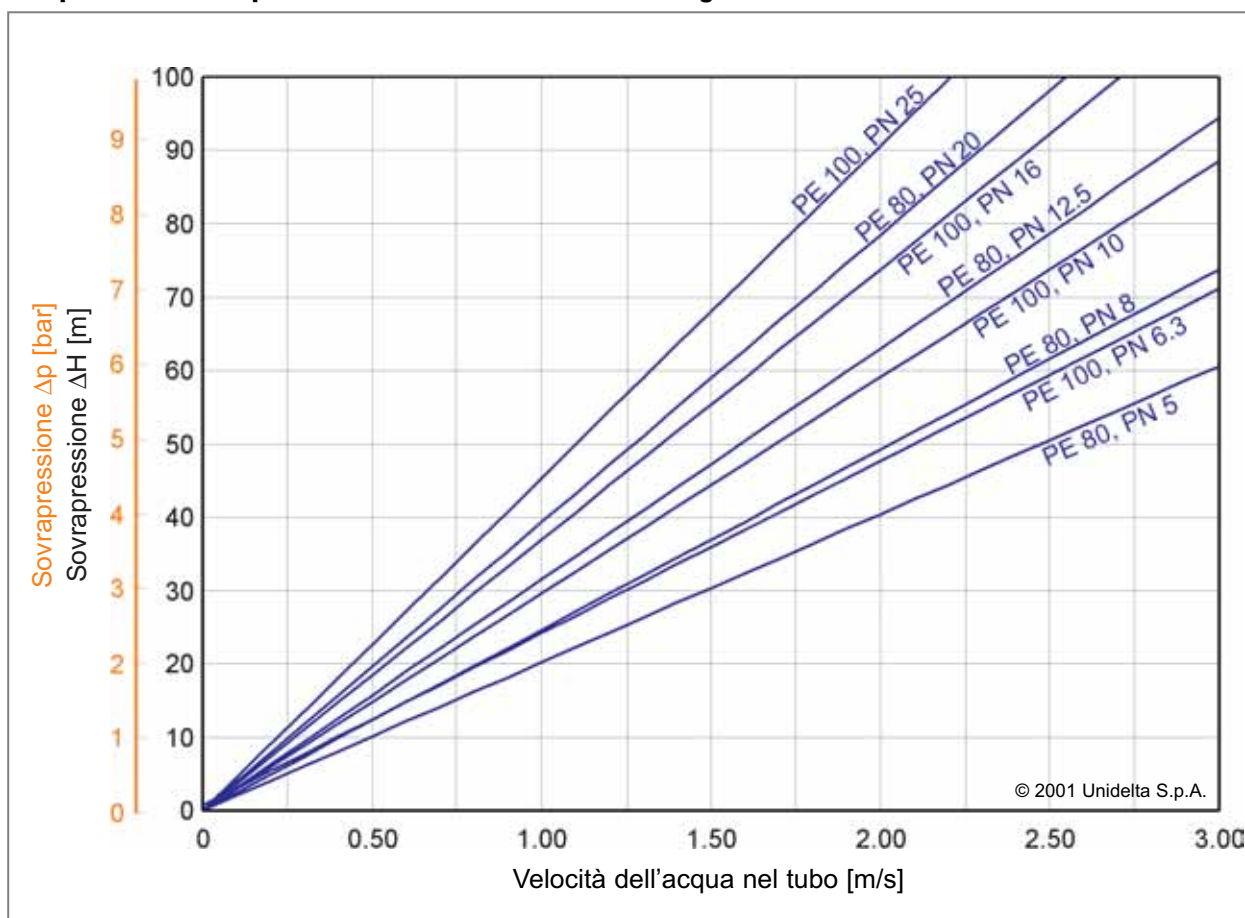
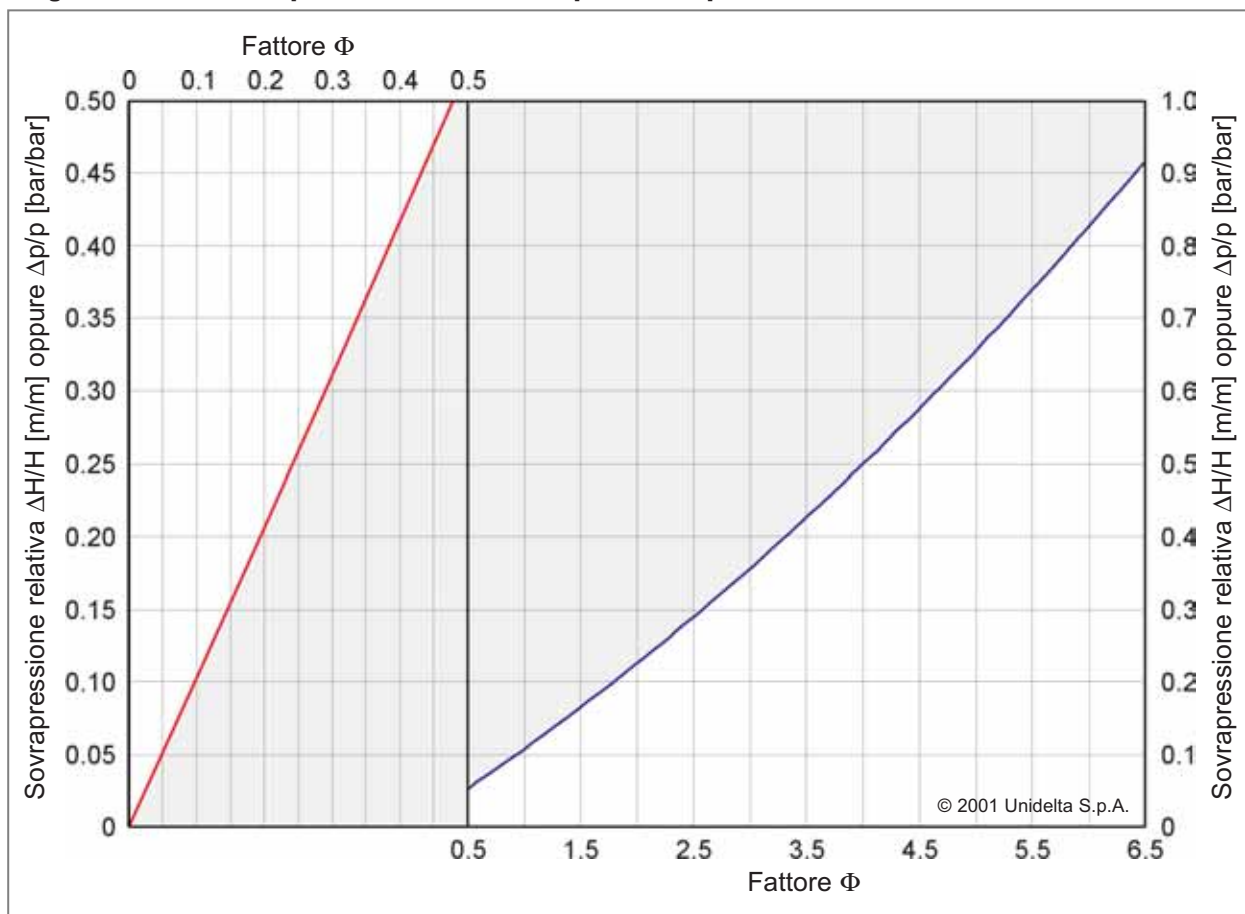


Diagramma 17.2. Sovrapressione relativa di colpo d'ariete per manovre non brusche



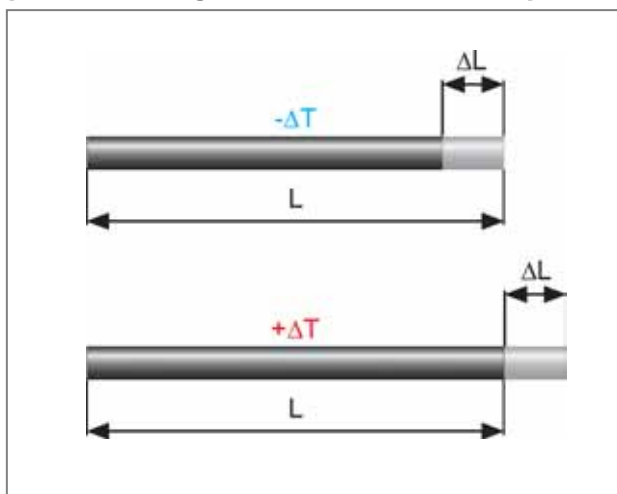
18. Variazioni termiche di lunghezza

In conseguenza dell'aumento o della diminuzione della temperatura qualunque materiale è soggetto a dilatazioni o contrazioni. Le variazioni in lunghezza delle condotte di polietilene dovute alla temperatura sono generalmente più elevate rispetto ad altri materiali come l'acciaio ed il cemento.

In tabella 18.1 si può verificare la differenza esistente tra i coefficienti di dilatazione termica lineare medi di alcuni di essi.

La variazione di lunghezza ΔL di una condotta di lunghezza L in seguito ad variazione di temperatura ΔT fra la temperatura attuale e la temperatura alla quale è stata posata è data dall'espressione che segue:

Figura 18.1. Dilatazione e contrazione di un tubo di polietilene in seguito a una variazione di temperatura



$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad [18.1]$$

e la deformazione assiale del tubo, definita come il rapporto tra la variazione di lunghezza ΔL e la lunghezza iniziale L , è:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha \cdot \Delta T \quad [18.2]$$

Nei diagrammi 18.1a e 18.1b è tracciato l'allungamento assoluto ΔL [mm] in funzione della lunghezza della condotta L [m] e della variazione di temperatura data dalla differenza tra la temperatura del tubo in esercizio T_e [°C] e la temperatura alla quale è stata effettuata la posa T_p [°C]. Il diagramma 18.1a è valido per $\Delta T \leq 40^\circ\text{C}$ mentre il diagramma 18.1b per $\Delta T \geq 40^\circ\text{C}$.

Se la variazione in lunghezza della condotta fosse impedita si genererebbe nel tubo una sollecitazione assiale data dall'espressione seguente:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad [18.3]$$

dove E è il modulo di elasticità del materiale [MPa].

Tabella 18.1. Coefficienti di dilatazione termica lineare medi e moduli di elasticità

Tipo di materiale	α [mm/m·°C]	E [MPa]	$E \cdot \alpha$ [MPa/°C]
Ghisa	0.010	105000	1.05
Acciaio	0.012	206000	2.47
Rame	0.017	130000	2.21
Alluminio	0.024	65000	1.56
PVC	0.080	3000÷3500	0.24÷0.28
PPr	0.180	800÷900	0.14÷0.16
PE	0.200	1000÷1400	0.20÷0.28

Il modulo elastico del PE e del PVC è valutato a 20°C e a breve termine.

Nonostante il polietilene presenti un coefficiente di dilatazione α elevato e quindi variazioni in lunghezza elevate, le sollecitazioni che si generano all'interno della parete del condotto non sono necessariamente alte. Questo è dovuto al fatto che il suo modulo di elasticità E è relativamente basso rispetto ad altri materiali e quindi, nel prodotto $E \cdot \alpha$, compensa il valore elevato del coefficiente di dilatazione α . Da tabella 18.1 si osserva che in un tubo di polietilene una variazione di 10°C genera una sollecitazione di 2.8 MPa mentre nell'acciaio di 24.7 MPa. Il polietilene, come gli altri materiali plastici, ha una grande capacità di assorbire le dilatazioni a livello intermolecolare; questo consente, in molti casi, di installare le tubazioni bloccandole completamente impedendo le dilatazioni.

Le sollecitazioni che si generano all'interno del tubo si scaricano all'estremità in prossimità dei punti fissi costituiti per esempio da apparecchiature quali pompe o saracinesche. Queste forze possono essere anche di notevole entità e comunque possono essere calcolate mediante l'espressione seguente:

$$F = \sigma \cdot A_r = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot A_r \quad [18.4]$$

dove A_r è la sezione resistente del tubo che deve essere espressa in $[\text{mm}^2]$, σ in $[\text{MPa}]$ e F in $[\text{N}]$.

Quando le variazioni di temperatura alle quali i tubi sono esposti sono eccessive o troppo frequenti e le forze che si vengono a generare sono molto elevate diviene necessario prevedere sistemi di compensazione. Possono essere impiegati giunti di dilatazione a soffietto o a cannocchiale il cui numero è dato dal rapporto tra la massima variazione di lunghezza del tubo e la variazione di lunghezza che può assorbire il singolo giunto oppure si può sfruttare l'elasticità del materiale nei cambiamenti direzionali.

Compensazione a braccio flessibile

La compensazione a braccio flessibile (figura 18.2) consente di sfruttare una variazione di direzione del tubo per assorbire le variazioni di lunghezza evitando l'installazione di giunti di dilatazione.

Il sistema a braccio flessibile consente di compensare la variazione di lunghezza ΔL di un tratto di condotta L mediante la flessione del tratto di condotta ortogonale al primo L_B .

In questo caso il braccio flessibile dovrà avere una lunghezza sufficiente a garantire la compensazione, i punti fissi e di scorrimento dovranno distanziare il tubo dalla parete in maniera tale da consentire la deformazione della condotta.

L'espressione che segue consente di calcolare la lunghezza del braccio L_B [mm] una volta noto l'allungamento ΔL del tubo [mm] (dai diagrammi 18.1a e 18.1b) e il diametro D_e [mm]:

$$L_B = 18.23 \cdot \sqrt{\Delta L \cdot D_e} \quad [18.5]$$

Il secondo braccio di compensazione L'_B si calcola impiegando la stessa espressione ma considerando come lunghezza da compensare quella del braccio L_B .

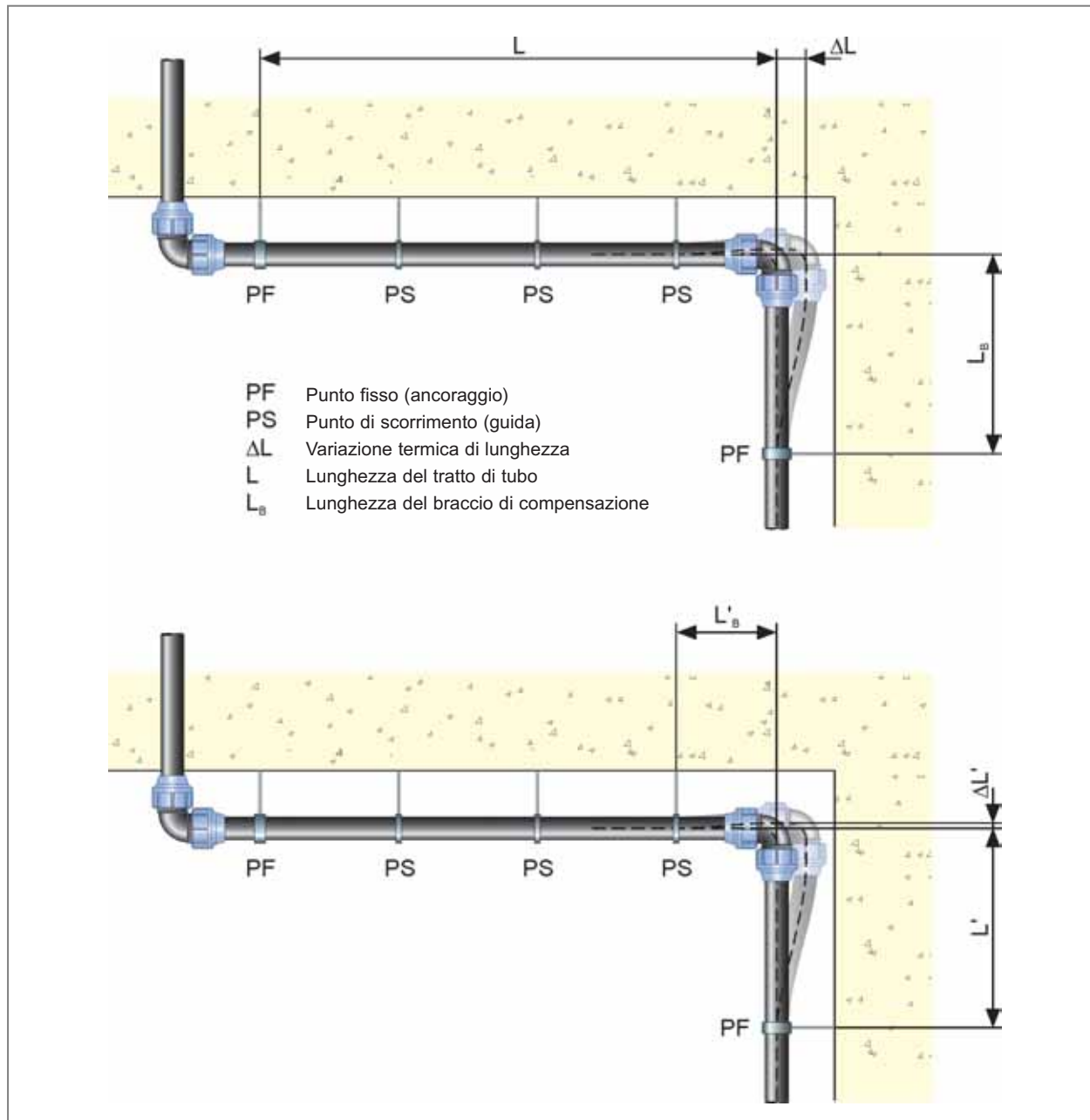
I due bracci di compensazione possono essere calcolati direttamente, senza la determinazione preventiva dell'allungamento, impiegando le due espressioni seguenti:

$$L_B = 8.155 \cdot \Delta T^{0.5} \cdot D_e^{0.5} \cdot L^{0.5} \quad [18.6]$$

$$L'_B = 0.03162 \cdot L_B^{1.5} \cdot L^{-0.5} \quad [18.7]$$

dove ΔT è la massima differenza di temperatura $[\text{}^\circ\text{C}]$, D_e è il diametro esterno del tubo [mm], L è la lunghezza del tratto da compensare [m] e L_B e L'_B sono i bracci di flessione [mm].

Figura 18.2. Installazione con compensazione a braccio flessibile

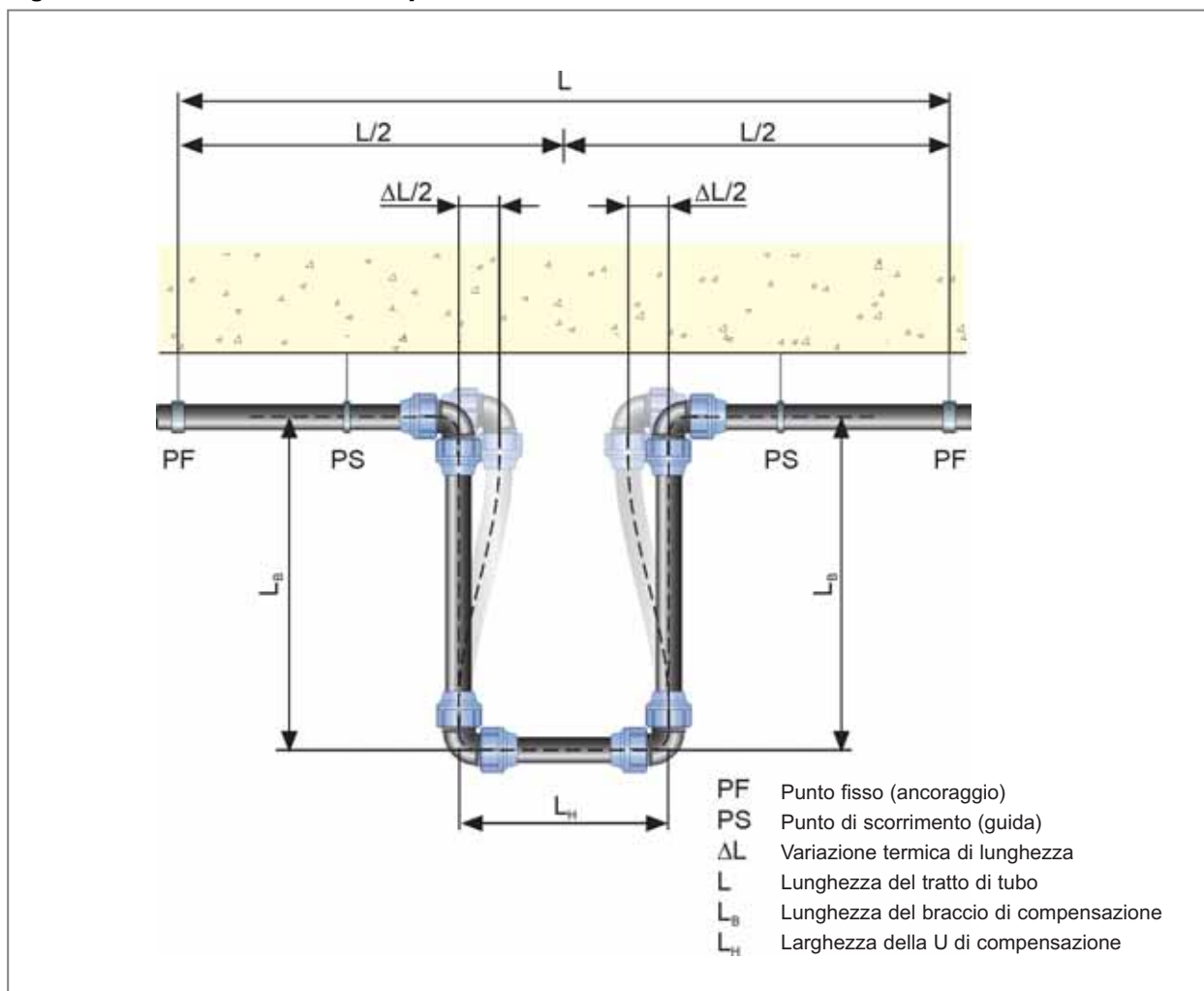


Gli stessi risultati si possono ottenere dal diagramma 18.2 in cui è data la lunghezza del braccio flessibile L_B e la lunghezza del braccio flessibile L'_B in funzione del diametro esterno del tubo D_e , della lunghezza del tratto da compensare L e della differenza di temperatura ΔT alla quale è soggetto il tubo.

Compensazione ad U

Quando non è possibile sfruttare variazioni nella direzione del tubo si possono realizzare sistemi di compensazione ad U creando due bracci di compensazione simmetrici come mostrato in figura 18.3. In questo caso, per il calcolo della lunghezza L_B , si può impiegare il diagramma 18.2 o la formula 18.5 facendo attenzione a considerare la lunghezza $L/2$ ovvero la metà della tratta da compensare. Il tratto centrale L_H della U può essere uguale al braccio L_B , in questo caso si ha una U quadra, oppure uguale alla metà $L_B/2$, U rettangolare.

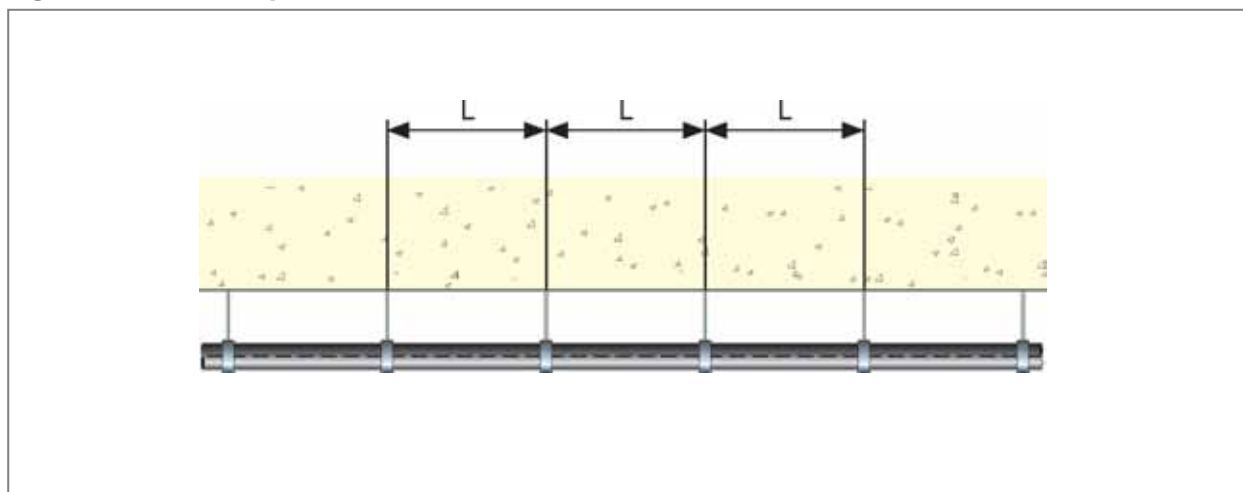
Figura 18.3. Installazione con compensazione ad U



Tubi sospesi soggetti a variazioni di temperatura

Se il tubo viene sospeso in aria (figura 18.4) le variazioni di lunghezza possono generare deformazioni vistose quando la distanza L tra i supporti è elevata. Se i supporti agiscono da punti fissi e non consentono lo scorrimento del tubo l'aumento della temperatura genera frecce accentuate ed antiestetiche.

Figura 18.4. Tubo sospeso



La distanza L fra i supporti può essere determinata mediante il diagramma 18.3 dove sono tracciate le curve del rapporto L/De in funzione della differenza di temperatura ΔT fra la temperatura di posa e quella di esercizio. Per la determinazione di tale distanza si è supposto che il tubo non abbia possibilità di scorrimento nei supporti e non si è tenuto in considerazione il peso proprio e quello del fluido contenuto. Per le condotte sospese soggette al peso proprio e quello del fluido si deve fare riferimento al capitolo successivo. Si è osservato che per tubi di piccolo diametro prevale l'effetto di dilatazione mentre per tubi di diametro elevato è maggiore l'effetto di flessione dovuto al peso.

La distanza L [mm] è calcolata mediante l'espressione seguente:

$$L = 55.54 \cdot (De^2 + Di^2)^{0.5} \cdot \Delta T^{-0.5} \quad [18.8]$$

dove De e Di sono il diametro esterno ed interno del tubo [mm] e ΔT è la differenza di temperatura [°C]. Ricordando la definizione di SDR l'espressione precedente si può riscrivere in una forma a volte più comoda:

$$L = 78.54 \cdot \left(\frac{SDR^2 - 2 \cdot SDR + 2}{SDR^2 \cdot \Delta T} \right)^{0.5} \quad [18.9]$$

Esempio 1

Un tubo di polietilene $De = 110$ mm di 8 metri di lunghezza viene posato ad una temperatura di 10°C. Durante l'esercizio è soggetto alla temperatura massima di 30°C e minima di 0°C. Determinare le massime variazioni di lunghezza del tubo.

La massima differenza di temperatura la si ha quando la temperatura di esercizio è 30°C in quanto $\Delta T = 30^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$. Dal diagramma 18.1a in corrispondenza di tale differenza di temperatura e per un tubo di 8 metri si ha un allungamento di 32 mm. Quando la temperatura di esercizio scende a 0°C e la differenza è $\Delta T = 0^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = -10^\circ\text{C}$ si ha un accorciamento di 16 mm.

