

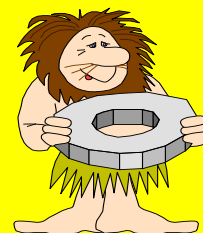
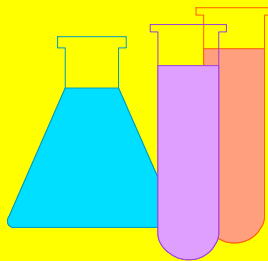
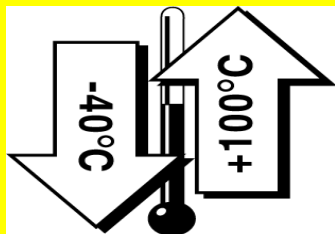


Il polietilene: aspetti tecnici e progettuali

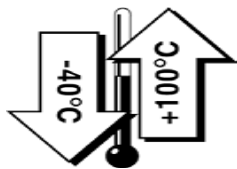


- **Benvenuto**
- **Caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche del PE**
- **Applicazioni del PE**
- **Produzione di manufatti in PE**
- **Tubi e raccordi in PE**
- **Normative sul PE per acqua e gas**
- **Sistemi di giunzione: EF e TT**
- **Dimensionamento idraulico e meccanico**
- **Posa in opera e collaudo**
- **Conclusioni**

Caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche del PE



Proprietà	U.M.	PEAD	PP	PVC	PVDF	Acciaio
Densità	g/ cm ³	0,94 - 0,96	0,90 - 0,96	1,37 - 1,45	1,77	7,8
Snervamento a trazione	N/mm ²	> 24	28 - 35	> 48	*	> 240
Allungamento a trazione	%	15	*	< 10	*	< 20
Carico di rottura	N/mm ²	20 - 40	20 - 40	35 - 60	40 - 50	380 - 520
Allungamento a rottura	%	> 350	> 150	2 - 50	50 - 300	20 - 30
Modulo di elasticità	N/mm ²	900	1.100 - 1.600	2.400 - 3.000	1.500 - 2.000	210.000
Coeff. dilatazione termica	mm/m°C	0,2	0,16 - 0,18	0,06 - 0,08	0,12 - 0,18	0,012
Conduktività termica	W/m K	0,55	0,26	0,16	0,18	40



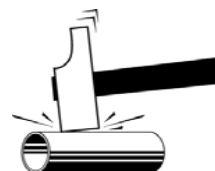
Campo di utilizzo
da - 50°C a + 60°C



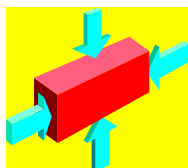
Facilmente trasportabile ed installabile



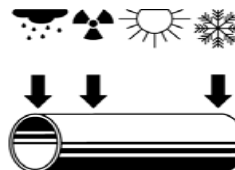
Resistente
all'aggressione
chimica



Resistente all'impatto,
buone caratteristiche
meccaniche



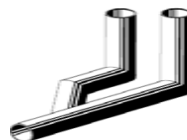
Alta resistenza
all'abrasione



Se protetto, resistente agli
agenti atmosferici e raggi UV



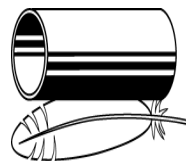
Non tossico,
fisiologicamente
sicuro



Facilmente lavorabile
(semilavorati...)



Isolante



Leggero

- ✓ **Leggerezza**
- ✓ **Bassa densità (8 volte inferiore all'acciaio)**
- ✓ **Buona resistenza alla corrosione**
- ✓ **Buona resistenza all'abrasione**
- ✓ **Elevato grado di isolamento termico**
- ✓ **Elevata resistività elettrica superficiale**
- ✓ **Bassa conduttività termica**
- ✓ **Buona resistenza agli urti (elevata tenacità)**
- ✓ **Levigatazza e ridotte perdite di carico**
- ✓ **Possibilità di utilizzo di tubo in rotoli (fino al D.110 mm)**





- ✓ **Bassa resistenza meccanica e rigidità limitata**
- ✓ **Bassa resistenza alle alte temperature ($T_{\max} = 60-80^{\circ}\text{C}$)**
- ✓ **Bassa durezza superficiale (formazione di intagli, inneschi di rotture)**
- ✓ **Bassa resistenza agli agenti atmosferici (radiazioni UV)**
- ✓ **Elevato coefficiente di dilatazione termica lineare (10-20 volte quello dell'acciaio)**
- ✓ **Ridotta resistenza a solventi di tipo organico**

Questi aspetti negativi sono annullati dalle prescrizioni contenute nel D.M. 24.11.84 e successive modifiche