Si supponga ora che la lunghezza del tubo sia di 80 metri, sul diagramma tale lunghezza non è indicata e quindi è necessario procedere nel modo seguente.

Dato che la relazione tra la variazione di lunghezza del tubo e la variazione di temperatura è lineare (si veda l'espressione 18.1) è possibile moltiplicare per 10 i valori calcolati per il tubo di 8 m dato che il rapporto fra le lunghezze considerate è $80 / 8 = 10$. Quindi a 30°C si ha un allungamento di 320 mm e a 0°C un accorciamento di 160 mm.

Esempio 2

Si calcoli la lunghezza del braccio di compensazione per il tubo dell'esempio precedente.

Per il calcolo del braccio di compensazione si deve impiegare la massima variazione di temperatura; dal diagramma 18.2 in corrispondenza del diametro esterno 110 mm e per una variazione $\Delta T = 20^\circ\text{C}$ si ha:

$$\begin{aligned} L_B \cdot L^{-0.5} &= 385 \text{ mm/m}^{0.5} \\ L'_B \cdot L^{-0.25} &= 240 \text{ mm/m}^{0.25} \end{aligned}$$

quindi

$$\begin{aligned} L_B &= 385 \cdot 8^{0.5} = 1088 \text{ mm} \\ L'_B &= 240 \cdot 8^{0.25} = 403 \text{ mm} \end{aligned}$$

oppure utilizzando le espressioni 18.6 e 18.7:

$$L_B = 8.155 \cdot 20^{0.5} \cdot 110^{0.5} \cdot 8^{0.5} = 1082 \text{ mm}$$

$$L'_B = 0.03162 \cdot 1082^{1.5} \cdot 8^{-0.5} = 397 \text{ mm}$$

Se non vi è la possibilità di sfruttare la compensazione a braccio flessibile per l'assenza di una variazione di direzione si può impiegare la compensazione ad U.

Anche in questo caso si può utilizzare il diagramma precedente con una lunghezza $L = 8 / 2 = 4 \text{ m}$ come indicato nella figura 18.3:

$$L_B = 385 \cdot 4^{0.5} = 770 \text{ mm}$$

La lunghezza del tratto centrale della U può essere scelto in modo tale da creare una U quadra con $L_H = 770 \text{ mm}$ oppure una U rettangolare con $L_H = 385 \text{ mm}$.

Esempio 3

Determinare la distanza massima dei supporti per un tubo di polietilene $De = 110 \text{ mm}$, PE 80, PN 12.5, UNI 10910 sospeso in aria, posato alla temperatura di 5°C e soggetto ad una temperatura massima di 45°C .

Leggendo sul lato destro del diagramma 18.3 per una variazione di temperatura $\Delta T = 45^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C}$ ed in corrispondenza della curva c si ha

$$L/De = 11.4 \text{ mm/mm}$$

e quindi

$$L = 11.4 \cdot 110 \text{ mm} = 1254 \text{ mm}$$

Oppure mediante l'espressione 18.8

$$L = 55.54 \cdot (110^2 + 90^2)^{0.5} \cdot 40^{-0.5} = 1248 \text{ mm}$$

Diagramma 18.1a. Dilatazione/contrazione delle condotte di polietilene per $\Delta T \leq 40^\circ\text{C}$

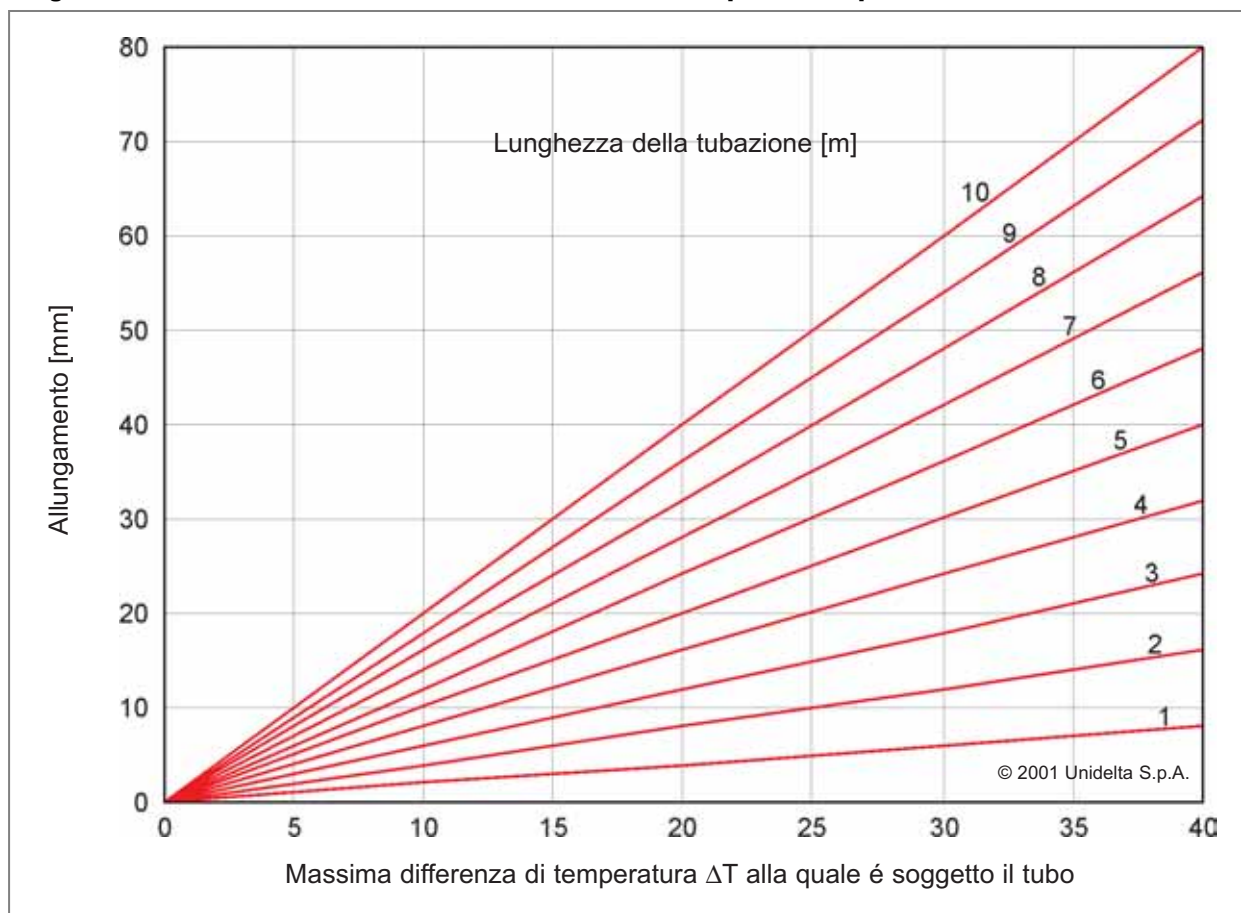


Diagramma 18.1b. Dilatazione/contrazione delle condotte di polietilene per $\Delta T \geq 40^\circ\text{C}$

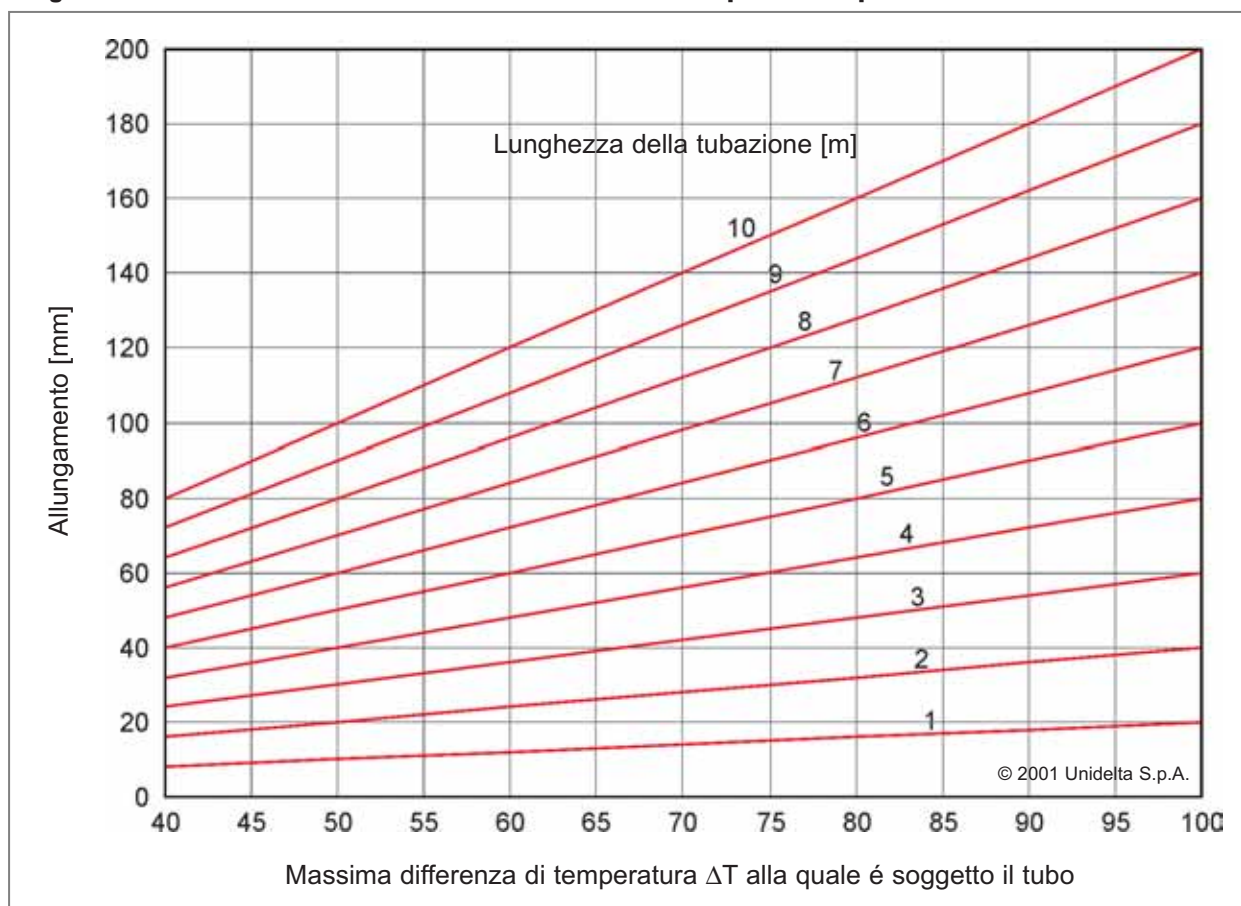


Diagramma 18.2. Lunghezza del braccio flessibile di compensazione

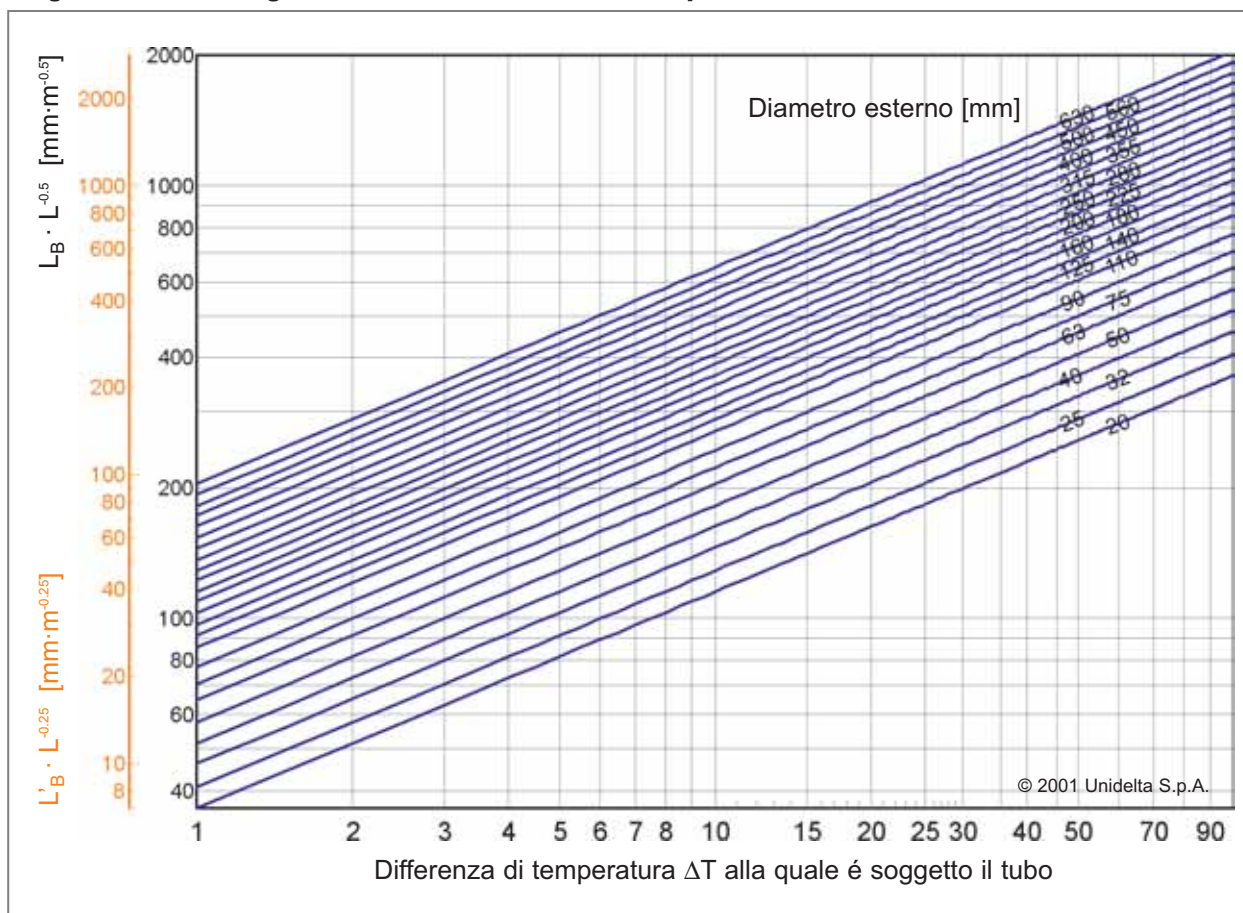
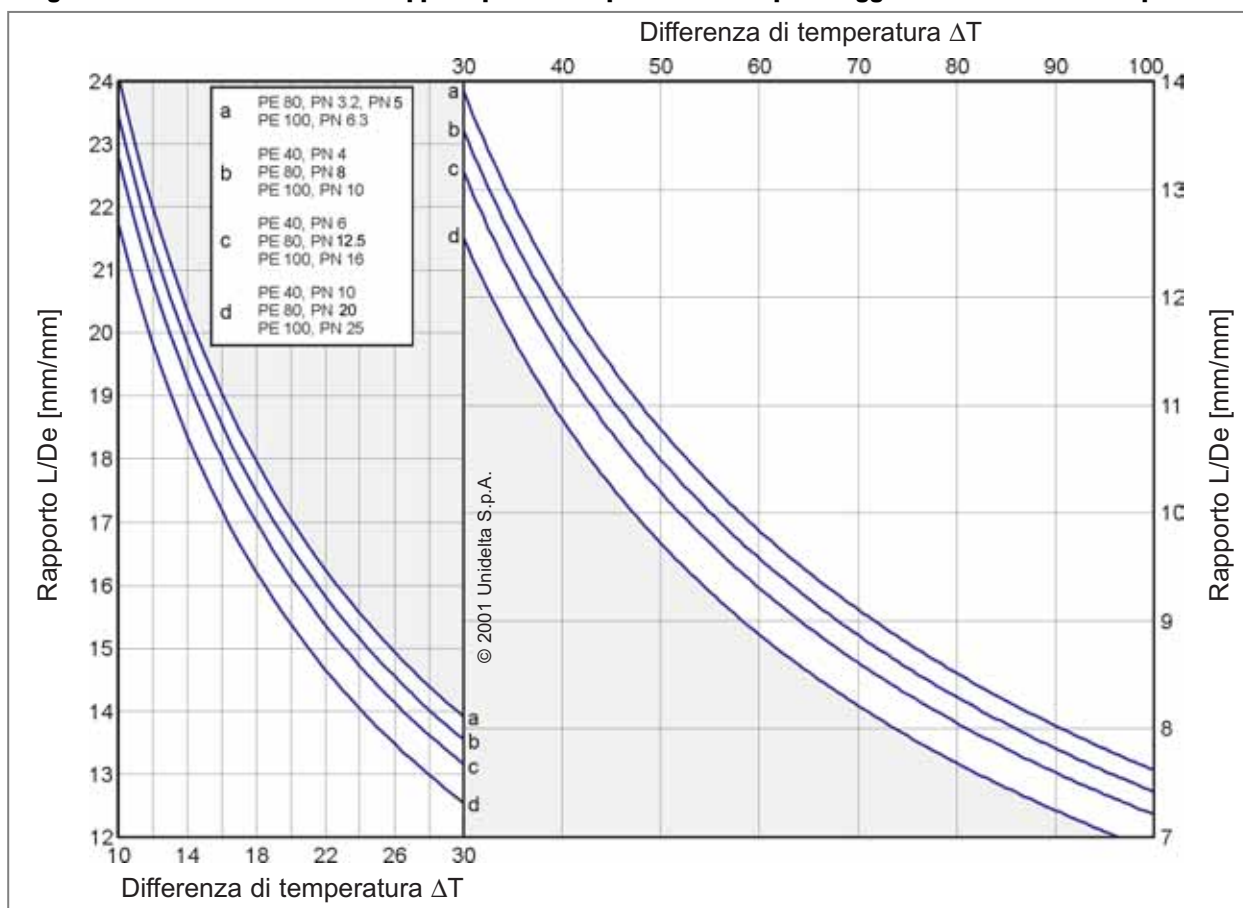


Diagramma 18.3. Distanza tra i supporti per tubi di polietilene sospesi soggetti a variazioni di temperatura

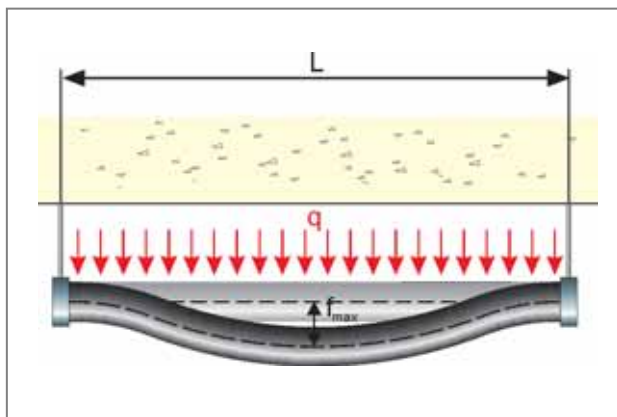


19. Flessione

Sulle tubazioni sospese, soggette al proprio peso ed al peso del fluido trasportato, o su quelle ancorate sul fondo marino, soggette alle correnti ed alle onde marine, si esercitano forze laterali che possono portare a deformazioni rilevanti. È quindi opportuno valutare tali deformazioni ed applicare ancoraggi opportunamente dimensionati per contrastarle.

Di seguito viene analizzato il caso dei tubi sospesi soggetti alla forza del peso proprio e alla forza del peso del fluido contenuto la cui somma per unità di lunghezza viene indicata con q ed è data dall'espressione seguente:

Figura 19.1. Tubo soggetto a flessione per peso proprio e peso del fluido trasportato



$$q = g \cdot \rho_{\text{Tubo}} \cdot \pi \cdot \frac{De^2 - Di^2}{4} + g \cdot \rho_{\text{Fluido}} \cdot \pi \cdot \frac{Di^2}{4} \quad [19.1]$$

dove De e Di sono il diametro esterno ed interno del tubo, ρ_{Tubo} e ρ_{Fluido} sono i pesi specifici del polietilene e del fluido trasportato, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità.

Supponendo che in corrispondenza dei supporti il tubo non sia soggetto a rotazione l'espressione seguente consente di calcolare la massima distanza L fra i supporti.

$$L = \left(\frac{6 \cdot \pi \cdot E_{\text{Tubo}} \cdot f_{\text{max}} \cdot (De^4 - Di^4)}{q} \right)^{0.25} \quad [19.2]$$

dove De e Di sono il diametro esterno ed interno del tubo, E_{Tubo} è il suo modulo elastico che dipende dalla temperatura di esercizio e dalla durata prevista dell'impianto e f_{max} è la freccia massima ammissibile (figura 19.1). Un valore di freccia di 0.25 cm è generalmente sufficiente per non avere deformazioni rilevabili visivamente. Nei diagrammi dal 19.1 al 19.9 è tracciata la lunghezza L in funzione della temperatura di esercizio e del diametro esterno del tubo per fluidi aventi peso specifico ρ_{Fluido} non superiore a 1000 kg/m^3 e per una freccia massima imposta di 0.25 cm. I valori riportati sono basati sulle caratteristiche del polietilene PE 80 e PE 100 estrapolate a 50 anni.

Gli stessi risultati si possono ottenere con l'espressione seguente derivata dalla 19.2 e quindi valida per fluidi aventi peso specifico ρ_{Fluido} non superiore a 1000 kg/m^3 e per una freccia massima imposta di 0.25 cm.

$$L = \Omega \cdot \left(\frac{De^4 - Di^4}{Pt + Vf} \right)^{0.25} \quad [19.3]$$

dove De , Di , Pt e Vf sono rispettivamente il diametro esterno [mm], il diametro interno [mm], il peso del tubo al metro [kg/m] e il volume di fluido contenuto al metro [l/m] rilevabili dalle tabelle delle caratteristiche dimensionali di ogni tipologia di tubo contenute in questo manuale. Il parametro Ω è dato invece in tabella 19.1 in relazione al tipo di polietilene impiegato e alla temperatura di esercizio.

Tabella 19.1. Coefficiente Ω in funzione del tipo di polietilene e della temperatura

Tipo di polietilene	Temperatura di esercizio [°C]				
	20	30	40	50	60
PE 80	29.28	28.43	27.67	26.71	25.92
PE 100	30.49	29.61	28.84	27.84	26.96

Nel diagramma 19.10 viene dato il fattore correttivo moltiplicativo K_p della lunghezza per un fluido con peso specifico ρ_{Fluido} superiore a 1000 kg/m^3 e nel diagramma 19.11 è dato il fattore correttivo moltiplicativo K_f per un valore della freccia massima f_{max} diverso da 0.25 cm . Tali coefficienti correttivi devono essere applicati nel modo seguente:

$$L_{p,f} = K_p \cdot K_f \cdot L \quad [19.4]$$

dove L è la lunghezza misurata per una freccia di 0.25 cm e peso specifico del fluido non superiore a 1000 kg/m^3 e $L_{p,f}$ è la lunghezza misurata per una freccia massima f_{max} e peso specifico del fluido ρ_{Fluido} .

Si consiglia sempre dopo aver determinato la distanza tra i supporti per il tubo soggetto a flessione di ripetere il calcolo per il tubo soggetto a variazione di temperatura come specificato nel capitolo precedente.

Esempio

Si deve sospendere un tubo di polietilene PN 12.5, PE 80, UNI 10910 avente $De = 140 \text{ mm}$ per il trasporto di fluido avente peso specifico di 1500 kg/m^3 . La temperatura massima di esercizio che può essere raggiunta è di 40°C .

Dal diagramma 19.4 in corrispondenza della temperatura di 40°C e del diametro 140 mm si individua una distanza tra gli appoggi:

$$L = 1700 \text{ mm}$$

Lo stesso risultato si può ottenere con la formula 19.3 con $\Omega = 27.67$ (tubo PE 80 e temperatura 40°C). Dalla tabella 8.5 per il tubo UNI 10910 avente $De = 140 \text{ mm}$ si hanno i seguenti parametri:

$$Di = 114.4 \text{ mm}$$

$$Pt = 5.16 \text{ kg/m}$$

$$Vf = 10.28 \text{ l/m}$$

e quindi si ha

$$L = 27.67 \cdot \left(\frac{140^4 - 114.4^4}{5.16 + 10.28} \right)^{0.25} = 1686 \text{ mm}$$

Le distanze calcolate in entrambi i metodi sono valide per il trasporto di fluidi aventi peso specifico massimo di 1000 kg/m^3 e per una freccia massima di 0.25 cm .

Risulta necessario apportare la correzione K_p data dal diagramma 19.10 dal quale si ricava, in corrispondenza della curva c il valore $K_p = 0.93$. Quindi la distanza massima effettiva tra gli appoggi è:

$$L_{p=1500 \text{ kg/m}^3} = 1700 \cdot 0.93 = 1581 \text{ mm}$$

Se si ammettesse poi una freccia massima di 0.1 cm , applicando il fattore correttivo K_f del diagramma 19.11, la distanza sarebbe ridotta ulteriormente:

$$L_{f=1 \text{ cm}} = 1581 \cdot 0.8 = 1264 \text{ mm}$$

A questo punto andrebbe verificata la distanza tra i supporti per il tubo soggetto a variazione di temperatura. Se per esempio la temperatura di posa è 10°C si ha una variazione di temperatura massima di $\Delta T = 40^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C}$ e dal diagramma 18.3 del capitolo precedente si ottiene:

$$L = 13.2 \cdot 140 \text{ mm} = 1848 \text{ mm}$$

che è maggiore della distanza calcolata per la pura flessione; in questo caso vale quindi la distanza di 1264 mm .

Diagramma 19.1. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 3.2 (SDR 33), PE 80, UNI 7613

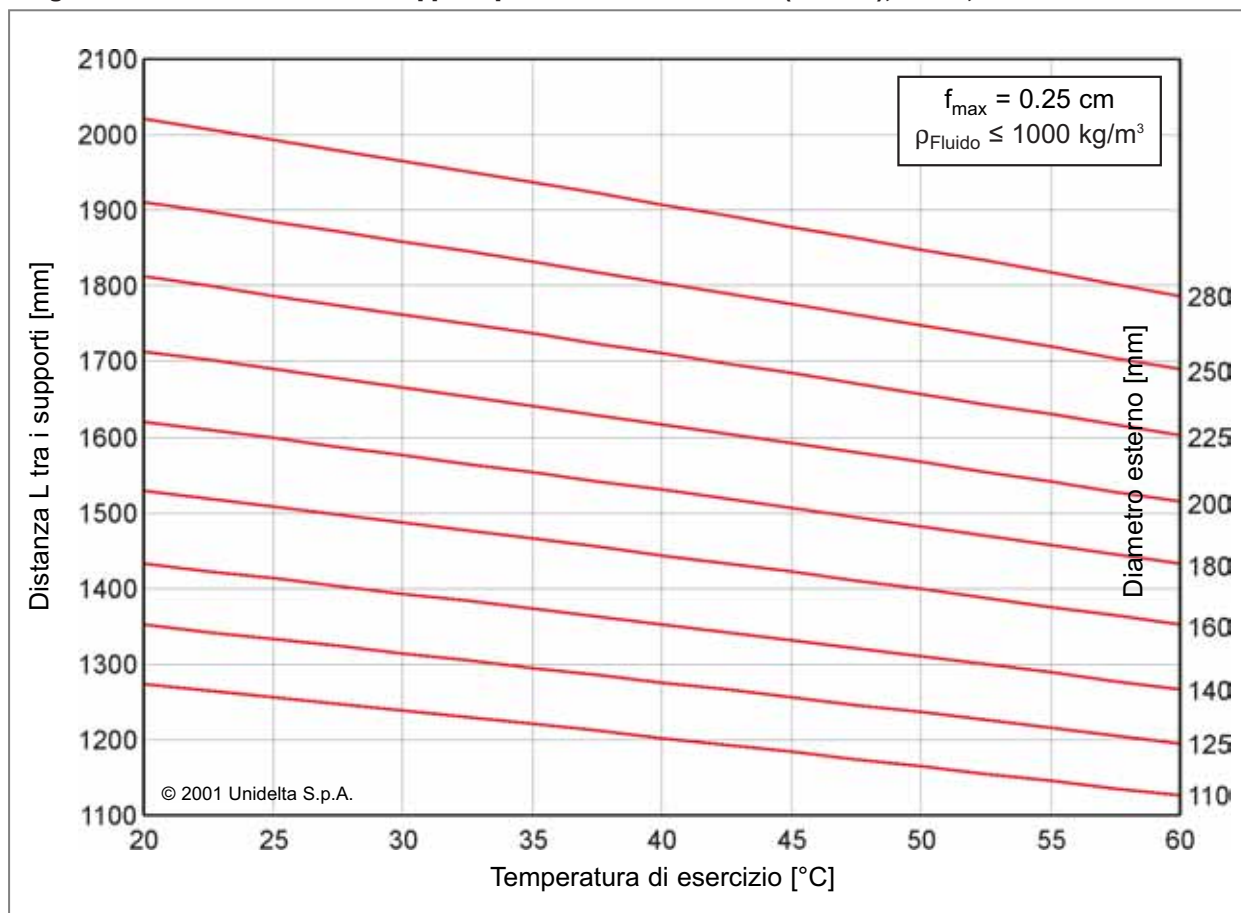


Diagramma 19.2. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 5 (SDR 26), PE 80, UNI 10910

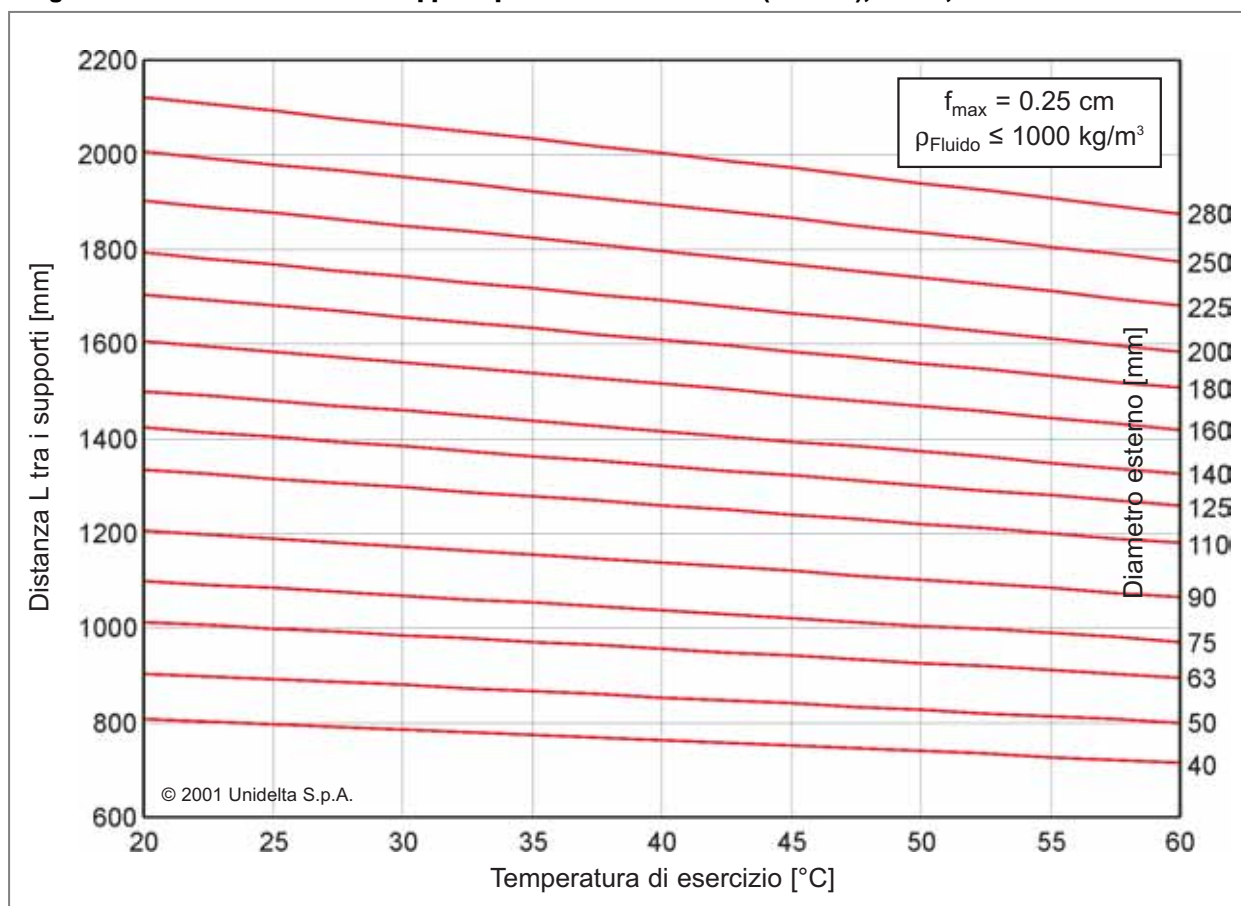


Diagramma 19.3. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 8 (SDR 17.6), PE 80, UNI 10910

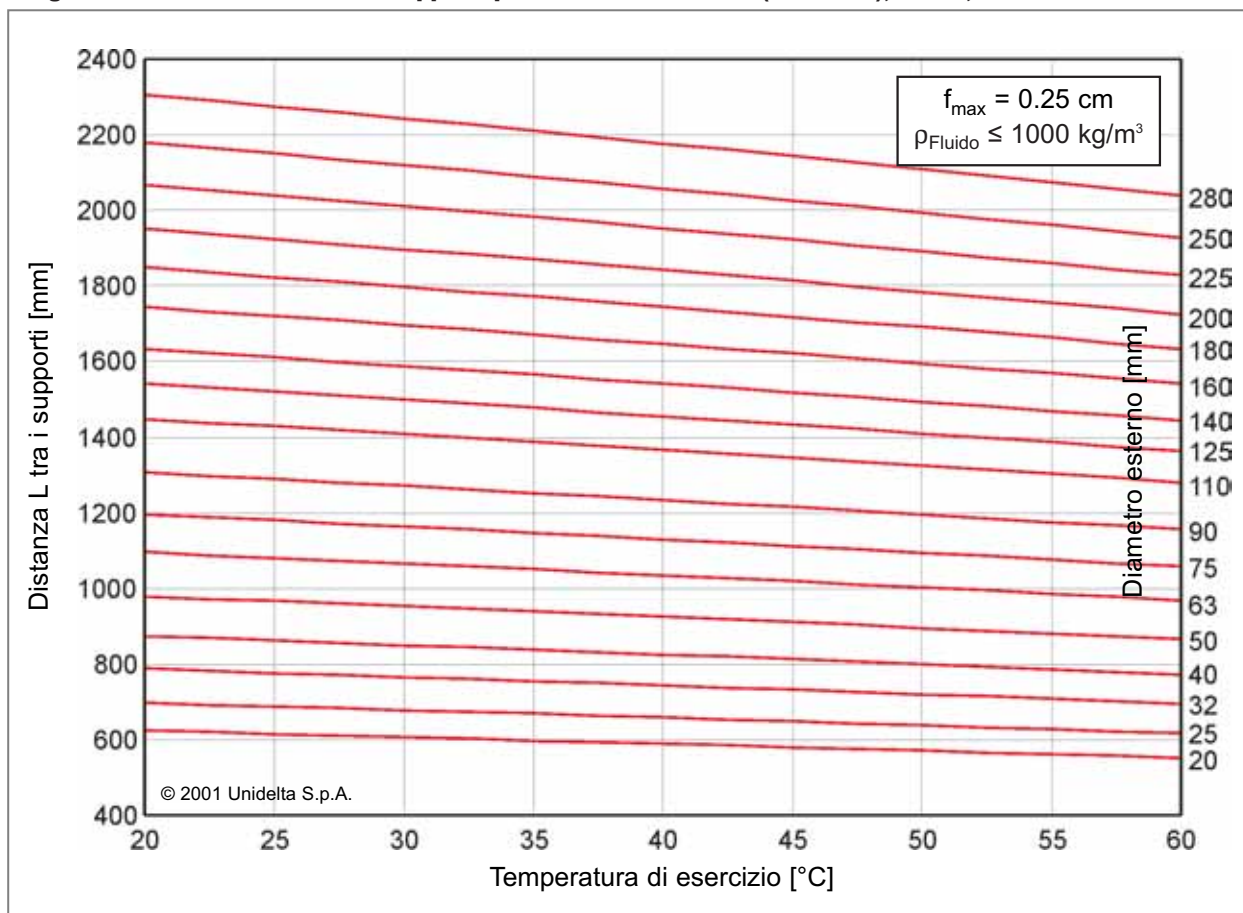


Diagramma 19.4. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 12.5 (SDR 11), PE 80, UNI 10910

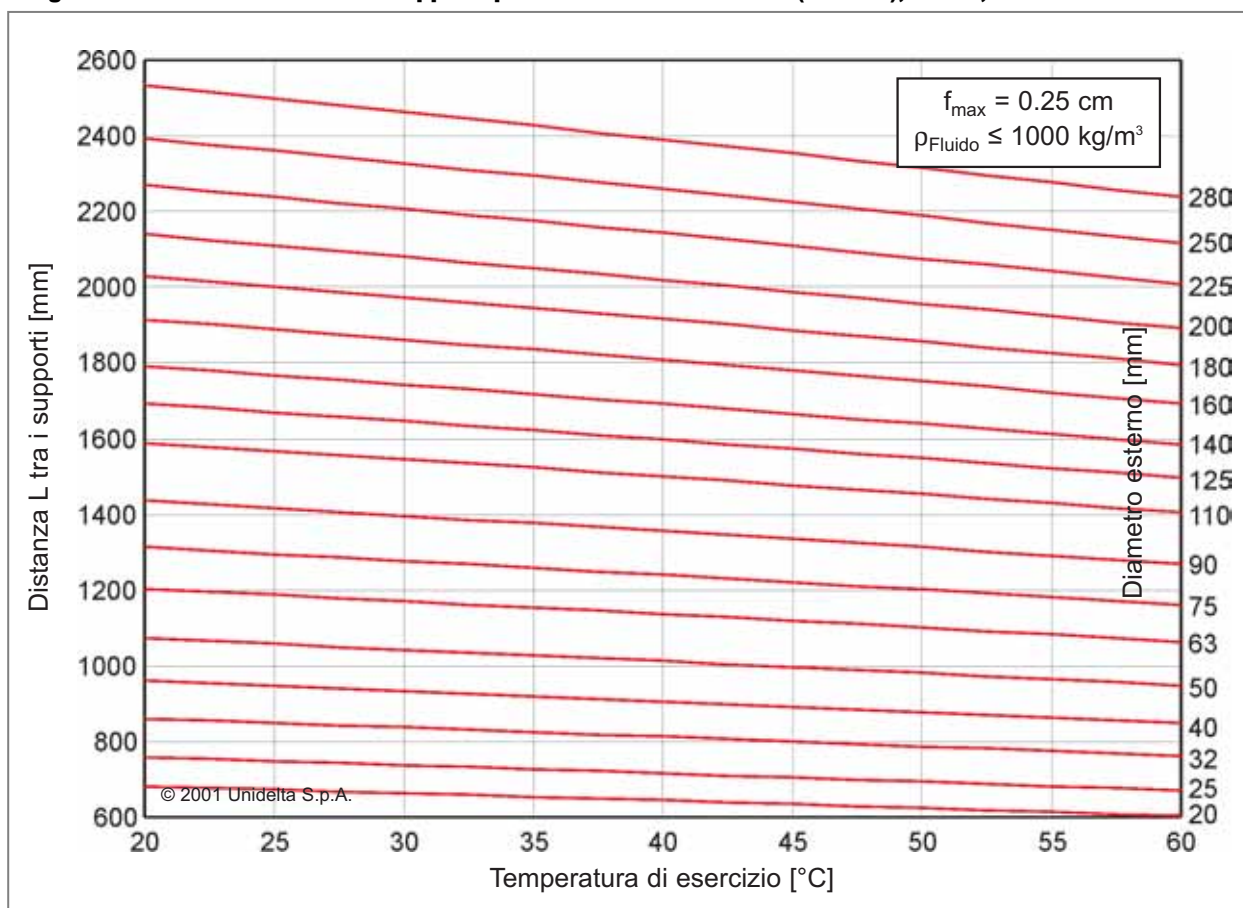


Diagramma 19.5. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 20 (SDR 7.4), PE 80, UNI 10910

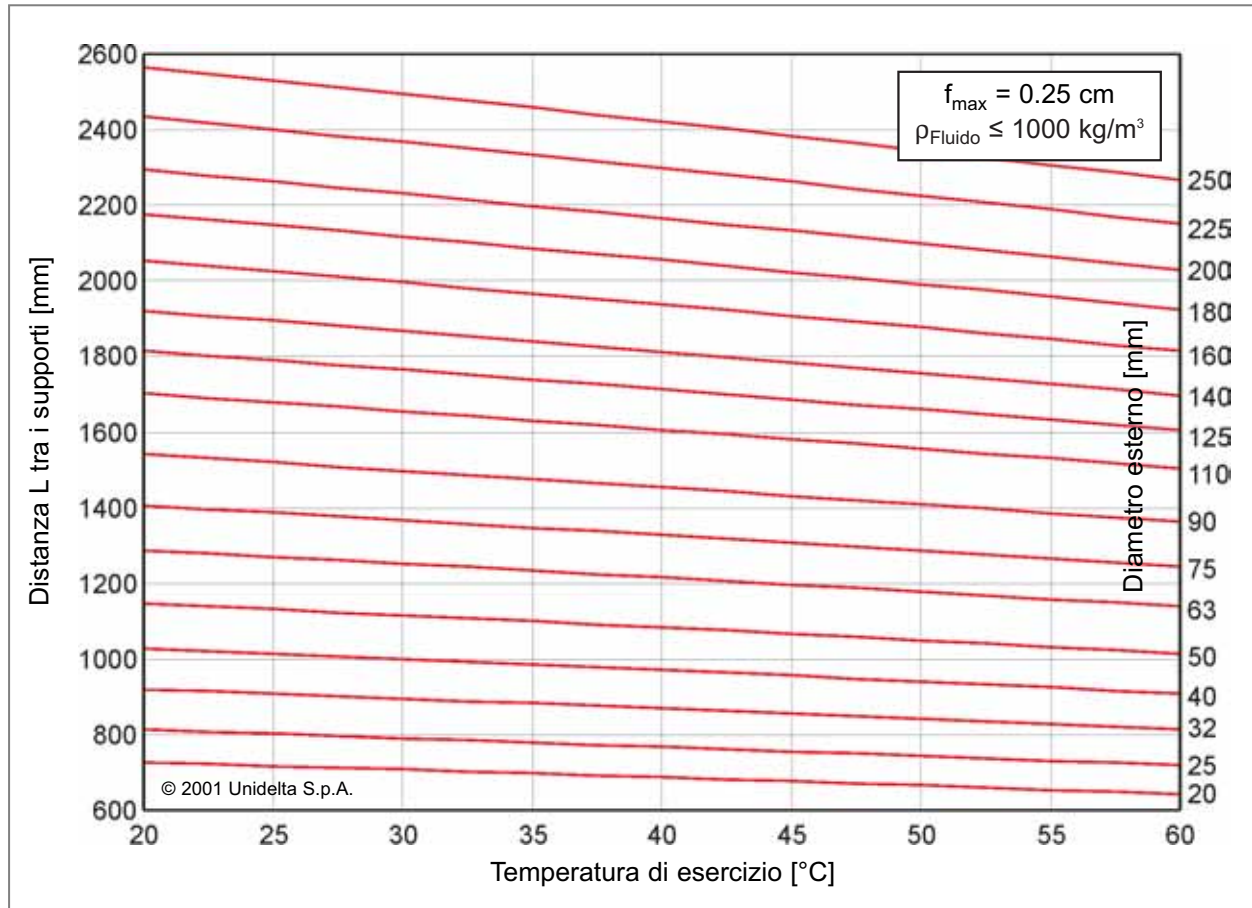


Diagramma 19.6. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 6.3 (SDR 26), PE 100, UNI 10910

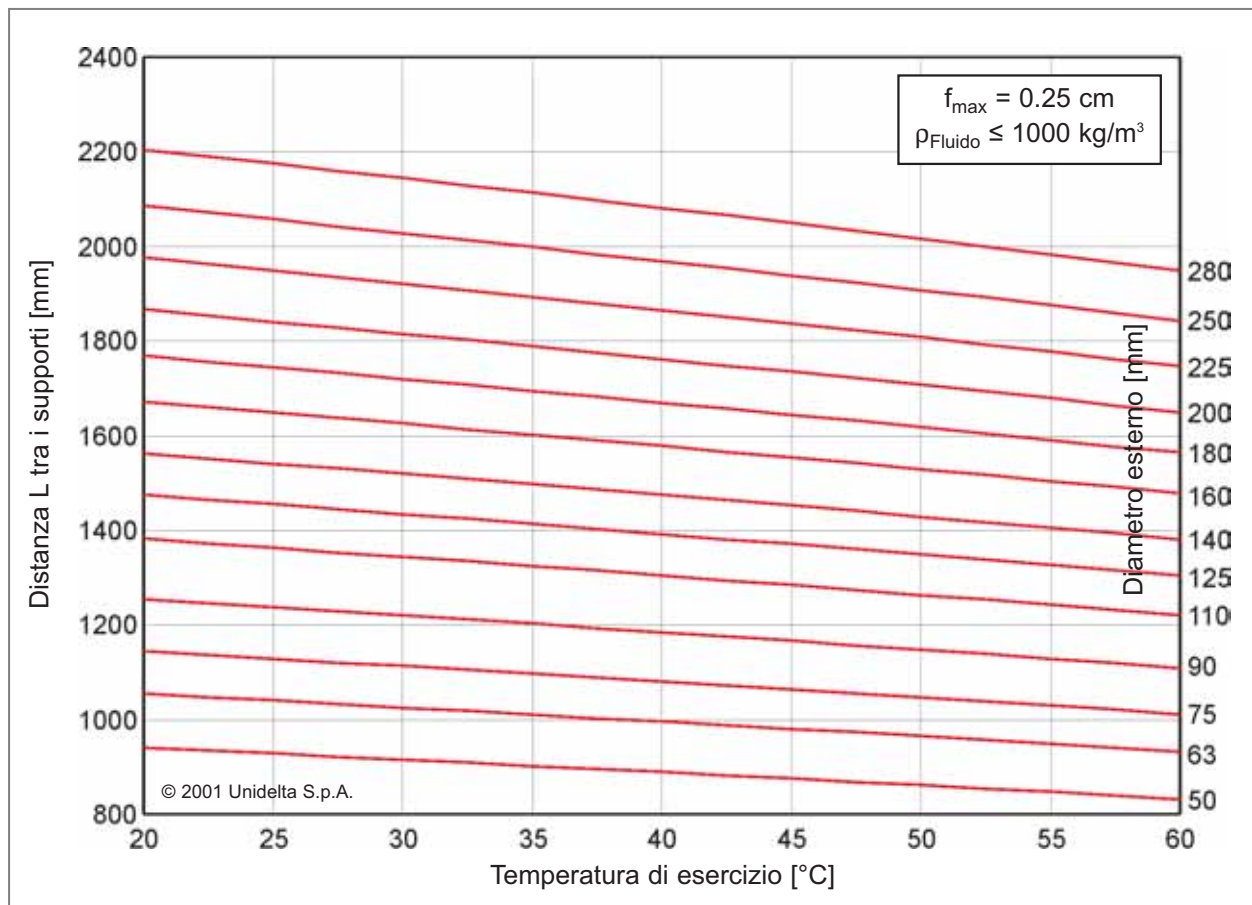


Diagramma 19.7. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 10 (SDR 17), PE 100, UNI 10910

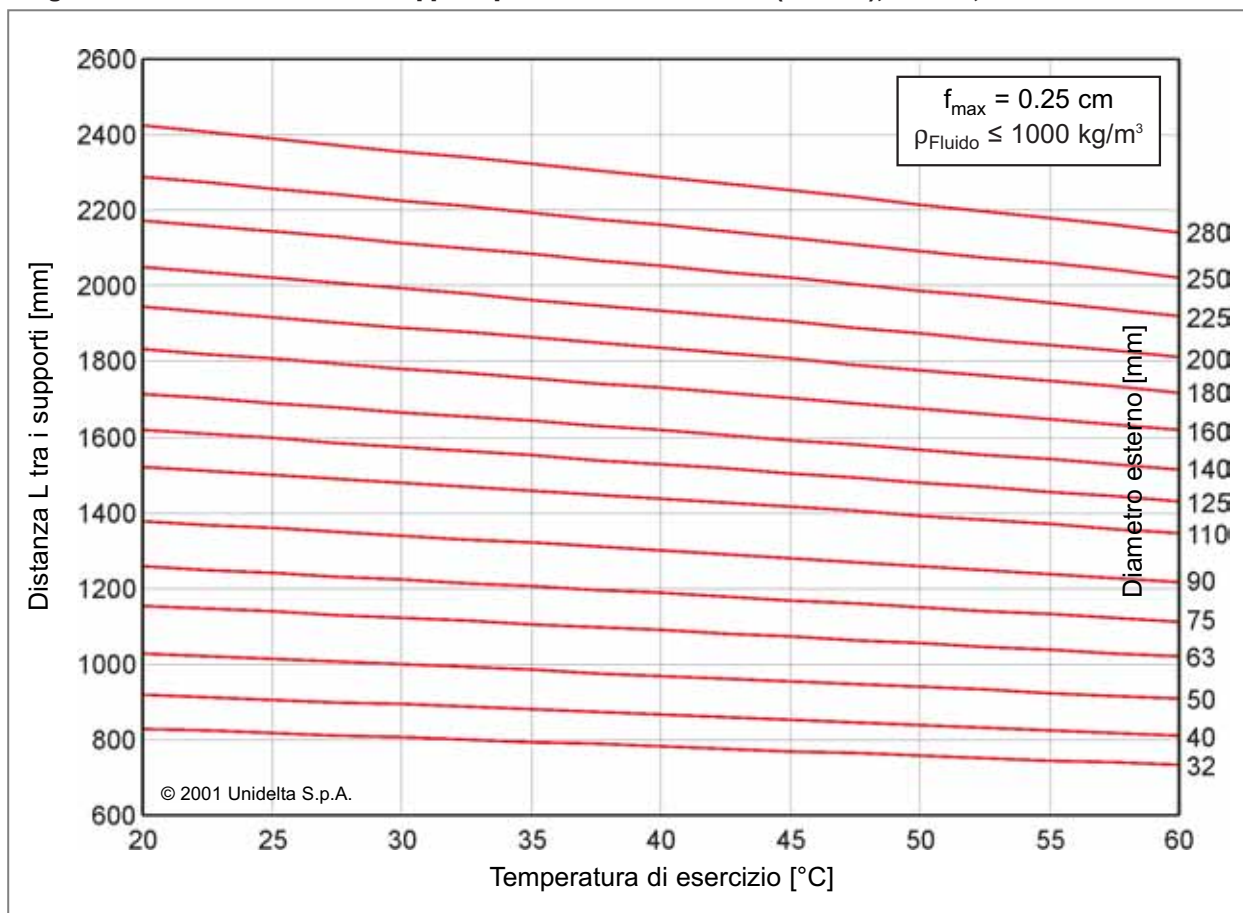


Diagramma 19.8. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 16 (SDR 11), PE 100, UNI 10910

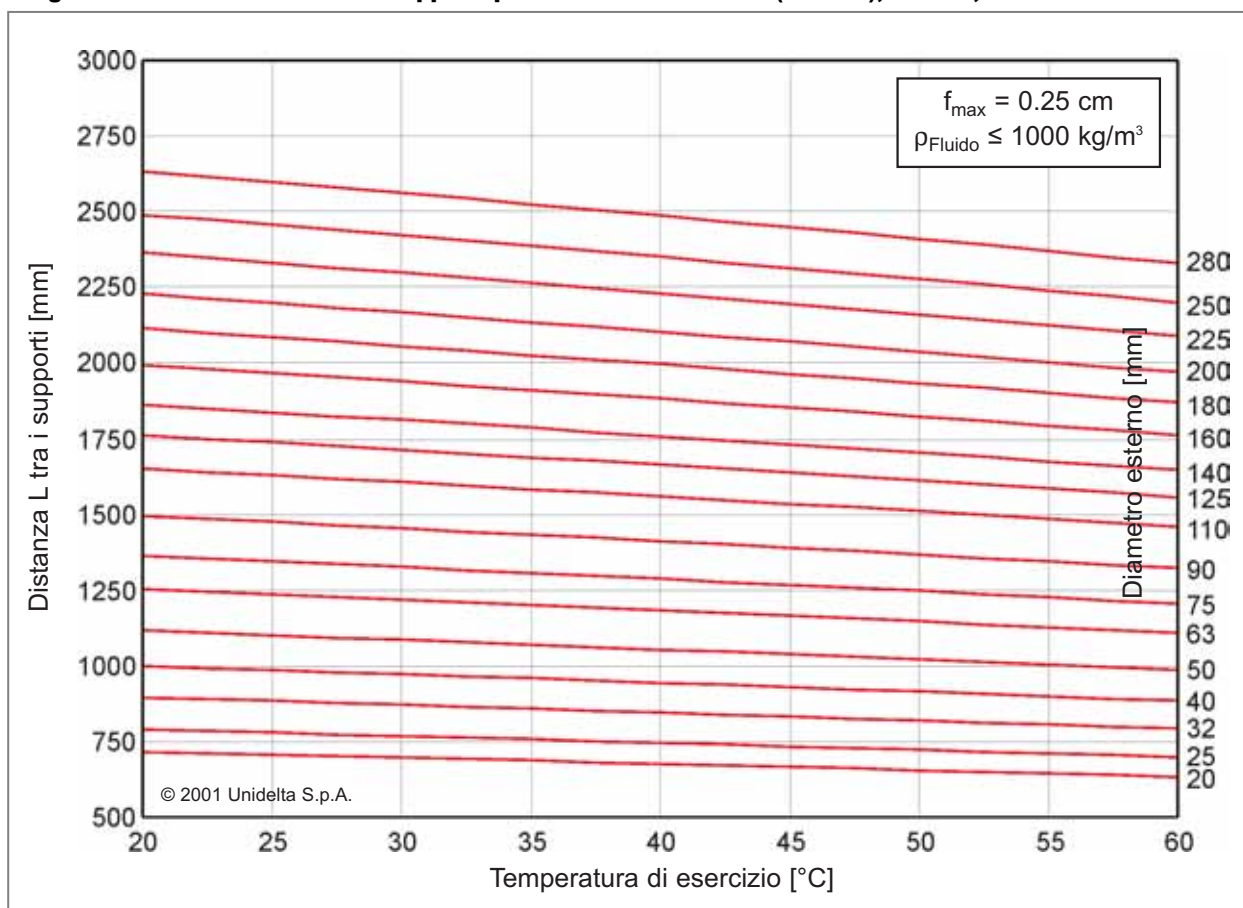


Diagramma 19.9. Distanza tra i supporti per tubi Unidelta PN 25 (SDR 7.4), PE 100, UNI 10910

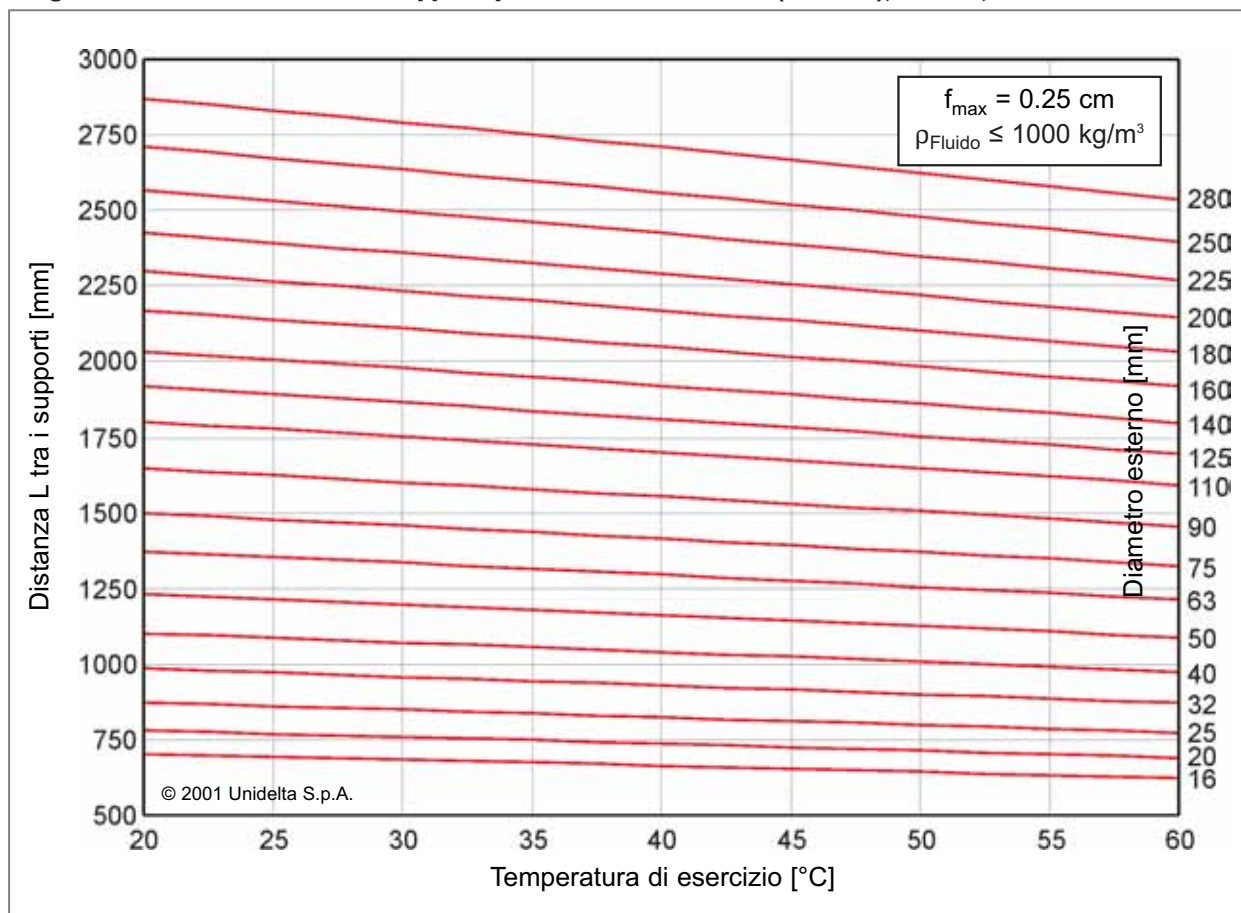


Diagramma 19.10. Fattore correttivo delle distanze fra i supporti per fluidi con $\rho_{\text{Fluido}} > 1000 \text{ kg/m}^3$

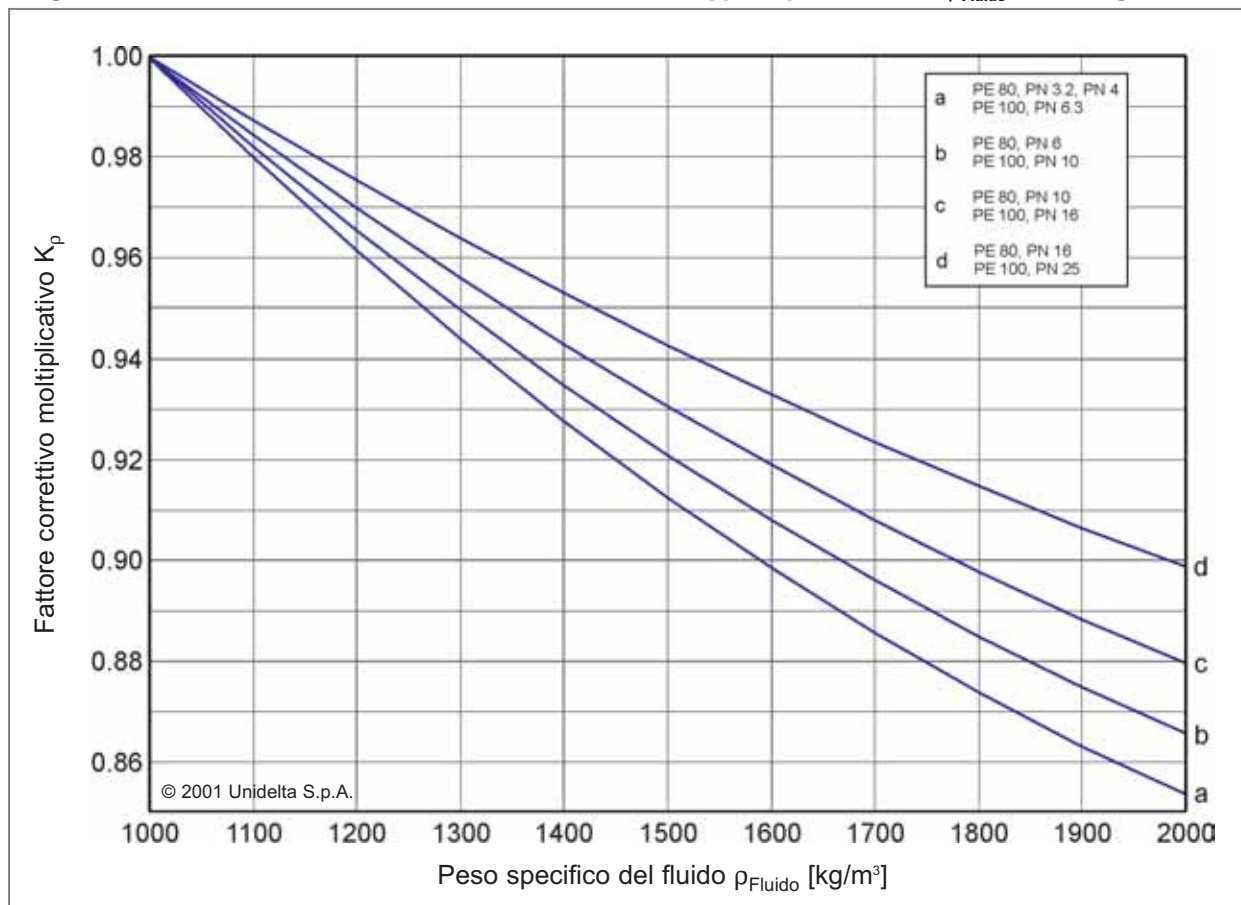
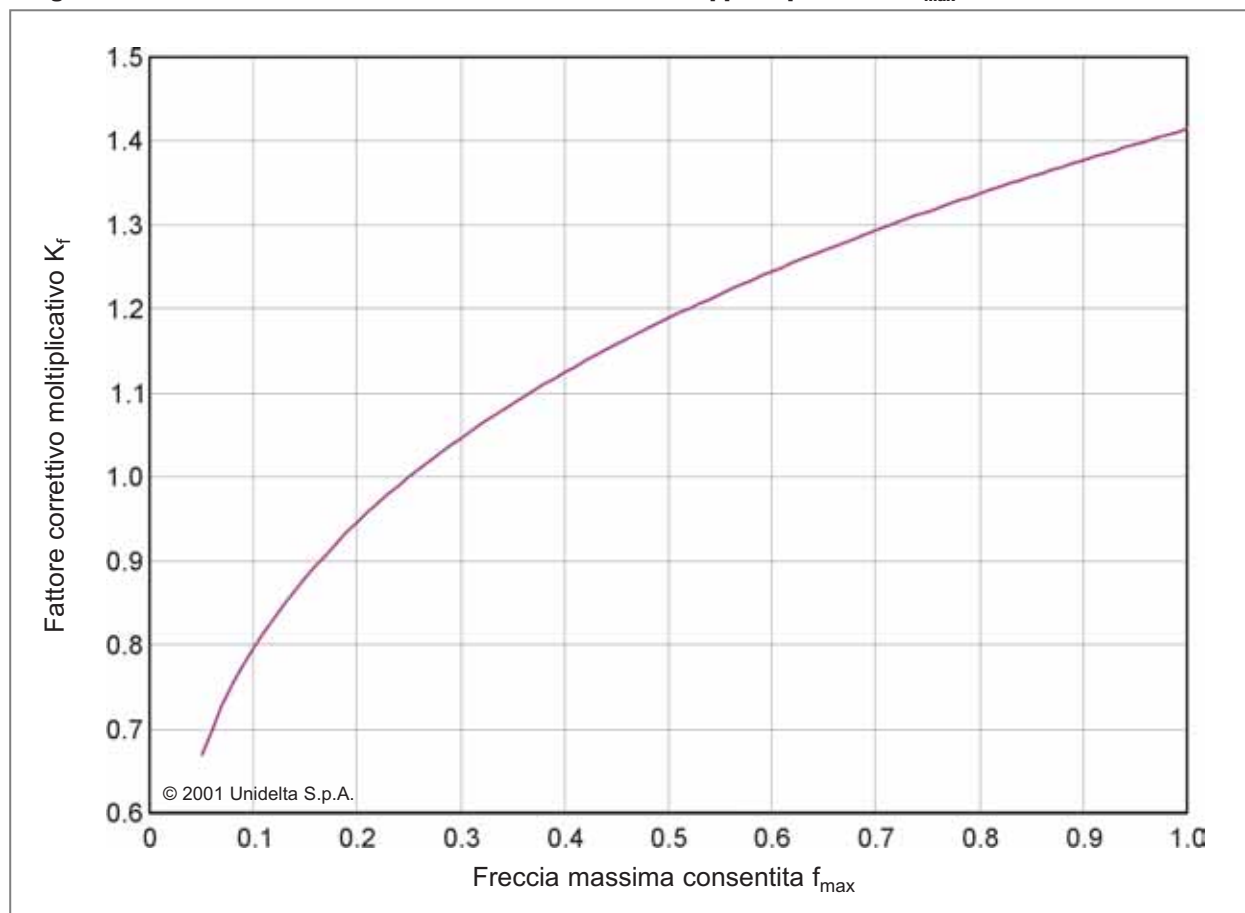


Diagramma 19.11. Fattore correttivo delle distanze fra i supporti per frecce $f_{\max} \neq 0.25$ cm



20. Curvatura

Nella posa delle condotte di polietilene possono essere realizzate moderate variazioni nella direzione mediante curvatura. Due sono i criteri che determinano il raggio minimo di curvatura R applicabile: il primo è basato sulla stabilità di forma per evitare lo schiacciamento del tubo (buckling); l'altro è invece legato alla massima deformazione delle fibre superficiali. Il primo generalmente si applica a tubi aventi SDR elevato (classi di pressione basse, spessori ridotti), il secondo a tubi aventi SDR basso (classi di pressione alte, spessori elevati).

Mediante questi due criteri ed attraverso conferme sperimentali sono stati definiti i limiti ai raggi di curvatura esposti in tabella 20.1 in funzione della temperatura di posa. In particolare viene dato il rapporto minimo ammissibile tra il raggio di curvatura ed il diametro esterno del tubo in relazione a SDR e per temperature di 0°C, 10°C e superiori o uguali a 20°C.

Nel caso in cui si dovessero realizzare raggi di curvatura inferiori si dovranno utilizzare opportuni raccordi in funzione dell'applicazione.

Figura 20.1. Grandezze geometriche per un tubo soggetto a curvatura costante

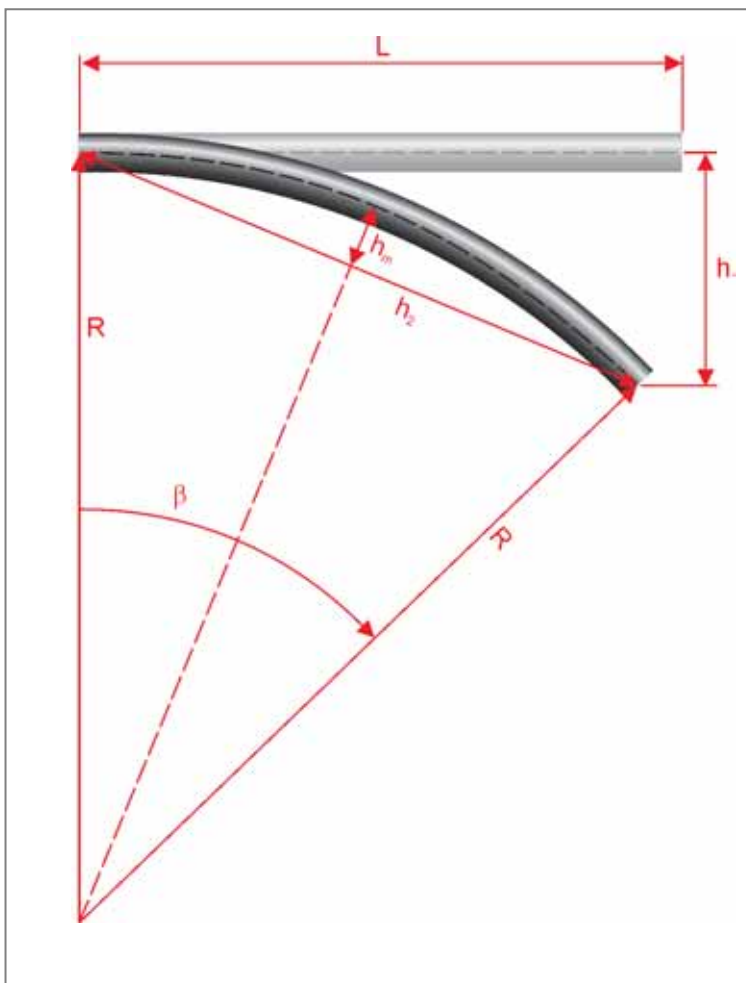


Tabella 20.1. Raggi minimi di curvatura per tubi di polietilene in funzione della temperatura

Temperatura di posa	SDR 33	SDR 26	SDR 17 SDR 17.6	SDR 11	SDR 7.4
$\geq 20^\circ\text{C}$	$R/De = 40$	$R/De = 30$	$R/De = 25$	$R/De = 25$	$R/De = 25$
10°C	$R/De = 70$	$R/De = 55$	$R/De = 45$	$R/De = 45$	$R/De = 45$
0°C	$R/De = 100$	$R/De = 75$	$R/De = 65$	$R/De = 65$	$R/De = 65$

Di seguito sono esposte le formule per il calcolo delle grandezze geometriche di tubi soggetti a curvatura costante, mostrate nella figura 20.1, e che sono utili per realizzare cambiamenti di direzione in fase di posa. Le stesse espressioni sono tracciate nel diagramma 20.1.

$$L = 0.01745 \cdot \beta \cdot R \quad [20.1]$$

$$h_1 = 2 \cdot R \cdot \sin^2 \beta/2 \quad [20.2]$$

$$h_2 = 2 \cdot R \cdot \sin \beta/2 \quad [20.3]$$

$$h_m = R \cdot (1 - \cos \beta/2) \quad [20.4]$$

dove L è la lunghezza del tratto di tubo interessato dalla curvatura, R è il raggio di curvatura (dato dalla tabella 20.1) e β è l'angolo rappresentativo del cambiamento di direzione espresso in gradi.

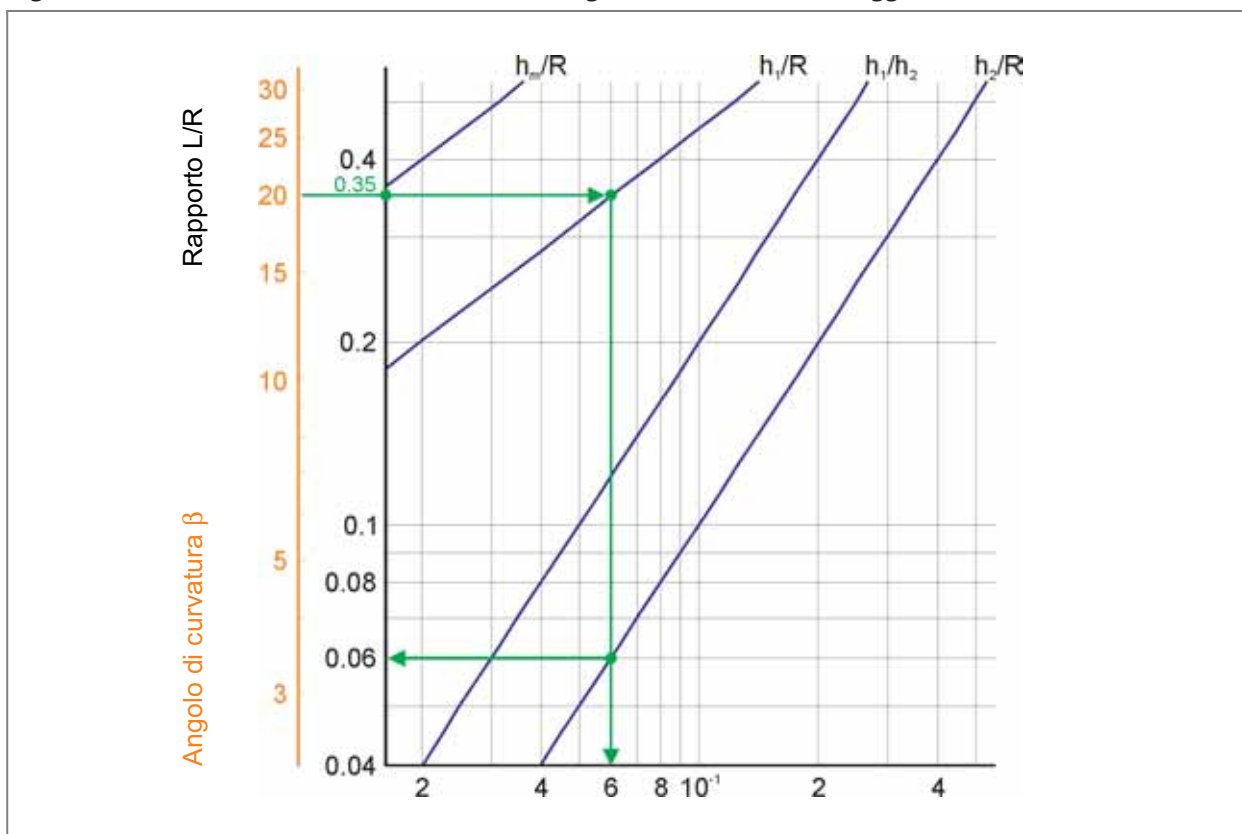
Esempio

Un tubo $De = 315$ mm, SDR 11, deve subire una variazione di direzione di 20° . Si determinino il raggio di curvatura minimo e le grandezze geometriche per la realizzazione della curva. La temperatura di posa sia 10°C .

Dalla tabella 20.1 il raggio minimo di curvatura per questo tubo è $R = 45 \cdot 315 = 14175$ mm = 14.2 m. Dal diagramma 20.1, sull'asse delle ordinate (figura 20.2), in corrispondenza della variazione di direzione $\beta = 20^\circ$ si trova che la lunghezza del tratto di tubo interessato alla curvatura è

$$L = 0.35 \cdot R = 0.35 \cdot 14.2 \text{ m} = 4.97 \text{ m}$$

Figura 20.2. Individuazione delle caratteristiche geometriche del tubo soggetto a curvatura



e per realizzare la curva ci si deve spostare dall'asse del tubo di:

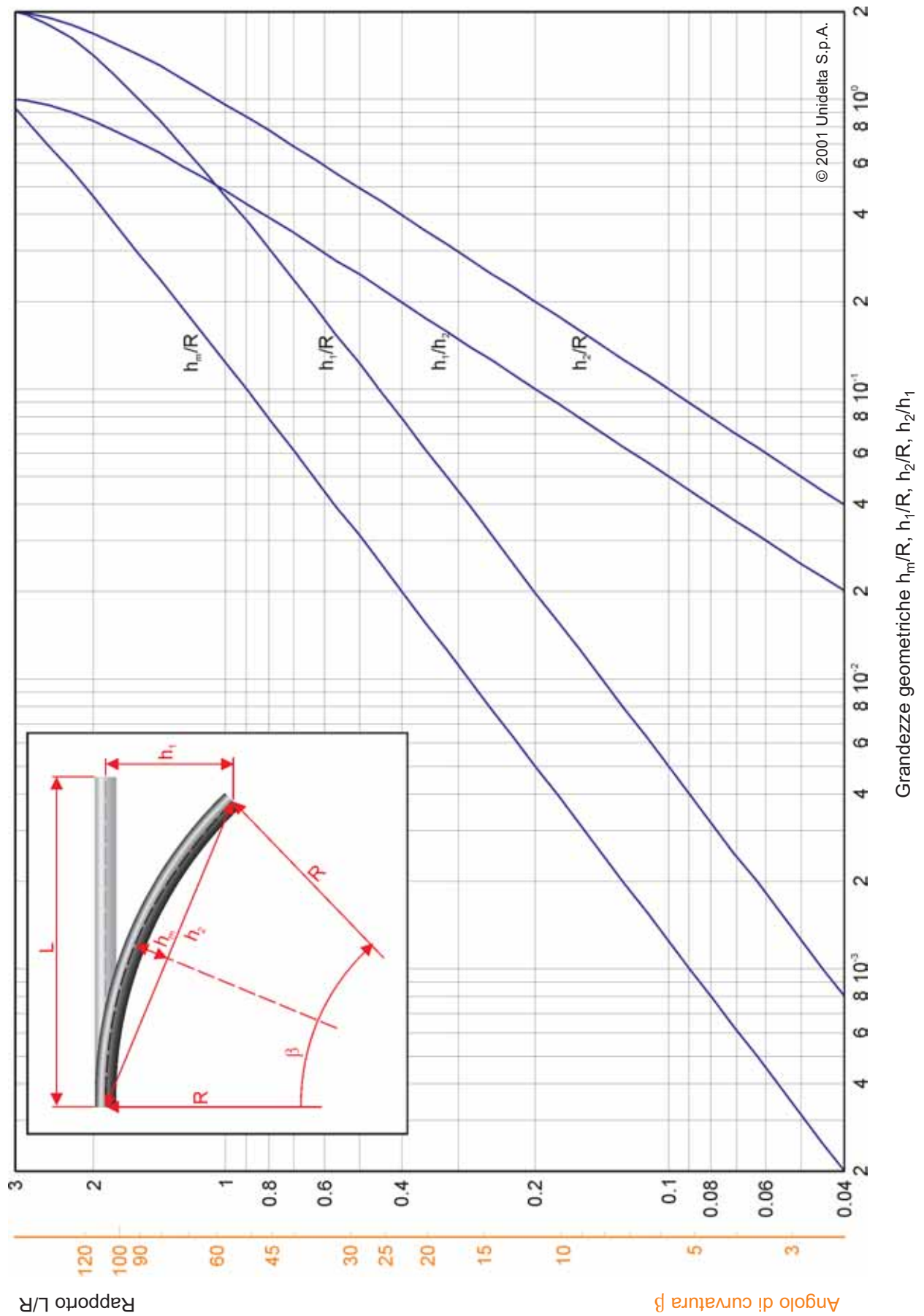
$$h_1 = 0.06 R = 0.06 \cdot 14.2 \text{ m} = 0.85 \text{ m}.$$

Si veda la figura 20.3. Gli stessi risultati si possono ottenere dalle formule mostrate in precedenza.

Figura 20.3. Realizzazione della curvatura richiesta



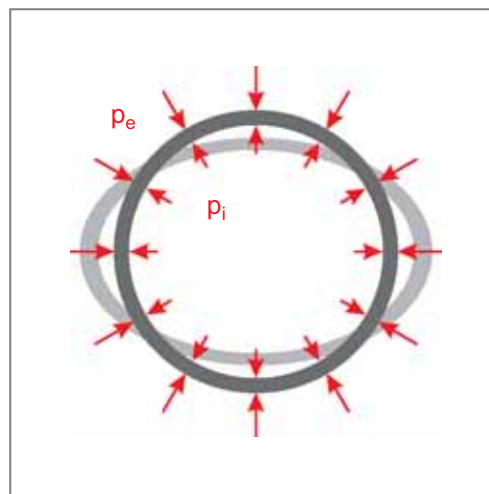
Diagramma 20.1. Grandezze geometriche dei tubi soggetti a curvatura



21. Pressione esterna o depressione

In una tubazione, che in esercizio continuo è soggetta ad una pressione esterna p_e maggiore della pressione interna p_i e quindi ad una differenza di pressione $\Delta p = p_e - p_i$, si generano all'interno della parete sollecitazioni σ di compressione che tendono ad instabilizzarla. Δp rappresenta il valore della pressione idrostatica agente dall'esterno verso l'interno e può essere dovuta sia ad una depressione interna, che può verificarsi durante i fenomeni di moto vario o durante le fasi di riempimento e svuotamento della tubazione, sia ad una effettiva pressione esterna, che si ha per esempio nelle tubazioni interrate in presenza di falde idriche e nelle tubazioni posate in acqua come quelle sottomarine. In queste condizioni di esercizio è quindi opportuno effettuare una verifica alla instabilità elastica controllando che la differenza di pressione Δp applicata non sia maggiore della differenza di pressione massima ammissibile Δp_{max} .

Figura 21.1. Tubo soggetto a pressione esterna maggiore di quella interna



$$\Delta p = (p_e - p_i) \leq \Delta p_{max} \quad [21.1]$$

La Δp_{max} è data dal rapporto fra la pressione critica p_{cr} della formula di Eulero e un coefficiente di sicurezza $F = 2$ che tiene conto del fatto che la tubazione non è perfettamente circolare:

$$\Delta p_{max} = \frac{p_{cr}}{F} \quad [21.2]$$

con

$$p_{cr} = \frac{2 \cdot E_{Tubo}}{(1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{s}{De - s} \right)^3 \quad [21.3]$$

dove ν è il modulo di Poisson (coefficiente di contrazione) che per il polietilene vale 0.4, s è lo spessore e De è il diametro esterno della tubazione. E_{Tubo} è il modulo di elasticità del tubo che dipende dalla temperatura di esercizio e dalla durata prevista dell'impianto.

L'espressione precedente può anche essere riscritta nella forma seguente:

$$p_{cr} = \frac{2 \cdot E_{Tubo}}{(1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{1}{SDR - 1} \right)^3 \quad [21.4]$$

Nei diagrammi 21.1, 21.2 e 21.3 è tracciata la differenza di pressione massima ammissibile Δp_{max} tra la pressione esterna e quella interna in funzione della durata prevista dell'impianto, del tipo di tubo e per temperature di esercizio pari a 10°C, 23°C e 40°C.

Nel diagramma 21.4 è data la differenza di pressione massima ammissibile Δp_{max} in funzione della temperatura e per una durata prevista dell'impianto di 50 anni.

Per i casi in cui la condotta opera in depressione con pressione esterna pari a quella atmosferica la pressione interna minima (assoluta) $p_{i,min}$ può essere letta direttamente sul secondo asse delle ordinate (azzurro).

Esempio 1

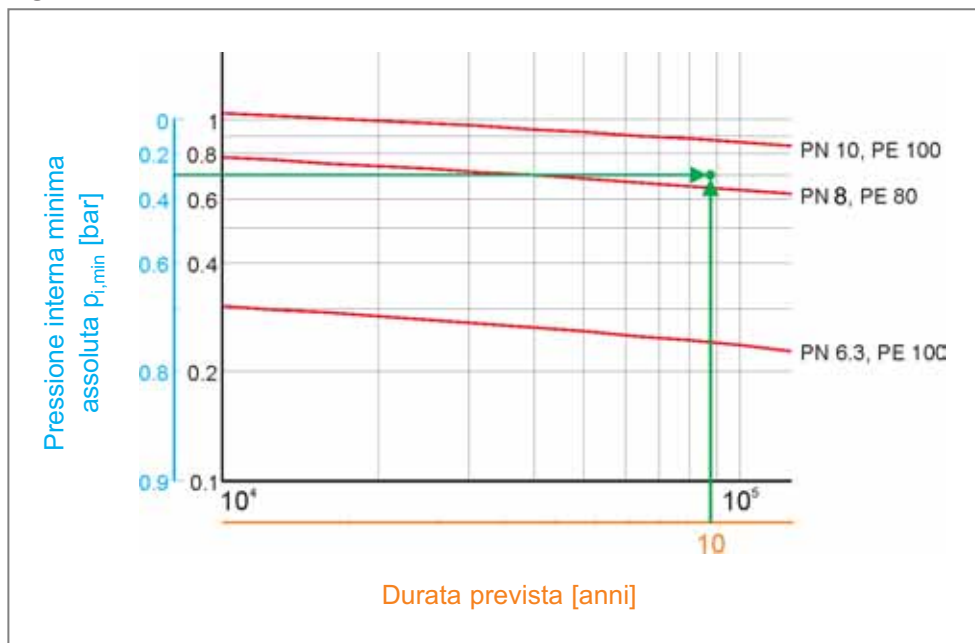
Si debba realizzare un impianto di aspirazione che deve operare per 10 anni a 15°C. La pressione interna minima che si deve poter raggiungere è di 0.3 bar (pressione assoluta). Determinare la classe di pressione da impiegare.

Un diagramma per la temperatura di 15°C non è disponibile e quindi si deve impiegare il diagramma 21.2 riferito a 23°C, temperatura questa che lascia un margine di sicurezza superiore rispetto ai 10°C del diagramma 21.1. Poiché si è in condizioni di depressione con pressione esterna atmosferica si può leggere la pressione minima assoluta direttamente sul secondo asse delle ordinate (azzurro).

Sul diagramma 21.2 in corrispondenza di una durata di 10 anni e per una depressione di 0.3 bar (figura 21.2) si individua un punto che giace tra un tubo di PE 80, PN 8 ed un tubo di PE 100, PN 10.

Il primo consente una pressione minima $p_{i,min} = 0.35$ bar che non è sufficiente; il tubo idoneo è quindi quello di PE 100 in quanto permette di raggiungere una pressione interna più bassa di quella richiesta $p_{i,min} = 0.12$ bar < 0.3 bar.

Figura 21.2. Individuazione della classe di tubo idonea

**Esempio 2**

Si individui la profondità massima alla quale si può posare un tubo PE 80, PN 20 sul fondo marino supponendo che la massima temperatura raggiunta dal fluido contenuto sia di 10°C e la durata dell'impianto debba essere di 50 anni.

La condizione più critica, se non si opera in depressione, si ha con tubo vuoto ($p_i = 0$ bar relativi) quando è massima la differenza Δp tra la pressione esterna e quella interna.

Dal diagramma 21.4 per un tubo PE 80, PN 20, alla temperatura di 10°C, la massima differenza di pressione ammissibile è $\Delta p_{max} = p_e - p_i = 6.1$ bar.

Quindi la massima pressione esterna alla quale il tubo può essere soggetto è:

$$p_e = \Delta p_{max} + p_i = 6.1 \text{ bar} + 0 \text{ bar} = 6.1 \text{ bar}$$

Poiché 1 bar corrisponde a circa 10 metri di colonna d'acqua, la profondità corrispondente alla pressione esterna determinata è di 61 metri.

Diagramma 21.1. Resistenza dei tubi di polietilene alla pressione esterna o depressione a 10°C

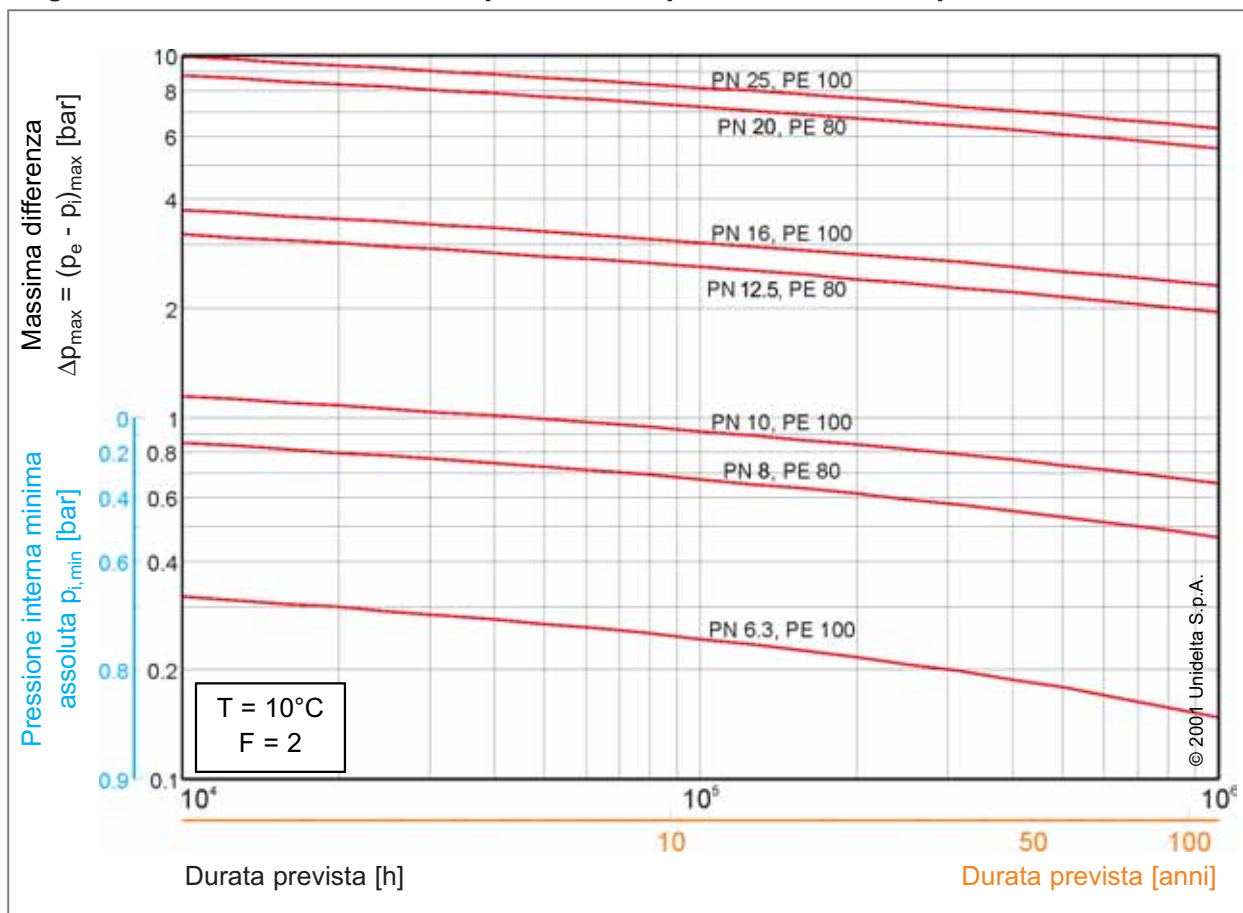


Diagramma 21.2. Resistenza dei tubi di polietilene alla pressione esterna o depressione a 23°C

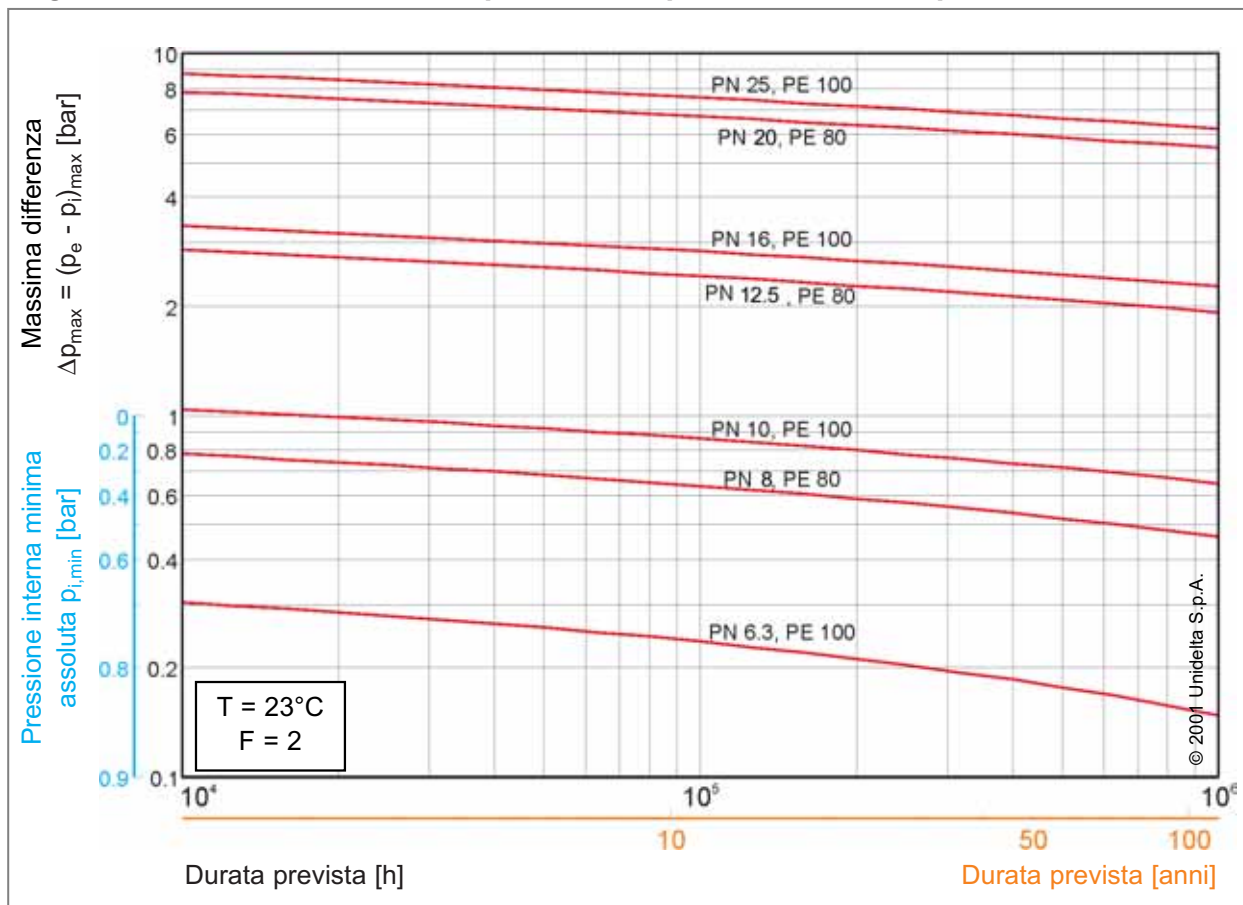


Diagramma 21.3. Resistenza dei tubi di polietilene alla pressione esterna o depressione a 40°C

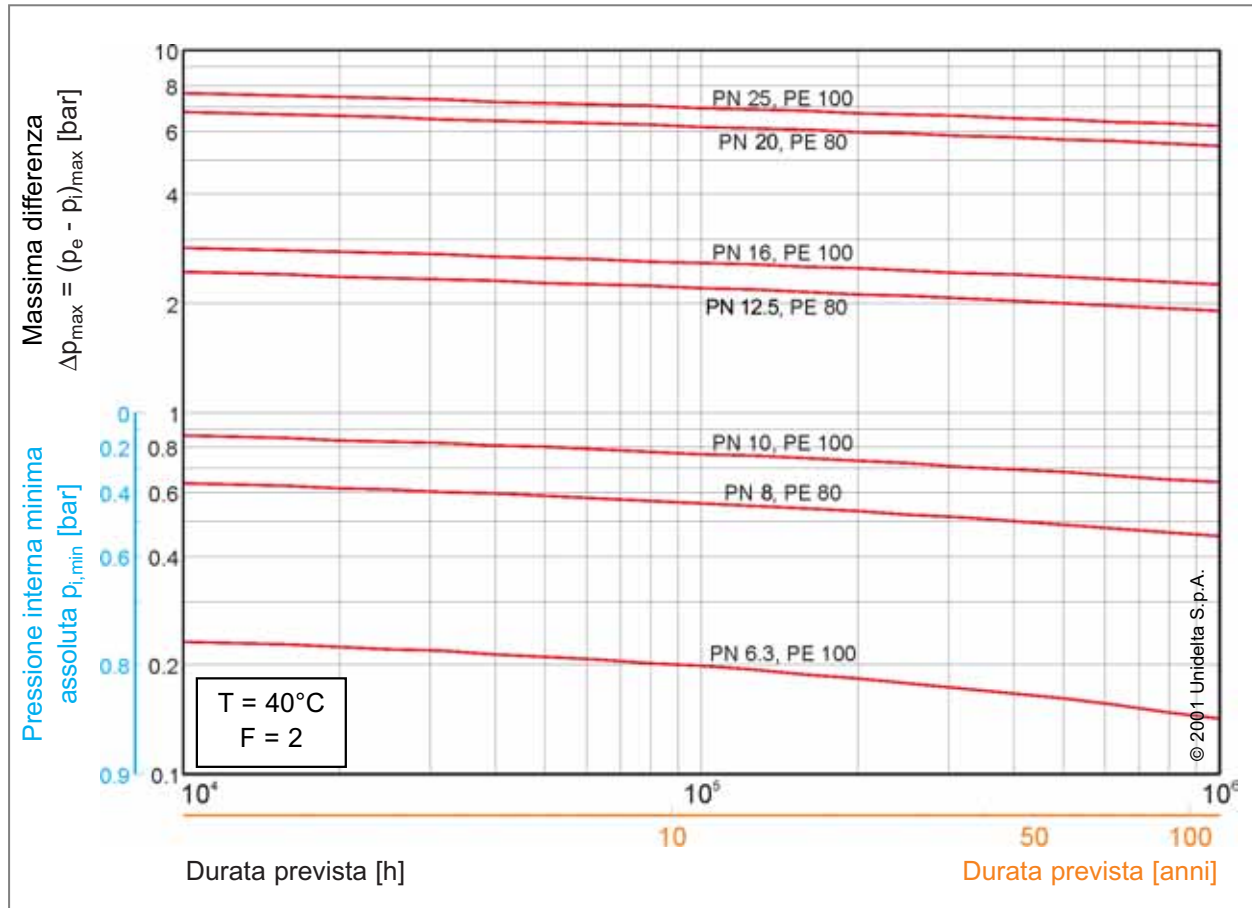
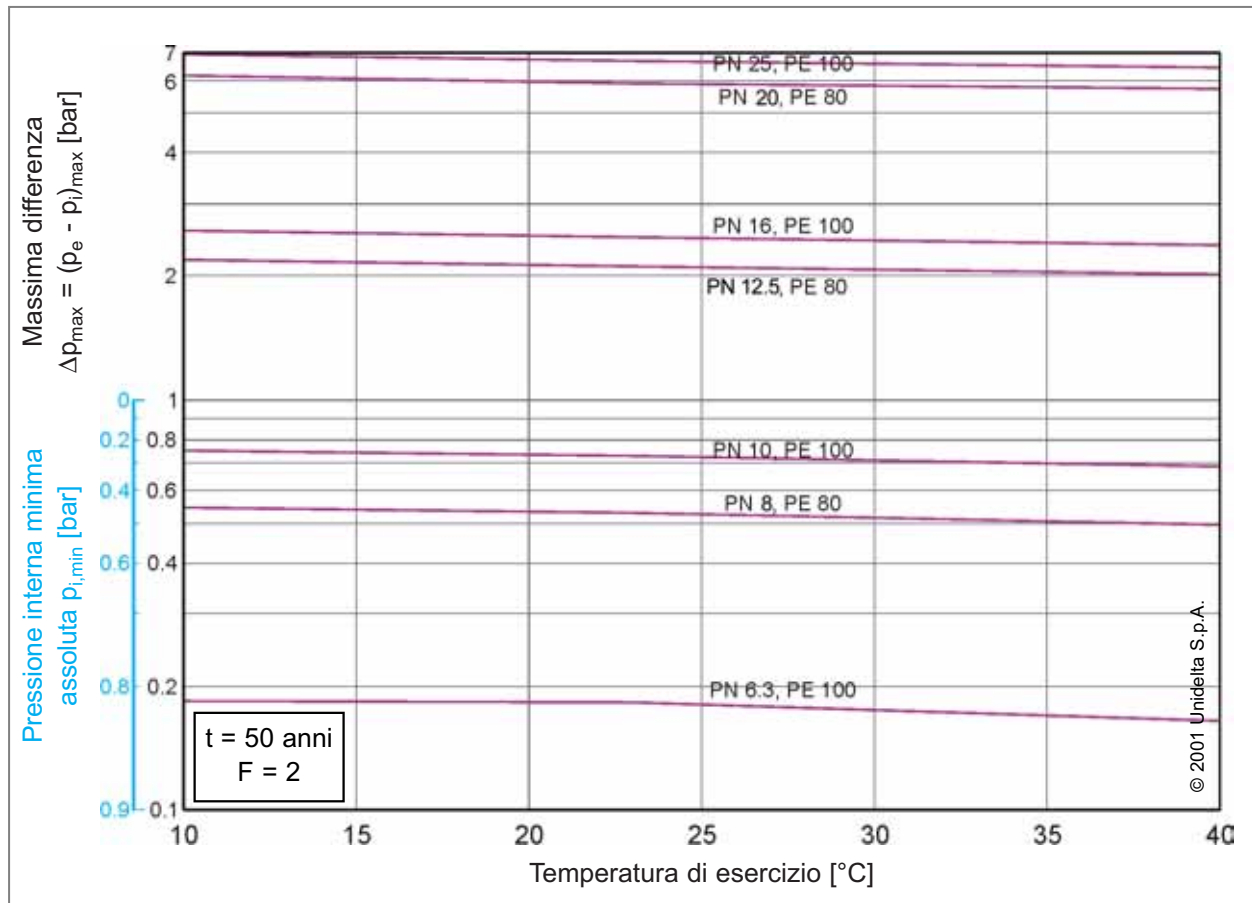


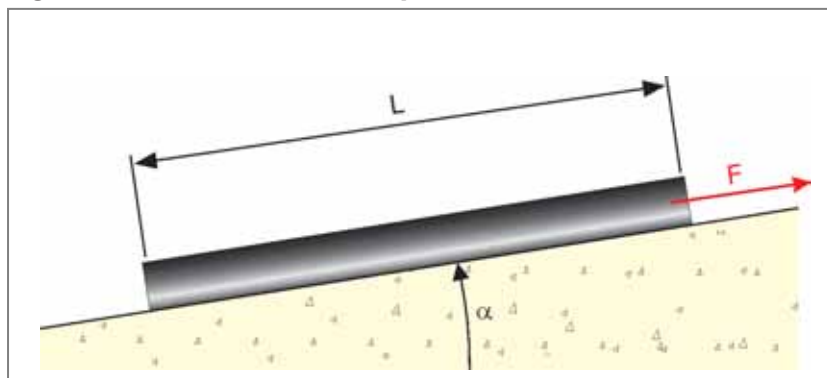
Diagramma 21.4. Resistenza dei tubi di polietilene alla pressione esterna o depressione a 50 anni



22. Traino

Le barre di medio e grosso diametro una volta saldate possono essere trainate all'interno degli scavi purché questi ultimi siano esenti da asperità e da corpi che possano danneggiarle. Occorre tuttavia valutare la massima lunghezza trainabile in relazione al peso della condotta, all'attrito tra tubo e terreno ed alla pendenza del percorso.

Figura 22.1. Traino di un tubo di polietilene



La lunghezza massima di un tubo trainato $L_{\max}$ [m] è data dalla seguente relazione:

$$L_{\max} = 10^5 \cdot \frac{\sigma_{\text{amm}}}{\rho \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)} \quad [22.1]$$

dove μ è il coefficiente di attrito tra il polietilene e la superficie sulla quale avviene il traino; ρ è il peso specifico del polietilene [kg/m^3]; σ_{amm} è la massima sollecitazione ammissibile per il polietilene [MPa] in funzione della temperatura del tubo durante la posa; α è l'angolo di inclinazione della superficie sulla quale si effettua il traino.

Con il diagramma 22.1 si può determinare la massima lunghezza trainabile $L_{\max}$ [m] in funzione della temperatura, del tipo di tubo e dell'angolo di inclinazione α e si può rilevare la sollecitazione σ [MPa] alla quale è soggetto il tubo durante il traino. Tale sollecitazione è data dalla relazione seguente:

$$\sigma = 10^{-5} \cdot L \cdot \rho \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \quad [22.2]$$

ottenuta invertendo la 22.1 e con la quale si può calcolare la forza F [N] necessaria al traino:

$$F_t = 100 \cdot \sigma \cdot A_r \quad [22.3]$$

dove A_r è la sezione resistente del tubo [cm^2] data dalle tabelle delle caratteristiche dimensionali per ogni tipologia di tubo.

Nel diagramma 22.1 è stato considerato un coefficiente $\mu = 0.5$ corrispondente all'attrito statico tra polietilene e terreno compatto. Questa condizione è la peggiore in quanto, una volta che la tubazione è in movimento, il coefficiente di attrito scende al valore $\mu = 0.3$ (attrito dinamico). Per il calcolo della lunghezza massima nelle operazioni di sostituzione di vecchie condotte mediante inserzione di nuove (relining) si deve considerare un coefficiente di attrito massimo di 0.8.

Esempio

Si determini la massima lunghezza e la forza di traino di un tubo $De = 450 \text{ mm}$, $PN 12.5$, $PE 80$, $UNI 10910$. Si consideri una temperatura di posa di 30°C e l'angolo di inclinazione della superficie di traino sia 10° .

Sul diagramma 22.1 si individui il punto A (figura 22.2) dato dall'intersezione della linea orizzontale corrispondente alla temperatura di 30°C con la curva relativa ai tubi di $PE 80$ secondo $UNI 10910$. A partire dal punto A, tracciando una linea verticale, si individua prima la sollecitazione di trazione pari a

$$\sigma = 3 \text{ MPa}$$

e poi il punto B intersezione con la linea relativa ad una inclinazione del piano di traino di 10° .

La linea orizzontale passante per il punto B consente di individuare sull'asse delle ordinate la lunghezza massima trainabile pari a

$$L_{\max} = 480 \text{ m.}$$

Infine dato che il tubo preso in considerazione ha una sezione resistente $Ar = 526.81 \text{ cm}^2$ (vedi tabella 8.5), la forza necessaria al traino è

$$F_t = 100 \cdot 3 \text{ MPa} \cdot 526.81 \text{ cm}^2 = 158043 \text{ N} = 158 \text{ kN.}$$

Figura 22.2. Individuazione della lunghezza massima e della sollecitazione di traino

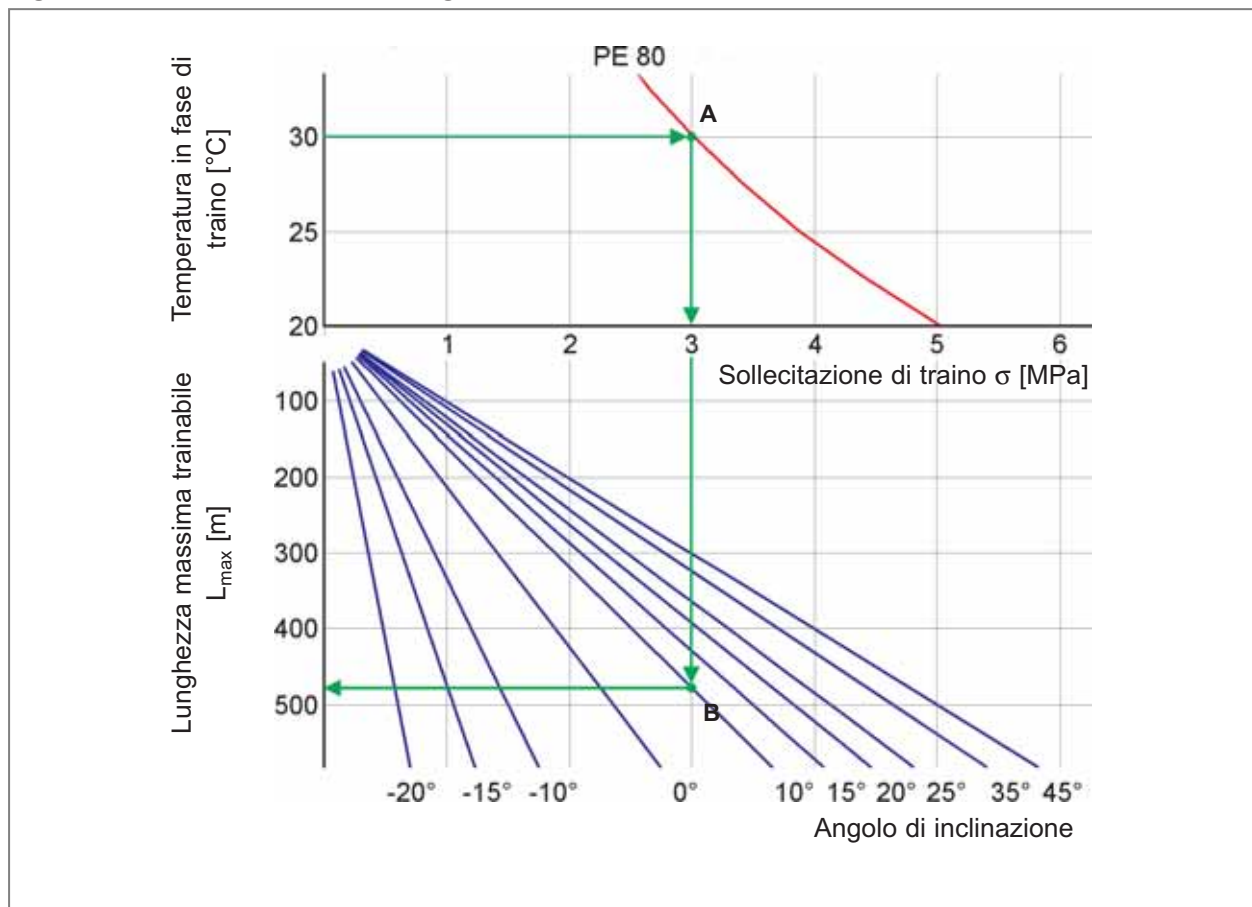
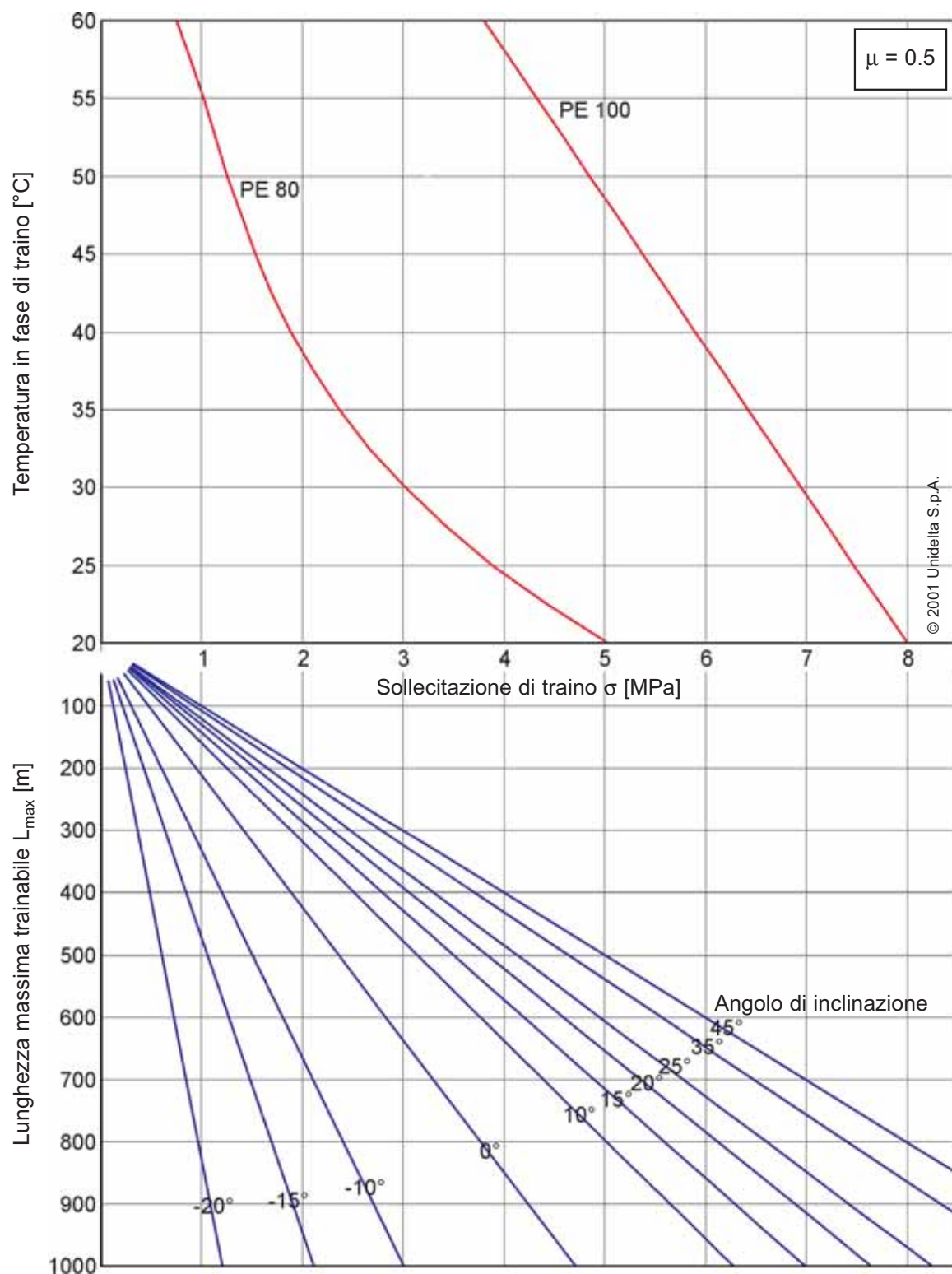


Diagramma 22.1. Lunghezza massima e sollecitazione di traino



23. Blocchi di ancoraggio

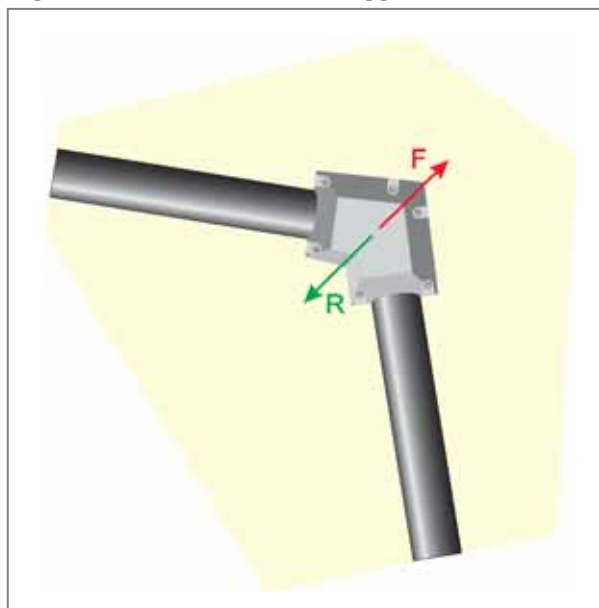
I blocchi di ancoraggio delle condotte vengono realizzati per assorbire le forze che il fluido esercita in punti particolari come variazioni di direzione, restringimenti, diramazioni e di scaricarle sul terreno.

Per dimensionare i blocchi è necessario quindi calcolare la forza F esercitata dal fluido nei punti richiesti uguale ed opposta alla forza resistente R che i blocchi devono esercitare.

Trascurando le azioni dovute alla quantità di moto che generalmente sono di entità estremamente ridotta, le spinte esercitate dal fluido dipendono esclusivamente dalla pressione idrostatica p che, per un dimensionamento corretto, deve essere aumentata della sovrappressione di colpo d'ariete o posta uguale alla pressione di collaudo.

Il calcolo delle forze è diverso a seconda della configurazione del punto in cui si vuole effettuare il dimensionamento del blocco: gomiti, riduzioni, raccordo a T, estremità, tubo in pendenza, ecc.

Figura 23.1. Blocco di ancoraggio



Gomiti

La forza F [N] che il fluido esercita su un gomito (figura 23.2) con variazione di direzione definita dall'angolo α viene calcolata con la formula seguente:

$$F = p \cdot A_u \cdot C_F \quad [23.1]$$

dove p è la pressione idrostatica nella condotta [bar]; A_u è la sezione utile di passaggio del tubo [cm²] data dalle tabelle relative alle caratteristiche dimensionali dei tubi di polietilene; C_F è il coefficiente moltiplicativo funzione dell'angolo α del gomito dato in tabella 23.1. Le componenti cartesiane della forza F e l'angolo β secondo cui è diretta tale forza sono:

$$F_x = p \cdot A_u \cdot C_{Fx} \quad [23.2]$$

$$F_y = p \cdot A_u \cdot C_{Fy} \quad [23.3]$$

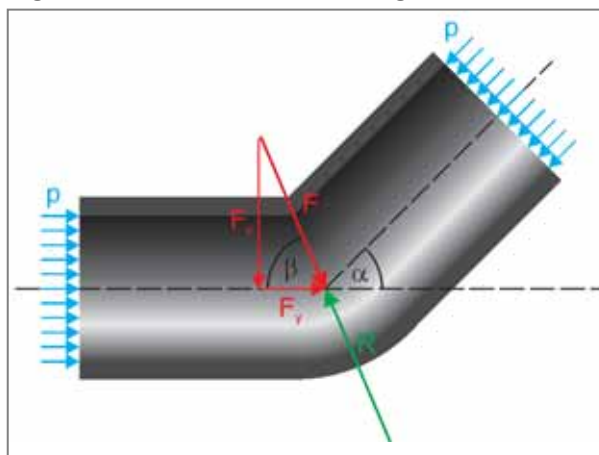
$$\beta = \arctan(C_{Fy}/C_{Fx}) \quad [23.4]$$

dove i coefficienti C_{Fx} , C_{Fy} e β sono anch'essi dati in tabella 23.1.

Tabella 23.1

α	C_F	C_{Fx}	C_{Fy}	β
0°	0	0	0	-
15°	2.61	0.34	2.59	82.5°
30°	5.18	1.34	5.00	75°
45°	7.65	2.93	7.07	67.5°
60°	10.00	5.00	8.66	60°
90°	14.14	10.00	10.00	45°
120°	17.32	15.00	8.66	30°
135°	18.48	17.07	7.07	22.5°
150°	19.32	18.66	5.00	15°
180°	20.00	20.00	0	0°

Figura 23.2. Forze dovute ad un gomito



Per valori dell'angolo α diversi da quelli indicati in tabella si possono impiegare le formule seguenti per il calcolo dei coefficienti C_F , C_{Fx} , C_{Fy}

$$C_F = 20 \cdot \sin(\alpha/2) \quad [23.5]$$

$$C_{Fx} = 10 \cdot (1 - \cos\alpha) \quad [23.6]$$

$$C_{Fy} = 10 \cdot \sin\alpha \quad [23.7]$$

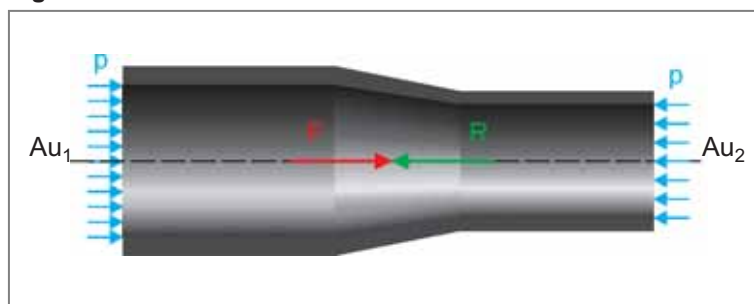
Allargamenti/restringimenti

La forza F [N] che il fluido esercita in un tratto con variazione di diametro (figura 23.3) sia esso un restringimento od un allargamento è data dalla relazione seguente:

$$F = 10 \cdot p \cdot (Au_1 - Au_2) \quad [23.8]$$

dove p è la pressione [bar]; Au_1 e Au_2 sono le sezioni utili di passaggio [cm²], rispettivamente di ingresso e di uscita del fluido. La forza F è diretta dalla sezione a maggiore superficie verso la sezione a minor superficie, la reazione del blocco R è uguale ed opposta.

Figura 23.3. Forze dovute a variazioni di diametro



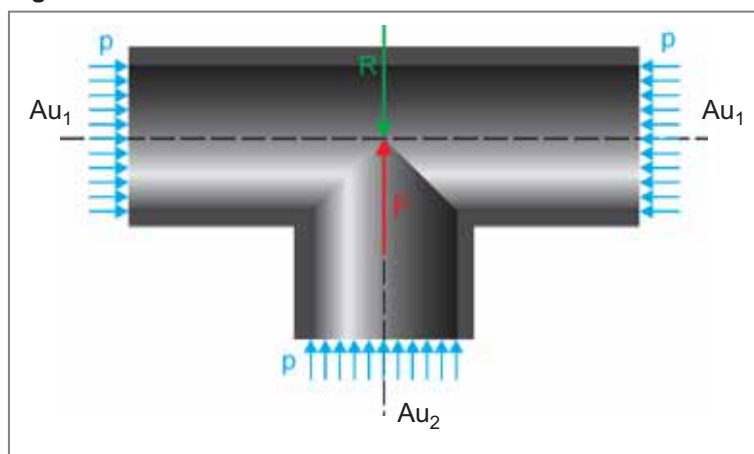
Diramazioni a T

La forza F [N] che il fluido esercita in un raccordo a T (figura 23.4) quando la sezione in ingresso e in uscita al tratto dritto sono uguali e la diramazione è a 90° è:

$$F = 10 \cdot p \cdot Au_2 \quad [23.9]$$

dove p è la pressione idrostatica [bar] e Au_2 è la sezione della diramazione [cm²]. La forza è diretta in senso opposto alla direzione della diramazione come indicato in figura.

Figura 23.4. Forze dovute ad una diramazione



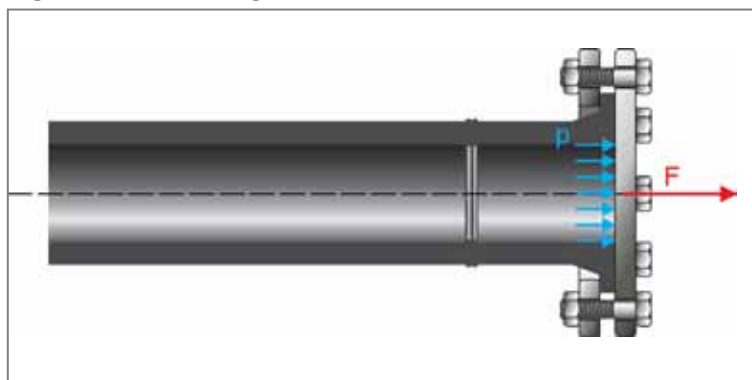
Estremità

La forza F [N] che il fluido esercita (figura 23.5) in corrispondenza di una estremità, realizzata per esempio mediante un organo di intercettazione o con un raccordo di chiusura (tappo), è data da:

$$F = 10 \cdot p \cdot A_u \quad [23.10]$$

dove p è la pressione idrostatica [bar] e A_u è la sezione utile di passaggio [cm²].

Figura 23.5. Forze agenti all'estremità di una condotta



Tubi in pendenza

Quando la pendenza di una tubazione è elevata la forza di attrito tra terreno e tubo potrebbe non essere sufficiente a contrastare la forza peso che tende a far slittare il tubo a valle. In questi casi è opportuno prevedere blocchi di ancoraggio a distanza L l'uno dall'altro (figura 23.6). La forza F [N] che agisce su ciascun blocco è data dalla relazione seguente:

$$F = C_\alpha \cdot (V_f + P_t) \cdot L \quad [23.11]$$

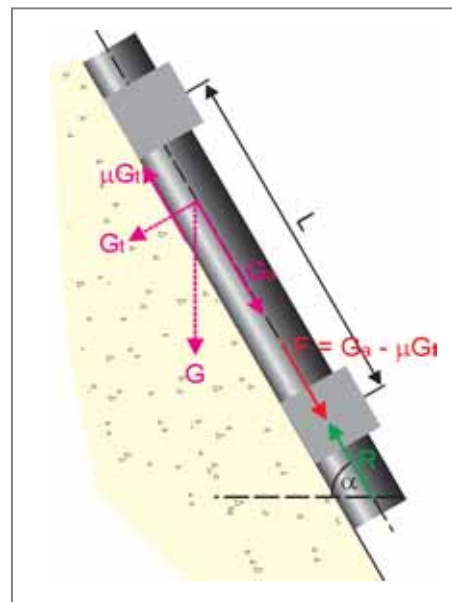
dove V_f e P_t sono rispettivamente il volume di fluido contenuto [l/m] e il peso del tubo [kg/m] al metro dati dalle tabelle delle caratteristiche dimensionali dei tubi contenute nel presente manuale; L è la distanza tra un blocco ed il successivo [m]; C_α è un coefficiente che dipende dall'angolo di inclinazione della condotta α e dal coefficiente di attrito tra terreno e tubo μ ed è dato dall'espressione seguente:

$$C_\alpha = 9.81 \cdot (\sin \alpha - \mu \cdot \cos \alpha) \quad [23.12]$$

Tabella 23.2. Con coefficiente di attrito $\mu = 0.2$

α	C_α	α	C_α
15°	0.64	55°	6.91
20°	1.51	60°	7.51
25°	2.37	65°	8.06
30°	3.21	70°	8.55
35°	4.02	75°	8.97
40°	4.80	80°	9.32
45°	5.55	85°	9.60
50°	6.25	90°	9.81

Figura 23.6. Tubo in pendenza



Il coefficiente di attrito consigliato è $\mu = 0.2$ dato dal rapporto tra coefficiente di attrito tra polietilene e terreno compatto, pari a $\mu = 0.3$, e il coefficiente di sicurezza posto uguale a 1.5. È con questo valore che è stato calcolato il coefficiente C_α di tabella 23.2 per alcuni angoli di inclinazione.

Queste relazioni valgono per pendenze $\alpha > 11^\circ$ quando cioè il peso della condotta è superiore alla resistenza allo slittamento dovuta all'attrito; a volte i blocchi di ancoraggio vengono installati comunque con lo scopo di avere dei punti fissi lungo il tubo.

Esempio 1

Determinare la forza agente in prossimità di un gomito a 45° di una condotta $De = 400$ mm, PN 10, PE 100, UNI 10910 operante a 6 bar.

Da tabella 9.4 si ricava la sezione di passaggio del tubo $A_u = 1235.37$ cm² e dalla tabella 23.1, in corrispondenza dell'angolo $\alpha = 45^\circ$, il coefficiente $C_F = 7.65$.

La forza richiesta viene calcolata con la formula 23.1

$$F = 6 \cdot 1235.37 \cdot 7.65 = 56718 \text{ N} = 56.7 \text{ kN}$$

e l'angolo formato con l'asse della condotta è uguale a $\beta = 67.5^\circ$, sempre da tabella 23.1.

Esempio 2

Determinare la forza che i blocchi di ancoraggio devono esercitare su un tubo $De = 280$ mm, PN 10, PE 100, UNI 10910 posato su terreno con pendenza di 35° supponendo che la distanza fra i blocchi sia di 50 m.

L'espressione 23.11 richiede il peso del tubo P_t ed il volume di fluido contenuto V_f al metro; da tabella 9.4 si ricava $P_t = 13.89$ kg/m e $V_f = 47.8$ kg/m.

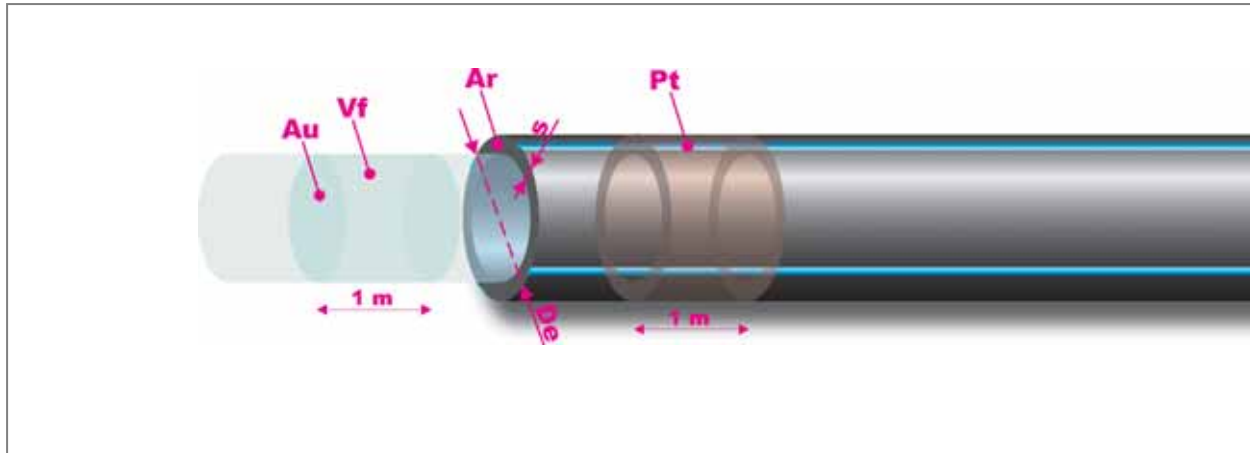
Per un angolo di 35° il coefficiente $C_\alpha = 4.02$ (tabella 23.2) e quindi la forza richiesta è

$$F = 4.02 \cdot (47.8 + 13.89) \cdot 50 = 12400 \text{ N} = 12.4 \text{ kN}$$

24. Appendice

Appendice A. Definizioni e simboli

Figura A.1



Diametro esterno del tubo [mm] De

Spessore del tubo [mm] s

Diametro interno del tubo [mm] $Di = De - 2 \cdot s$

Peso specifico del polietilene [kg/m^3] ρ

Area della sezione del tubo [cm^2] $Ar = \frac{\pi \cdot s \cdot (De - s)}{100}$

Area della sezione utile di passaggio [cm^2] $Au = \frac{\pi \cdot Di^2}{400}$

Peso del tubo al metro [kg/m] $Pt = \frac{Ar \cdot \rho}{10^4}$

Volume di fluido contenuto al metro [l/m] $Vf = \frac{Au}{10}$

Momento d'inerzia rispetto ad un asse diametrale [cm^4] $J = \frac{\pi \cdot (De^4 - Di^4)}{640000}$

Appendice B. Indicazione convenzionale per la designazione: diametro nominale DN

Il diametro di riferimento per i tubi di polietilene è il diametro esterno De, spesso però ci si confronta con i diametri nominali DN che sono una indicazione convenzionale per la designazione delle condotte di metallo. Il diametro nominale rappresenta all'incirca il diametro interno della condotta e serve quale riferimento univoco per l'unificazione dei diversi elementi che la costituiscono (tubi, valvole, pezzi speciali, flange, ecc.). In figura B.1 è mostrato l'accoppiamento tra un tubo di metallo, una saracinesca ed un tubo di polietilene; la linea tratteggiata indica il diametro interno della condotta e rappresenta quindi approssimativamente il diametro nominale.

Mentre il tubo di metallo e la saracinesca sono definiti direttamente dal diametro nominale DN, per il tubo di polietilene è necessario individuare il diametro interno Di tale da garantire la stessa sezione di passaggio. Per far ciò si fa uso della tabella B.1 in cui è mostrata la correlazione fra i diametri esterni dei tubi di polietilene e i diametri nominali comunemente impiegati.

Un tubo PE 80, UNI 10910, PN12.5, diametro 40 mm ha un diametro interno tale da poter essere correlato con una tubazione DN 32 o 1 1/4".

Un tubo dello stesso diametro ma PN 20 ha una sezione di passaggio inferiore e corrisponde quindi ad un DN 25 o 1".

Figura B.1. Accoppiamento flangiato tra tubo di metallo, saracinesca e tubo di polietilene

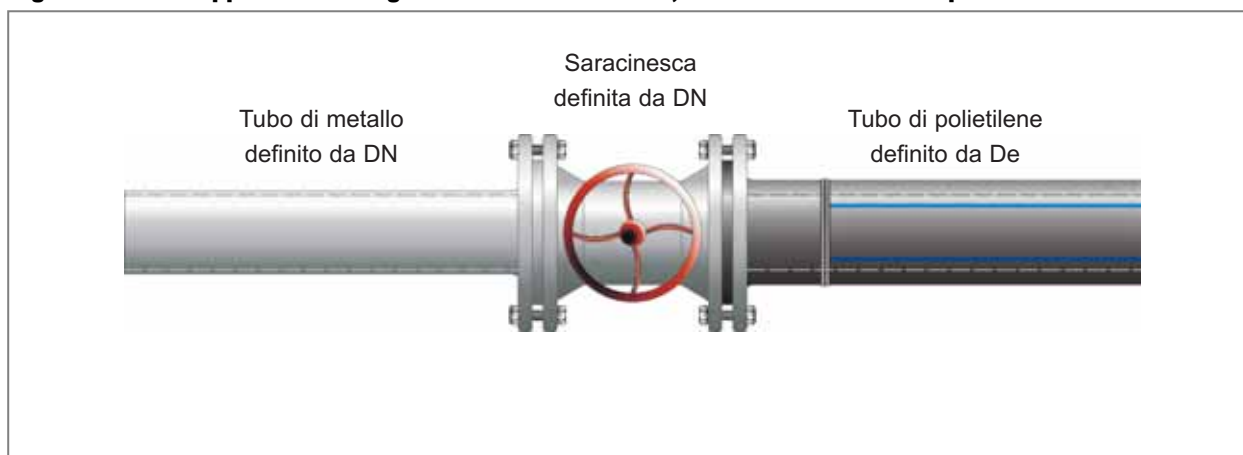


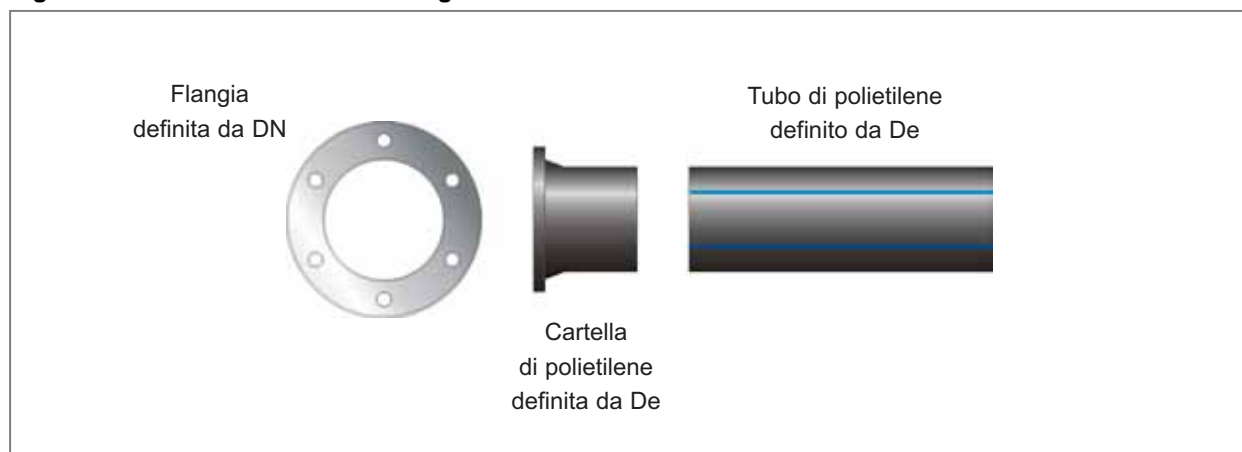
Tabella B.1. Relazione tra diametro esterno del tubo di polietilene e diametro nominale della condotta

Diametro nominale DN		Diametro esterno De del tubo di polietilene [mm]								
		PE 80					PE 100			
		UNI 7613, UNI 10910, UNI ISO 4437					UNI 10910			
[mm]	[pollici]	PN 3.2	PN 5 S 12.5	PN 8 S 8.3	PN 12,5 S 5	PN 20	PN 6.3	PN 10	PN 16	PN 25
10	3/8"					20				20
15	1/2"			20	20	25			20	25
20	3/4"			25	25	32			25	32
25	1"			32	32	40		32	32	40
32	1 1/4"		40	40	40	50		40	40	50
40	1 1/2"		50	50	50	63	50	50	50	63
50	2"		63	63	63	75	63	63	63	75
65	2 1/2"		75	75	90	90	75	75	90	90
80	3"		90	90	110	110	90	90	110	110
100	4"		110	125	125	140	110	125	125	140
125	5"	140	140	140	160	180	140	160	160	180
150	6"	160	160	180	180	225	180	180	200	225
200	8"	225	225	225	250		225	225	250	280
250	10"	280	280	280	315		280	280	315	355

Nota. Fattore di conversione: 1" = 25.4 mm

Appendice C. Giunzioni flangiate

Figura C.1. Giunzione mediante flangia



Una giunzione flangiata con tubi di polietilene viene realizzata saldando al tubo una cartella (collare) che ha la funzione di anello di battuta per la flangia (figura C.1). La giunzione fra la cartella ed il tubo viene effettuata mediante un raccordo elettrosaldabile o mediante una saldatura testa-testa. Esiste una correlazione fra il diametro esterno del tubo e della cartella ed il diametro nominale della flangia; questa relazione è data in tabella C.1 dove sono elencate le caratteristiche geometriche delle flange per tubi di polietilene indicate nella figura C.2.

Se si volessero inserire delle saracinesche con giunzione a flangia in una condotta di polietilene $De = 75$ mm, queste dovranno essere DN 65. Quindi per ogni saracinesca dovranno essere impiegate due cartelle $De = 75$ mm e due flange DN 65.

Figura C.2. Caratteristiche dimensionali

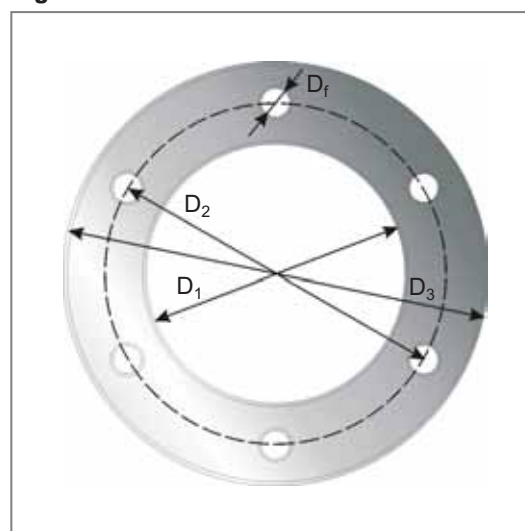


Tabella C.1. Relazione fra De del tubo/cartella e DN della flangia. Caratteristiche dimensionali (UNI 2223)

De [mm]	DN [mm]	D ₁ [mm]	D ₂ [mm]	D ₃ [mm]	D _f [mm]	n° fori	viti
32	25	45	85	115	14	4	M12
40	32	55	100	140	18	4	M16
50	40	66	110	150	18	4	M16
63	50	78	125	165	18	4	M16
75	65	92	145	185	18	4	M16
90	80	108	160	200	18	8	M16
110	100	128	180	220	18	8	M16
125	100	135	180	220	18	8	M16
140	125	158	210	250	18	8	M16
160	150	178	240	285	22	8	M20
180	150	188	240	285	22	8	M20
200	200	235	295	340	22	8	M20
225	200	238	295	340	22	12	M20
250	250	288	350	395	22	12	M20

Appendice D. Relazione tra SDR, S e PN di tubi di polietilene secondo UNI 10910

Nella tabella che segue sono esposte alcune delle relazioni esistenti tra la pressione nominale PN del tubo di polietilene, la serie S e lo standard dimension ratio SDR in funzione della classe del materiale PE secondo la UNI 10910 (coefficiente di sicurezza $C_s = 1.25$).

Tabella D.1. Relazione tra PN, S e SDR

SDR	S	Tipo di polietilene			
		PE 40 ($\sigma 32$)	PE 63 ($\sigma 50$)	PE 80 ($\sigma 63$)	PE 100 ($\sigma 80$)
		Pressione nominale PN [bar]			
41	20		2.5	3.2	4
33	16		3.2	4	5
27.6	13.3				6
26	12.5	2.5	4	5	6.3
22	10.5			6	
21	10	3.2	5		8
17.6	8.3		6		
17	8	4		8	10
13.6	6.3	5	8	10	12.5
11.6	5.3	6			
11	5		10	12.5	16
9.4	4.2				
9	4	8	12.5	16	20
7.4	3.2	10	16	20	25

Appendice E. Unità di misura

Nella tabella E.1 sono presenti le denominazioni ed i simboli dei prefissi impiegati nella denominazione dei multipli e dei sottomultipli delle unità di misura mentre nelle tabelle dalla E.2 alla E.11 sono dati i coefficienti moltiplicativi per la conversione tra unità di misura differenti.

Alcuni esempi chiariranno il metodo di impiego delle tabelle...

A quante miglia corrispondono 20000 metri? In tabella E.2 si vede che $1 \text{ m} = 6.2137 \cdot 10^{-4} \text{ mi}$ e quindi moltiplicando per 20000 si ottiene: $20000 \text{ m} = 12.4274 \text{ mi}$.

A quanti millimetri equivalgono 5 piedi? Sempre in tabella E.2 si osserva che $1 \text{ ft} = 304.8 \text{ mm}$ e quindi $5 \text{ ft} = 1524 \text{ mm}$.

Tabella E.1. Denominazione e simboli dei prefissi per la designazione dei multipli e dei sottomultipli delle unità di misura

	Prefisso	Simbolo	Fattore		Esempio	
MULTIPLI	tera	T	10^{12}	1 000 000 000 000	terahertz	THz
	giga	G	10^9	1 000 000 000	gigaJoule	GJ
	mega	M	10^6	1 000 000	megaWatt	MW
	kilo	k	10^3	1 000	kilometri	km
	etto	h	10^2	100	ettogrammi	hg
	deca	da	10^1	10	decaNewton	daN
SOTTOMULTIPLI			10^0	1	Pascal	Pa
	deci	d	10^{-1}	0.1	decilitri	dl
	centi	c	10^{-2}	0.01	centimetri	cm
	milli	m	10^{-3}	0.001	millibar	mbar
	micro	μ	10^{-6}	0.000 001	microVolts	μV
	nano	n	10^{-9}	0.000 000 001	nanoAmpere	nA
	pico	p	10^{-12}	0.000 000 000 001	picoFarad	pF

Tabella E.2. Lunghezza

millimetri [mm]	centimetri [cm]	metri [m]	chilometri [km]	miglia [mi]	pollici [in]	piedi [ft]	iarde [yd]
1	0.1	0.001	10^{-6}	$6.2137 \cdot 10^{-7}$	$3.937 \cdot 10^{-2}$	$3.2808 \cdot 10^{-3}$	$1.0936 \cdot 10^{-3}$
10	1	0.01	10^{-5}	$6.2137 \cdot 10^{-6}$	0.3937	$3.2808 \cdot 10^{-2}$	$1.0936 \cdot 10^{-2}$
1000	100	1	10^{-4}	$6.2137 \cdot 10^{-4}$	39.37	3.2808	1.0936
10^{+6}	100000	1000	1	0.62137	39370	3280.8	1093.6
$1.6093 \cdot 10^{+6}$	160934	1609.34	1.6093	1	63360	5280	1760
25.4	2.54	0.0254	$2.54 \cdot 10^{-5}$	$1.5783 \cdot 10^{-5}$	1	$8.3333 \cdot 10^{-2}$	$2.7778 \cdot 10^{-2}$
304.8	30.48	0.3048	$3.048 \cdot 10^{-4}$	$1.8939 \cdot 10^{-4}$	12	1	0.3333
914.4	91.44	0.9144	$9.1440 \cdot 10^{-4}$	$5.6818 \cdot 10^{-4}$	36	3	1

Tabella E.3. Area

millimetri quadrati [mm ²]	centimetri quadrati [cm ²]	metri quadrati [m ²]	pollici quadrati [in ²]	piedi quadrati [ft ²]	iarde quadrate [yd ²]
1	0.01	10^{-6}	$1.55 \cdot 10^{-3}$	$1.0764 \cdot 10^{-5}$	$1.1960 \cdot 10^{-6}$
100	1	10^{-4}	0.155	$1.0764 \cdot 10^{-3}$	$1.1960 \cdot 10^{-4}$
10^{+6}	10000	1	1550	10.7639	1.1960
645.16	6.4516	$6.4516 \cdot 10^{-4}$	1	$6.9444 \cdot 10^{-3}$	$7.7160 \cdot 10^{-4}$
92903	929.030	$9.2903 \cdot 10^{-2}$	144	1	0.1111
836127	8361.27	0.8361	1296	9	1

Tabella E.4. Volume

millimetri cubi [mm ³]	centimetri cubi [cm ³]	metri cubi [m ³]	pollici cubi [in ³]	piedi cubi [ft ³]	litri [l]	millilitri [ml]	galloni UK [imp. gal]	galloni US [gal]
1	0.001	10^{-9}	$6.1024 \cdot 10^{-5}$	$3.5315 \cdot 10^{-8}$	10^{-6}	0.001	$2.1997 \cdot 10^{-7}$	$2.6417 \cdot 10^{-7}$
1000	1	10^{-6}	$6.1024 \cdot 10^{-2}$	$3.5315 \cdot 10^{-5}$	0.001	1	$2.1997 \cdot 10^{-4}$	$2.6417 \cdot 10^{-4}$
10^{+9}	10^{+6}	1	61024	35.3147	1000	10^{+6}	219.97	264.17
16387	16.3871	$1.6387 \cdot 10^{-5}$	1	$5.787 \cdot 10^{-4}$	$1.6387 \cdot 10^{-2}$	16.3871	$3.6046 \cdot 10^{-3}$	$4.329 \cdot 10^{-3}$
$2.8317 \cdot 10^{+7}$	28317	$2.8317 \cdot 10^{-2}$	1728	1	28.3168	28317	6.2288	7.4805
10^{+6}	1000	0.001	61.0237	$3.5315 \cdot 10^{-2}$	1	1000	0.2200	0.2642
1000	1	10^{-6}	$6.1023 \cdot 10^{-2}$	$3.5315 \cdot 10^{-5}$	0.001	1	$2.1997 \cdot 10^{-4}$	$2.6417 \cdot 10^{-4}$
$4.5461 \cdot 10^{+6}$	4546.09	$4.5461 \cdot 10^{-3}$	277.42	0.1605	4.5461	4546.09	1	1.2010
$3.7854 \cdot 10^{+6}$	3785.41	$3.7854 \cdot 10^{-3}$	231	0.1337	3.7854	3785.41	0.8327	1

Tabella E.5. Velocità

metri al secondo [m/s]	piedi al secondo [ft/s]	metri al minuto [m/min]	piedi al minuto [ft/min]	chilometri all'ora [km/h]	miglia all'ora [mi/h]
1	3.2808	60	196.85	3.6	2.2369
0.3048	1	18.2880	60	1.0973	0.6818
$1.6667 \cdot 10^{-2}$	$5.4681 \cdot 10^{-2}$	1	3.2808	0.06	$3.7282 \cdot 10^{-2}$
$5.08 \cdot 10^{-3}$	$1.6667 \cdot 10^{-2}$	0.3048	1	$1.8288 \cdot 10^{-2}$	$1.1364 \cdot 10^{-2}$
0.2778	0.9113	16.6667	54.6807	1	0.6214
0.4470	1.4667	26.8224	88	1.6093	1

Tabella E.6. Massa

grammi [g]	chilogrammi [kg]	libbre [lb]	tonnellate [t]	tonnellate UK [UK t]	tonnellate US [US t]
1	0.001	$2.2046 \cdot 10^{-3}$	10^{-6}	$9.8421 \cdot 10^{-7}$	$1.1023 \cdot 10^{-6}$
1000	1	2.2046	0.001	$9.8421 \cdot 10^{-4}$	$1.1023 \cdot 10^{-3}$
453.59	0.4536	1	$4.5359 \cdot 10^{-4}$	$4.4643 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
10^{+6}	1000	2204.62	1	0.9842	1.1023
$1.016 \cdot 10^{+6}$	1016.05	2240	1.0160	1	1.12
907185	907.185	2000	0.9072	0.8929	1

Tabella E.7. Portata

litri al secondo [l/s]	litri al minuto [l/min]	litri all'ora [l/h]	metri cubi al secondo [m³/s]	metri cubi al minuto [m³/min]	metri cubi all'ora [m³/h]	piedi cubi al minuto [ft³/min]	piedi cubi all'ora [ft³/h]	galloni UK al minuto [UK gal/min]	galloni US al minuto [US gal/min]
1	60	3600	0.001	0.06	3.6	2.1189	127.133	13.1981	15.8503
$1.6667 \cdot 10^{-2}$	1	60	$1.6667 \cdot 10^{-5}$	0.001	0.06	$3.5315 \cdot 10^{-2}$	2.1189	0.2200	0.2642
$2.7778 \cdot 10^{-4}$	$1.6667 \cdot 10^{-2}$	1	$2.7778 \cdot 10^{-7}$	$1.6667 \cdot 10^{-5}$	0.001	$5.886 \cdot 10^{-4}$	$3.5315 \cdot 10^{-2}$	$3.6662 \cdot 10^{-3}$	$4.4029 \cdot 10^{-3}$
1000	60000	$3.6 \cdot 10^6$	1	60	3600	2118.88	127133	13198	15850
16.6667	1000	60000	$1.6667 \cdot 10^{-2}$	1	60	35.3147	2118.9	219.969	264.172
0.2778	16.6667	1000	$2.7778 \cdot 10^{-4}$	$1.6667 \cdot 10^{-2}$	1	0.5886	35.315	3.6662	4.4029
0.4719	28.3168	1699	$4.7195 \cdot 10^{-4}$	$2.8316 \cdot 10^{-2}$	1.6990	1	60	6.2288	7.4805
$7.8658 \cdot 10^{-3}$	0.4719	28.3168	$7.8658 \cdot 10^{-6}$	$4.7195 \cdot 10^{-4}$	$2.8316 \cdot 10^{-2}$	$1.6667 \cdot 10^{-2}$	1	0.1038	0.1247
$7.5768 \cdot 10^{-2}$	4.546	272.77	$7.5768 \cdot 10^{-5}$	$4.5461 \cdot 10^{-3}$	0.2728	0.1605	9.6326	1	1.2010
$6.309 \cdot 10^{-2}$	3.7854	227.12	$6.309 \cdot 10^{-5}$	$3.7854 \cdot 10^{-3}$	0.2271	0.1337	8.0208	0.8327	1

Tabella E.8. Forza

Newton [N]	chiloNewton [kN]	chilogrammo forza [kgf]	libbra forza [lbf]
1	0.001	0.1020	0.2248
1000	1	101.97	224.81
9.8067	$9.8067 \cdot 10^{-3}$	1	2.2046
4.4482	$4.4482 \cdot 10^{-3}$	0.4536	1

Tabella E.9. Pressione

Pascal [Pa]	millibar [mbar]	bar [bar]	atmosfera [atm]	chilogrammi forza al centimetro quadrato [kgf/cm²]	libbre forza al pollice quadrato [lbf/in²]	piedi d'acqua [ft H ₂ O]	metri d'acqua [m H ₂ O]	millimetri di mercurio [mm Hg]	pollici di mercurio [in Hg]
1	0.01	10^{-5}	$9.8692 \cdot 10^{-6}$	$1.0197 \cdot 10^{-5}$	$1.4503 \cdot 10^{-4}$	$3.3456 \cdot 10^{-4}$	$1.0197 \cdot 10^{-4}$	$7.5006 \cdot 10^{-3}$	$2.953 \cdot 10^{-4}$
100	1	0.001	$9.8692 \cdot 10^{-4}$	$1.0197 \cdot 10^{-3}$	$1.4503 \cdot 10^{-2}$	$3.3456 \cdot 10^{-2}$	$1.0197 \cdot 10^{-2}$	0.7501	$2.953 \cdot 10^{-2}$
10^5	1000	1	0.9869	1.0197	14.5033	33.456	10.1968	750.062	29.53
101325	1013.25	1.0133	1	1.0332	14.6954	33.8993	10.3319	760	29.9213
98067	980.67	0.9807	0.9678	1	14.2229	32.8093	10	735.563	28.9592
6895	68.95	$6.895 \cdot 10^{-2}$	$6.8048 \cdot 10^{-2}$	$7.0308 \cdot 10^{-2}$	1	2.3068	0.7031	51.7168	2.0361
2989	29.89	$2.989 \cdot 10^{-2}$	$2.9499 \cdot 10^{-2}$	$3.0479 \cdot 10^{-2}$	0.4335	1	0.3048	22.4193	0.8827
9807	98.07	$9.807 \cdot 10^{-2}$	$9.6788 \cdot 10^{-2}$	0.1	1.4223	3.2810	1	73.5585	2.8960
133.32	1.3332	$1.3332 \cdot 10^{-3}$	$1.3158 \cdot 10^{-3}$	$1.3595 \cdot 10^{-3}$	$1.9335 \cdot 10^{-2}$	$4.4604 \cdot 10^{-2}$	$1.3594 \cdot 10^{-2}$	1	$3.937 \cdot 10^{-2}$
3386.4	33.8639	$3.3864 \cdot 10^{-2}$	$3.3421 \cdot 10^{-2}$	$3.4531 \cdot 10^{-2}$	0.4911	1.1330	0.3453	25.4	1

Tabella E.10. Energia

Joule [J]	chiloJoule [kJ]	calorie [cal]	chilocalorie [kcal]	chilogrammo metro [kgm]	Watt-ora [Wh]	chiloWatt-ora [kWh]	British Thermal Unit [Btu]
1	0.001	0.2388	$2.3885 \cdot 10^{-4}$	0.102	$2.7778 \cdot 10^{-4}$	$2.7778 \cdot 10^{-7}$	$9.4782 \cdot 10^{-4}$
1000	1	238.846	0.2388	101.972	0.2778	$2.7778 \cdot 10^{-4}$	0.9478
4.1868	$4.1868 \cdot 10^{-3}$	1	0.001	0.4269	$1.163 \cdot 10^{-3}$	$1.163 \cdot 10^{-6}$	$3.9683 \cdot 10^{-3}$
4186.8	4.1868	1000	1	426.935	1.163	$1.163 \cdot 10^{-3}$	3.9683
9.8067	$9.8067 \cdot 10^{-3}$	2.3423	$2.3423 \cdot 10^{-3}$	1	$2.7241 \cdot 10^{-3}$	$2.7241 \cdot 10^{-6}$	$9.2949 \cdot 10^{-3}$
3600	3.6	859.845	0.8598	367.098	1	0.001	3.4121
$3.6 \cdot 10^6$	3600	$8.5985 \cdot 10^5$	859.845	$3.671 \cdot 10^5$	1000	1	3412.142
1055.056	1.0551	251.996	0.252	107.586	0.2931	$2.9307 \cdot 10^{-4}$	1

Tabella E.11. Potenza

Watt [W]	chiloWatt [kW]	chilocalorie per ora [kcal/h]	chilogrammo- metri per secondo [kgm/s]	cavalli vapore [CV]	horse power [HP]
1	0.001	0.860	0.102	$1.3596 \cdot 10^{-3}$	$1.341 \cdot 10^{-3}$
1000	1	860	101.972	1.3596	1.341
1.1628	$1.1628 \cdot 10^{-3}$	1	0.1186	$1.5809 \cdot 10^{-3}$	$1.5593 \cdot 10^{-3}$
9.8067	$9.8067 \cdot 10^{-3}$	8.4338	1	$1.3333 \cdot 10^{-2}$	$1.3151 \cdot 10^{-2}$
735.5	0.7355	632.536	75	1	0.9863
745.7	0.7457	641.309	76.0402	1.0139	1

Appendice F. Resistenza chimica

Nella tabella che segue è indicata la resistenza chimica del polietilene bassa densità (LDPE), del polietilene alta densità (HDPE) e del polipropilene (PP) come specificato nel documento ISO/TR 10358:1993. La resistenza chimica è relativa a tubi non soggetti a sollecitazioni meccaniche ed alla temperatura di 20°C. È indicata con S una resistenza soddisfacente, con L una resistenza limitata, con NS una resistenza non soddisfacente e dove non è indicata non sono state effettuate prove. La concentrazione è espressa come percentuale in massa della sostanza in soluzione acquosa; in alcuni casi è indicata mediante la simbologia seguente:

Dil.sol.	= Soluzione acquosa diluita in concentrazione non superiore al 10%.
Sol.	= Soluzione acquosa in concentrazione superiore al 10% ma non satura.
Sat.sol.	= Soluzione acquosa satura.
tg	= Sostanza pura
tg-l	= Sostanza pura allo stato liquido
tg-g	= Sostanza pura allo stato gassoso
tg-s	= Sostanza pura allo stato solido
Work.sol.	= Soluzione in concentrazione usualmente impiegata in industria
Susp.	= Sospensione di solido in soluzione satura

Tabella F.1. Resistenza chimica (continua...)

Sostanza	Formula	Concentrazione	LDPE	HDPE	PP
Acetica anidride	$\text{CH}_3\text{-CO-O-CO-CH}_3$	tg-l	L	S	S
Acetico acido	CH_3COOH	$\leq 10\%$	S	S	S
		$10\%+50\%$	S	S	S
		$50\%+60\%$	S	S	
		80%		S	
Acetico acido, glaciale	CH_3COOH	$>96\%$	L	S	S
Aceto di vino		Work.sol.	S	S	S
Acetone	$\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$	tg-l	L	L	S
Acqua ossigenata	vedi Idrogeno perossido				
Acqua regia	HNO_3+3HCl		NS	NS	NS
Alilico alcole	$\text{H}_2\text{C=CH-CH}_2\text{-OH}$	tg-l	L	S	S
Alluminio cloruro	AlCl_3	Sat.sol.	S	S	S
Alluminio solfato	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sat.sol.	S	S	S
Ammoniaca, acquosa	NH_3	Sat.sol.	S	S	S
Ammoniaca, gas	NH_3	tg-g	S	S	S
Ammoniaca, liquida	NH_3	tg-l	L	S	S
Ammonio cloruro	NH_4Cl	Sat.sol.	S	S	S
Ammonio nitrato	NH_4NO_3	Sat.sol.	S	S	S
Ammonio solfato	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Sat.sol.	S	S	S
Ammonio solfuro	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	Sat.sol.	S	S	S
Anidride solforosa	vedi Zolfo biossido				
Antimonio tricloruro	SbCl_3	Sat.sol.	S	S	S
Argento acetato	CH_3COOAg	Sat.sol.	S	S	S
Argento cianuro	AgCN	Sat.sol.	S	S	S
Argento nitrato	AgNO_3	Sat.sol.	S	S	S
Aria		tg-g	S	S	S
Arsenico acido	H_3AsO_4	Sat.sol.	S	S	
Bario idrossido	Ba(OH)_2	Sat.sol.	S	S	S
Benzaldeide	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-COH}$	tg-l	L	S	
Benzene	C_6H_6	tg-l	NS	L	L
Benzine	$\text{C}_5\text{H}_{12} \dots \text{C}_{12}\text{H}_{26}$	Work.sol.	L	S	NS
Benzoico acido	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$	Sat.sol.	S	S	S
Benzolo	vedi Benzene				
Birra		Work.sol.	S	S	S
Borace	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Sat.sol.	S	S	S
Borico acido	H_3BO_3	Sat.sol.	S	S	S
Bromo, gas	Br_2	tg-g	NS	NS	NS
Bromo, liquido	Br_2	tg-l	NS	NS	NS
Butano, gas	C_4H_{10}	tg		S	S

Tabella F.1. Resistenza chimica (continua...)

Sostanza	Formula	Concentrazione	LDPE	HDPE	PP
Calce spenta	vedi Calcio idrossido				
Calcio carbonato	CaCO ₃	Susp.	S	S	S
Calcio cloruro	CaCl ₂	Sat.sol.	S	S	S
Calcio idrossido	Ca(OH) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Calcio ipoclorito	Ca(OCl) ₂	Sol.	S	S	S
Calcio nitrato	Ca(NO ₃) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Calcio solfato	CaSO ₄	Susp.	S	S	S
Carbonico diossido	CO ₂	tg-g	S	S	S
Carbonio monossido	CO	tg-g	S	S	S
Carbonio solfuro	CS ₂	tg-l	NS	L	S
Cicloesanone	C ₆ H ₁₀ =O	tg-l	NS	S	L
Citrico acido	C ₆ H ₈ O ₇	Sat.sol.	S	S	S
Cloridrico acido	HCl	36%	S	S	S
Cloro, acqua	Cl ₂	Sat.sol.	NS	L	S
Cloro, gas secco	Cl ₂	tg-g	NS	L	NS
Cloroformio	CHCl ₃	tg-l	NS	NS	L
Destrosio	vedi Glucosio				
Eptano	C ₇ H ₁₆	tg-l	NS	S	L
Etere acetico	CH ₃ COOCH ₂ -CH ₃	tg-l	L	S	L
Etere etilico	CH ₃ CH ₂ -O-CH ₂ CH ₃	tg-l	NS	L	S
Etanolo	C ₂ H ₅ -OH	40%	S	S	
		95%	L		S
Fenolo	C ₆ H ₅ -OH	Sol.	L	S	S
		≤90%			S
Ferrico cloruro	FeCl ₃	Sat.sol.	S	S	S
Ferrico nitrato	Fe(NO ₃) ₃	Sat.sol.	S	S	S
Ferrico solfato	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Sat.sol.	S	S	S
Ferroso cloruro	FeCl ₂	Sat.sol.	S	S	S
Ferroso solfato	FeSO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Fluoridrico acido	HF	≤40%	S	S	S
		40%+60%	S	S	
Fluoro, gas	F ₂	tg-g	NS	NS	
Formaldeide	HCHO	40%	S	S	S
Formico acido	HCOOH	tg-l	S	S	S
Fosforico acido	H ₃ PO ₄	≤50%	S	S	S
		50%+85%			S
Gasolio	vedi Nafta				
Gelatina		Sol.	S	S	S
Gesso	vedi Calcio solfato				
Glicerina	C ₃ H ₈ O ₃	tg-l	S	S	S
Glicole etilenico	HO-CH ₂ -CH ₂ -OH	tg-l	S	S	S
Glicolico acido	HO-CH ₂ -COOH	Sol.		S	
Glucosio	C ₆ H ₁₂ O ₆	Sol.	S	S	S
Idrogeno	H ₂	tg-g	S	S	S
Idrogeno cloruro	vedi Cloridrico acido				
Idrogeno perossido	H ₂ O ₂	≤30%	S	S	S
		30%+90%	S	S	
Idrogeno solfuro	H ₂ S	tg-g	S	S	S
Isopropilico alcole	(CH ₃) ₃ -CH-OH	tg-l			S
Isopropilico etere	(CH ₃) ₂ -CH-O-CH-(CH ₃) ₂	tg-l			L
Lanolina		Work.sol.			S
Latte		Work.sol.	S	S	S
Lattico acido	CH ₃ CHOHCOOH	≤90%	S	S	S
		tg-l	S	S	
Lievito		Susp.	S	S	
Magnesio cloruro	MgCl ₂	Sat.sol.	S	S	S
Magnesio idrossido	Mg(OH) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Magnesio nitrato	Mg(NO ₃) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Magnesio solfato	MgSO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Maleico acido	C ₄ H ₄ O ₄	Sat.sol.	S	S	S
Mercurio	Hg	tg-l	S	S	S
Mercurio cianuro	Hg(CN) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Mercurio cloruro	HgCl ₂	Sat.sol.	S	S	S
Mercurio nitrato	Hg(NO ₃) ₂	Sat.sol.	S	S	S

Tabella F.1. Resistenza chimica (continua...)

Sostanza	Formula	Concentrazione	LDPE	HDPE	PP
Metano (gas naturale)	CH ₄	tg-g		S	S
Metanolo	vedi Metile alcool				
Metile alcool	CH ₃ OH	tg-l	S	S	S
Nafta		Work.sol.			S
Nickel cloruro	NiCl ₂	Sat.sol.	S	S	S
Nickel nitrato	Ni(NO ₃) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Nickel solfato	NiSO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Nitrico acido	HNO ₃	≤25%	S	S	S
		30%			S
		50%	L	L	L
		>50%	NS	NS	NS
Nitrobenzene	C ₆ H ₅ -NO ₂	tg-l			S
Nitrobenzolo	vedi Nitrobenzene				
Oleico acido	C ₁₇ H ₃₃ COOH	tg-l	L	S	S
Olii e grassi vegetali			S		
Olii minerali		Work.sol.	L	S	
Olio di lino		Work.sol.			S
Olio di silicone		tg-l			S
Olio di vetriolo	vedi Solforico acido, fumante				
Ossalico acido	C ₂ H ₂ O ₄	Sat.sol.	S	S	S
Ossigeno	O ₂	tg-g	S	S	S
Ozono	O ₃	tg-g	NS	L	
Paraffina olio					S
Piombo acetato	Pb(CH ₃ COO) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Piridina	C ₅ H ₅ N	tg-l		S	L
Potassa	vedi Potassio carbonato				
Potassa caustica	vedi Potassio idrossido				
Potassio bicarbonato	KHCO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Potassio carbonato	K ₂ CO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Potassio clorato	KClO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Potassio cloruro	KCl	Sat.sol.	S	S	S
Potassio cromato	K ₂ CrO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Potassio idrossido	KOH	≤10%	S	S	S
		≤50%			S
Potassio nitrato	KNO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Potassio perclorato	KClO ₄	Sat.sol.	S	S	
Potassio permanganato	KMnO ₄	≤20%	S	S	S
Potassio persolfato	K ₂ S ₂ O ₈	Sat.sol.	S	S	S
Potassio solfato	K ₂ SO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Potassio solfito	K ₂ SO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Propano	C ₃ H ₈	tg-g		S	S
Propionico acido	CH ₃ CH ₂ COOH	50%		S	S
		tg-l		S	
Rame cloruro	CuCl ₂	Sat.sol.	S	S	S
Rame fluoruro	CuF ₂	2%	S	S	S
Rame nitrato	Cu(NO ₃) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Rame solfato	CuSO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Sale da cucina	vedi Sodio cloruro				
Salicilico acido	C ₆ H ₄ (OH)-COOH	Sat.sol.	S	S	S
Soda	vedi Sodio carbonato				
Soda caustica	vedi Sodio idrossido				
Sodio acetato	CH ₃ COONa	Sat.sol.	S	S	S
Sodio bicarbonato	NaHCO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Sodio bisolfato	NaHSO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Sodio bromuro	NaBr	Sat.sol.	S	S	S
Sodio carbonato	Na ₂ CO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Sodio clorato	NaClO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Sodio cloruro	NaCl	Sat.sol.	S	S	S
Sodio fluoruro	NaF	Sat.sol.	S	S	S
Sodio idrossido	NaOH	≤40%	S	S	S
		40%+60%			S
Sodio nitrato	NaNO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Sodio nitrito	NaNO ₂	Sat.sol.	S	S	S
Sodio silicato	Na ₂ SiO ₃	Sol.	S	S	S

Tabella F.1. Resistenza chimica

Sostanza	Formula	Concentrazione	LDPE	HDPE	PP
Sodio solfato	Na ₂ SO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Sodio solfito	Na ₂ SO ₃	Sat.sol.	S	S	S
Sodio solfuro	Na ₂ S	Sat.sol.	S	S	S
Solforico acido	H ₂ SO ₄	≤50%	S	S	S
		50%÷75%	S	S	S
		96%	L	S	S
		98%	L	S	L
Solforico acido, fumante	H ₂ SO ₄		NS	NS	L
Solforoso acido	H ₂ SO ₃	≤30%	S	S	S
Succo di mela		Work.sol.	S	S	S
Tannico acido		Sol.	S	S	S
Tartarico acido	C ₄ H ₆ O ₆	Sat.sol.	S	S	S
Toluene	C ₆ H ₅ -CH ₃	tg-l	NS	L	L
Trementina		tg-l			NS
Tricloroetilene	Cl ₂ C=CHCl	tg-l	NS	NS	NS
Triclorometano	vedi Cloroformio				
Urea	H ₂ N-CO-NH ₂	Sol.	S	S	
		Sat.sol.			S
Urina			S	S	S
Vini e spiriti			S	S	S
Xilene	vedi Xilolo				
Xilolo	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	tg-l	NS	L	NS
Zinco carbonato	ZnCO ₃	Susp.	S	S	S
Zinco cloruro	ZnCl ₂	Sat.sol.	S	S	S
Zinco nitrato	Zn(NO ₃) ₂	Sat.sol.	S	S	S
Zinco ossido	ZnO	Susp.	S	S	S
Zinco solfato	ZnSO ₄	Sat.sol.	S	S	S
Zolfo biossido	SO ₂	tg-g	S	S	S
Zolfo triossido	SO ₃	tg-l	NS	NS	

Appendice G. Documentazione di riferimento

Nella tabella seguente sono elencate le normative, i progetti di norma, i rapporti tecnici, le raccomandazioni e le leggi di riferimento che contemplano le condotte di polietilene per acquedotti, gasdotti, scarico, irrigazione, impianti antincendio, ecc.

Tabella G.1. Documentazione di riferimento (continua...)

Gruppo	Sigla	Titolo	Data
Norme di prodotto: tubi	UNI ISO 4437	Tubi di polietilene (PE) per condotte interrate per distribuzione di gas combustibili. Serie metrica. Specifica.	31/07/1988
	UNI 10910-2	Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua Polietilene (PE) - Tubi	25/07/2002
	UNI 7613	Tubi di polietilene ad alta densità per condotte di scarico interrate. Tipi, dimensioni e requisiti.	31/12/1976
	UNI 7615	Tubi di polietilene ad alta densità. Metodi di prova.	31/12/1976
	UNI 7990	Tubi di polietilene a bassa densità per condotte di fluidi in pressione. Tipi, dimensioni e requisiti.	30/09/1979
	UNI 7991	Tubi di polietilene a bassa densità. Metodi di prova.	30/09/1979
Norme di prodotto: raccordi, giunzioni miste, ecc.	UNI 2223	Flange metalliche per tubazioni. Disposizione fori e dimensioni di accoppiamento delle flange circolari	30/11/1967
	UNI 7612+FA 1	Raccordi di polietilene ad alta densità per condotte di fluidi in pressione. Tipi, dimensioni e requisiti.	01/12/1976, agg 31/07/1994
	UNI 7616+FA 90	Raccordi di polietilene ad alta densità per condotte di fluidi in pressione. Metodi di prova.	01/12/1976, agg 01/12/1979
	UNI 8849+FA 1	Raccordi di polietilene (PE 50), saldabili per fusione mediante elementi riscaldanti, per condotte per convogliamento di gas combustibile. Tipi, dimensioni e requisiti.	01/06/1987, agg 01/09/1990
	UNI 8850+FA 1	Raccordi di polietilene (PE 50) saldabili per elettrofusione per condotte interrate per convogliamento di gas combustibili. Tipi, dimensioni e requisiti.	01/01/1988, agg 01/09/1990
	UNI 9561	Raccordi a compressione mediante serraggio meccanico a base di materiali termoplastici per condotte di polietilene per liquidi in pressione. Tipi, dimensioni e requisiti.	31/03/1990
	UNI 9562	Raccordi a compressione mediante serraggio meccanico a base di materiali termoplastici per condotte di polietilene per liquidi in pressione. Metodi di prova.	31/01/1990
	UNI 9736	Giunzioni di tubi e raccordi di PE in combinazione fra loro e giunzioni miste metallo-PE per gasdotti interrati. Tipi, requisiti e prove.	30/09/1990
Saldatrici, processi di saldatura e qualifica del saldatore	UNI 9737	Classificazione e qualificazione dei saldatori di materie plastiche. Saldatori con i procedimenti ad elementi termici per contatto con attrezzatura meccanica e a elettrofusione per tubazioni e raccordi in polietilene per il convogliamento di gas combustibili, di acqua e di altri fluidi in pressione.	31/01/1997
	UNI 10520	Saldatura di materie plastiche. Saldatura ad elementi termici per contatto. Saldatura di giunti testa a testa di tubi e/o raccordi in polietilene per il trasporto di gas combustibili, di acqua e di altri fluidi in pressione.	31/01/1997
	UNI 10521	Saldatura di materie plastiche. Saldatura per elettrofusione. Saldatura di tubi e/o raccordi in polietilene per il trasporto di gas combustibili, di acqua e di altri fluidi in pressione.	31/01/1997
	UNI 10565	Saldatrici da cantiere ad elementi termici per contatto impiegate per l'esecuzione di giunzioni testa/testa di tubi e/o raccordi in polietilene (PE), per il trasporto di gas combustibile, di acqua e di altri fluidi in pressione. Caratteristiche e requisiti, collaudo, manutenzione e documenti.	31/10/1996
	UNI 10566	Saldatrici per elettrofusione ed attrezzature ausiliarie impiegate per l'esecuzione di giunzioni di tubi e/o raccordi in polietilene (PE), mediante raccordi elettrosaldabili, per il trasporto di gas combustibile, di acqua e di altri fluidi in pressione. Caratteristiche e requisiti, collaudo, manutenzione e documenti.	31/10/1996
	U28005960	Proposta di norma per la saldatura di tubazioni e/o raccordi in polietilene PE100 per il trasporto di gas combustibili, acqua e di altri fluidi in pressione.	

Tabella G.1. Documentazione di riferimento

Gruppo	Sigla	Titolo	Data
Norme di impianto	UNI 7129+FA 1+FA 2	Impianti a gas per uso domestico alimentati da rete di distribuzione. Progettazione, installazione e manutenzione.	01/01/1992, 1°agg 31/05/1995, 2°agg 31/12/1997
	UNI 7131	Impianti a GPL per uso domestico non alimentati da rete di distribuzione - Progettazione, installazione, esercizio e manutenzione	31/01/1999
	UNI 9034	Condotte di distribuzione del gas con pressioni massime di esercizio minori o uguali a 5 bar. Materiali e sistemi di giunzione.	31/03/1997
	UNI 9165+FA 1+FA 2	Reti di distribuzione del gas con pressione massime di esercizio minori o uguali a 5 bar. Progettazioni, costruzioni e collaudi.	01/11/1987, 1°agg 31/03/1997 2°agg 30/09/2000
	UNI 9490	Apparecchiature per estinzione incendi. Alimentazioni idriche per impianti automatici antincendio	30/04/1989
	UNI 9860	Impianti di derivazione d'utenza del gas. Progettazione, costruzione e collaudo.	30/09/1998
	UNI 10779	Impianti di estinzione incendi - Reti di idranti - Progettazione, installazione ed esercizio	30/09/1998
	EN 805	Water supply - Requirements for systems and components outside buildings	2000
	pr ENV 1046	Plastics piping and ducting systems - Systems outside building structures for the conveyance of water or sewage - Practices for installation above and below ground	
	pr EN 1555	Sistemi di tubazioni di materia plastica per distribuzione di gas combustibili.	
	EN 12007	Gas Supply Systems. Pipelines for maximum operating pressure up to and including 16 bar	19/01/2000
	pr EN 12201	Sistemi di tubazioni di materia plastica per distribuzione dell'acqua.	
	pr EN 12666	Plastics piping systems for non pressure underground drainage and sewerage. Polyethylene (PE)	
	pr EN 13244	Plastics piping systems for buried and above-ground pressure systems for water for general purposes, drainage and sewerage	
Rapporti tecnici e raccomandazioni	ISO/TR 10358	Plastics pipes and fittings – Combined chemical-resistance classification table	01/06/1993
	Pubblicazione n°7 Istituto Italiano dei Plastici	Installazione di gasdotti di PE	maggio 1993
	Pubblicazione n°9 Istituto Italiano dei Plastici	Impianti di irrigazione realizzati con tubazioni di materia plastica	dicembre 1976
	Pubblicazione n°10 Istituto Italiano dei Plastici	Installazione di acquedotti di PE a.d.	maggio 1999
	Pubblicazione n°11 Istituto Italiano dei Plastici	Installazione di fognature di PE a.d.	ottobre 1978
	Pubblicazione n°15 Istituto Italiano dei Plastici	Le materie plastiche nell'irrigazione	luglio 1986
	Istituto Italiano dei Plastici	Tubazioni a prova di terremoto	
Decreti	Circolare Ministeriale n°102/3990 02/12/1978 Ministero della Sanità	Disciplina igienica concernente le materie plastiche e gomma per tubazioni ed accessori destinati a venire in contatto con acqua potabile e da potabilizzare.	02/12/1978
	Decreto Ministeriale 12/12/1985 Ministero LL.PP. Ministero dell'Interno	Norme tecniche relative alle tubazioni.	12/12/1985
	Decreto Ministeriale 24/11/1984 Ministero dell'Interno	Norme di sicurezza antincendio per il trasporto, la distribuzione, l'accumulo e l'utilizzazione del gas naturale con densità non superiore a 0.8.	24/11/1984, 1°agg 12/02/1989, 2°agg 22/05/1989, 3°agg 27/11/1989, 4°agg 21/12/1991, 5°agg 16/11/1999

Unidelta S.p.A. opera con sistema di qualità certificato in conformità alla norma UNI EN ISO 9002 e con certificato numero 127 dell'Istituto Italiano dei Plastici.

Unidelta S.p.A. ha ottenuto certificazioni di qualità internazionali relative alla gamma dei prodotti realizzati quali i tubi di polietilene bassa densità e alta densità per acqua, gas e scarico, i tubi di polietilene reticolato per riscaldamento e impianti sanitari, i raccordi a compressione di polipropilene.

Nelle ultime pagine si possono trovare i certificati del sistema di qualità ed i certificati di qualità di prodotto relativi ai tubi di polietilene per l'Italia e la Svizzera.



Danimarca



Francia



Germania



Inghilterra



Irlanda



Italia



Norvegia



Olanda



Polonia



Repubblica Ceca



Russia



Slovacchia



Spagna



Sud Africa



Svizzera



Ungheria



Ungheria



THE INTERNATIONAL CERTIFICATION NETWORK

IQNet Registration No. IT-3572

This is to state that

UNIDELTA Idrosanitaria Savallese S.p.A.
Via Capparola Sotto, 4
25078 VESTONE (BS)

*holds the
Quality System Certificate*

CISQ/SQP n° 127 (valid until 2001-12-31)

for the scope specified thereon and for the standard

ISO 9002

Signed for and on behalf of IQNet

Klaus Petrick
President of IQNet

01.01.1999
Date



This document and the underlying certificate are not

AENOR Spain AFAQ France AIB-Vincotte Inter Belgium A
CISQ Italy DQS Germany DS Denmark ELOT Greece JQA J
NCS Norway NSAI Ireland OGS Austria PSB Singapore QAS A
SIQ Slovenia SIS Sweden SGS

This document is only valid when presented with the
The issuing member institution of other members from any other

Federazione - Federation



a member of IQNet

CISQ è una Federazione
internazionale ed indipendente
di enti di certificazione dei Sistemi di
Gestione aziendali, operanti ciascuno
nel settore di propria competenza.

CISQ è a multi-entità indipendente
non profit Federation of Italian
organizzazioni per la certificazione
of company Management Systems
each operating in its own sector
of responsibility.

CERTIFICAZIONE ITALIANA DEI SISTEMI QUALITÀ AZIENDALI
ITALIAN CERTIFICATION OF COMPANY QUALITY SYSTEMS



ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

CERTIFICATO n. **127**
CERTIFICATE No.

SI CERTIFICA CHE IL SISTEMA QUALITÀ DI
WE HEREBY CERTIFY THAT THE QUALITY SYSTEM OPERATES BY

UNIDELTA
Idrosanitaria Savallese S.p.A.

UNITÀ OPERATIVE
OPERATIVE UNITS

Via Capparola Sotto, 4
25078 VESTONE (BS)

È CONFORME ALLA NORMA
IS IN COMPLIANCE WITH THE STANDARD **UNI EN ISO 9002**

PER I SEGUENTI TIPI DI PRODOTTI - PROCESSI - SERVIZI
CONCERNING THE FOLLOWING KINDS OF PRODUCTS - PROCESSES - SERVICES

**ESTRUSIONE DI TUBI IN PE
E STAMPAGGIO AD INIEZIONE DI RACCORDI IN PP.**

IL PRESENTE CERTIFICATO È SOGGETTO AL RISPECTO DEL REGOLAMENTO
PER LA CERTIFICAZIONE DEI SISTEMI QUALITÀ AZIENDALI
THE USE AND THE VALIDITY OF THIS CERTIFICATE SHALL SATISFY THE REQUIREMENTS
OF THE RULES FOR THE CERTIFICATION OF COMPANY QUALITY SYSTEMS

Prima emissione
First issue 23/12/1993

Emisione corrente
Current issue 01/01/1999

Validità scadenza
Expiry date 31/12/2001

V. Vice Presidente Delegato
istituto italiano dei plastici

Via M. C. Tassi, 7 - 20124 Milano



ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

Via M.C. Treves, 7
I - 20149 MILANO
Tel. +39 02 3144001 - CF e PIVA
Reg. Trib. Milano 111/1120134
E-mail: info@iip.it

Certificazione di Conformità
CERTIFICATION OF CONFORMITY

Valida fino al 30.06.2001
Expiring on

L'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifica che i seguenti materiali
The ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifies that the following products

Tubi di PE ad alta densità per condotte di fluidi in pressione - Tipo 312
HD PE pipes for pressure systems - 312 Type

Prodotto dalla società: **UNIDELTA IDROSANITARIA SAVALLESE S.p.A.**
Manufactured by the company
con sede in: **Vestone (BS)**
head office
Sedi filiali in: **Vestone (BS)**
branches
con il nome commerciale: **UNIDELTA**
trade name

è riportato nel manuale UNIDELTA, sono sottoposti al controllo di prova dell'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
che, in base ai risultati ottenuti, ha autorizzato il produttore ad apporre sugli stessi il marchio di conformità al
regolamento della norma **UNI 7611+P.A. 1 e del marchio IIP-UNI**
and reported on the IIP official list, are submitted to periodic audits by ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
which, on the basis of the results obtained, authorizes the manufacturer to mark the new mentioned products in
conformance with **UNI 7611+P.A. 1** and used with **IIP-UNI** conformity certification

con il numero distintivo: **148**
with the distinctive number

Milano, 01.07.2000
Milan

IL PRESIDENTE
del Consiglio d'Amministrazione
ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

Via M.C. Treves, 7
I - 20149 MILANO
Tel. +39 02 3144001 - CF e PIVA
Reg. Trib. Milano 111/1120134
E-mail: info@iip.it

Certificazione di Conformità
CERTIFICATION OF CONFORMITY

Valida fino al 30.06.2001
Expiring on

L'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifica che i seguenti materiali
The ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifies that the following products

Tubi di PE-A per condotte interrate per distribuzione di gas infiammabili - Tipo 316
PE-A pipes for buried gas distribution buried systems - 316 Type

Prodotto dalla società: **UNIDELTA IDROSANITARIA SAVALLESE S.p.A.**
Manufactured by the company
con sede in: **Vestone (BS)**
head office
Sedi filiali in: **Vestone (BS)**
branches
con il nome commerciale: **UNIDELTA GAS**
trade name

è riportato nel manuale UNIDELTA, sono sottoposti al controllo di prova dell'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
che, in base ai risultati ottenuti, ha autorizzato il produttore ad apporre sugli stessi il marchio di conformità al
regolamento della norma **UNI ISO 4437 e del marchio IIP-UNI**
and reported on the IIP official list, are submitted to periodic audits by ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
which, on the basis of the results obtained, authorizes the manufacturer to mark the new mentioned products in
conformance with **UNI ISO 4437** and used with **IIP-UNI** conformity certification

con il numero distintivo: **148**
with the distinctive number

Milano, 01.07.2000
Milan

IL PRESIDENTE
del Consiglio d'Amministrazione
ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

SVGW
Schweizerischer Verein des
Gas- und Wasserfaches
Grütstrasse 84
CH-8007 Zürich

ZERTIFIZIERUNGSTELLE WASSER

IL PRESIDENTE
del Consiglio d'Amministrazione
ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

ZERTIFIKAT NR. 9612-K 216

Auf Antrag der Firma
UNIDELTA S.p.A., Via Capparella Sotto 4, 5-23070 Vestone (BS)
vom **5.12.1996** erteilt der Schweiz. Verein des Gas- und Wasserfaches
aufgrund des Fragebogens WTPW 101 nachfolgende Zulassung:

Produkt: **Kunststoffrohre PE (erdverlegt)**
Bezeichnung: **Unidelta**
Typen: **a 20...280 PE 80; PN 8 SS, PN 12.5 SS, PN 16 SS, 2**
(20...280 mm; PN: 8 MPa, 12.5 MPa, 16 MPa)

Zertifizierungsgrundlage: **SVGW GW 2**
Der Auftraggeber ist berechtigt, diese Gegenstände als «GUTER gemäß SVGW 2» zu bezeichnen
und das eingetragene Schutzkennzeichen zu verwenden bis zum: **30.06.2002**

Bemerkungen:
Index:

Zürich, 29. Juni 1996

ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

Via M.C. Treves, 7
I - 20149 MILANO
Tel. +39 02 3144001 - CF e PIVA
Reg. Trib. Milano 111/1120134
E-mail: info@iip.it

Certificazione di Conformità
CERTIFICATION OF CONFORMITY

Valida fino al 30.06.2001
Expiring on

L'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifica che i seguenti materiali
The ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifies that the following products

Tubi di PE a bassa densità per condotte di fluidi in pressione - Tipo 312
LD PE pipes for pressure systems - 312 Type

Prodotto dalla società: **UNIDELTA IDROSANITARIA SAVALLESE S.p.A.**
Manufactured by the company
con sede in: **Vestone (BS)**
head office
Sedi filiali in: **Vestone (BS)**
branches
con il nome commerciale: **UNIDELTA**
trade name

è riportato nel manuale UNIDELTA, sono sottoposti al controllo di prova dell'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
che, in base ai risultati ottenuti, ha autorizzato il produttore ad apporre sugli stessi il marchio di conformità al
regolamento della norma **UNI 7998**
and reported on the IIP official list, are submitted to periodic audits by ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
which, on the basis of the results obtained, authorizes the manufacturer to mark the new mentioned products in
conformance with **UNI 7998** and used with **IIP-UNI** conformity certification

con il numero distintivo: **148**
with the distinctive number

Milano, 01.07.2000
Milan

IL PRESIDENTE
del Consiglio d'Amministrazione
ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

Via M.C. Treves, 7
I - 20149 MILANO
Tel. +39 02 3144001 - CF e PIVA
Reg. Trib. Milano 111/1120134
E-mail: info@iip.it

Certificazione di Conformità
CERTIFICATION OF CONFORMITY

Valida fino al 30.06.2001
Expiring on

L'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifica che i seguenti materiali
The ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI certifies that the following products

Tubi di PE ad alta densità per condotte di scarico interrate - Tipo 303
HD PE pipes for sewer and drain systems - 303 Type

Prodotto dalla società: **UNIDELTA IDROSANITARIA SAVALLESE S.p.A.**
Manufactured by the company
con sede in: **Vestone (BS)**
head office
Sedi filiali in: **Vestone (BS)**
branches
con il nome commerciale: **UNIDELTA**
trade name

è riportato nel manuale UNIDELTA, sono sottoposti al controllo di prova dell'ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
che, in base ai risultati ottenuti, ha autorizzato il produttore ad apporre sugli stessi il marchio di conformità al
regolamento della norma **UNI 7613**
and reported on the IIP official list, are submitted to periodic audits by ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI
which, on the basis of the results obtained, authorizes the manufacturer to mark the new mentioned products in
conformance with **UNI 7613** and used with **IIP-UNI** conformity certification

con il numero distintivo: **148**
with the distinctive number

Milano, 01.07.2000
Milan

IL PRESIDENTE
del Consiglio d'Amministrazione
ISTITUTO ITALIANO DEI PLASTICI

[illegible]



Certificato n° 127
UNI EN ISO 9002

UNIDELTA
UNIDELTA S.p.A.

Via Capparola Sotto, 4 - 25078 Vestone (BS) - Italy
Tel. +39 0365 878.011 (15 linee s.p.) - Fax +39 0365 878.080
www.unidelta.it - e-mail: unidelta@unidelta.it