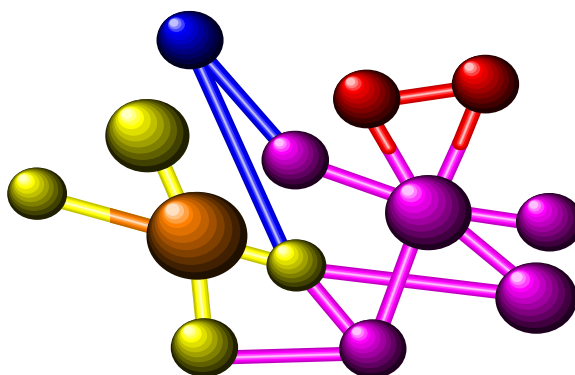




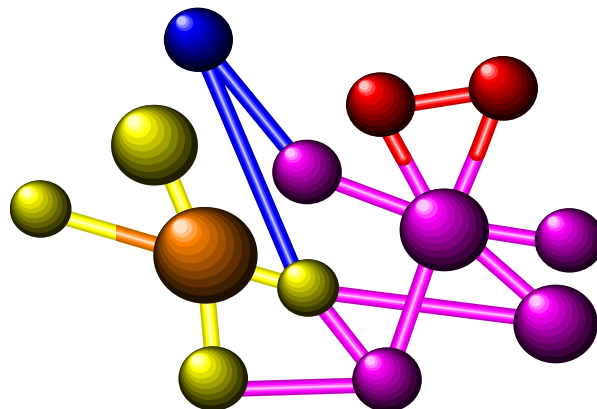
Per materie plastiche intendiamo quei

COMPOSTI ORGANICI ARTIFICIALI

di natura macromolecolare che durante alcune fasi di lavorazione
presentano caratteristiche di plasticità.



Materie plastiche: proprietà

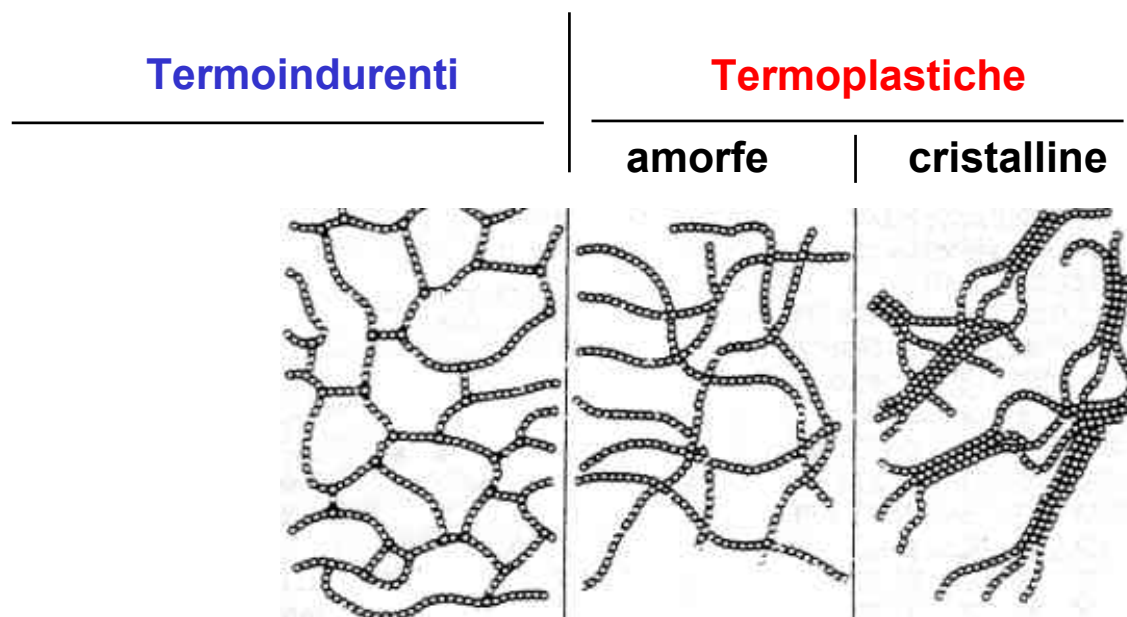


Il costituente principale delle materie plastiche è una macromolecola ad elevato peso molecolare denominata **POLIMERO** che si ottiene per **SINTESI** (collegamento chimico) dalla ripetizione dell'unità monomero.

Le materie plastiche hanno una struttura molecolare a forma di catena con differenti ramificazioni. In funzione del processo di sintesi distinguiamo:

- **STRUTTURE LINEARI** termoplastiche
- **STRUTTURE RAMIFICATE** termoindurenti

Il grado delle ramificazioni e la lunghezza delle catene laterali influiscono sulle caratteristiche delle materie plastiche



- ☐ Termoplastici (PE, PP, PVC, PVC-C, PVDF, ABS)
- ☐ Termoindurenti (PRFV, resine epossidiche, fenoliche)
- ☐ Elastomeri (gomme sintetiche e naturali, caucciù)

TERMOPLASTICI

Formati da macromolecole non collegate, a forma di catena
Se sottoposti a riscaldamento si deformano
Tale comportamento è REVERSIBILE

TERMOINDURENTI

A struttura non lineare, ma tridimensionale
Se sottoposti a riscaldamento aumentano la loro durezza
hanno un comportamento NON REVERSIBILE

All'aumentare del grado di cristallinità (PE = 40 - 80 %), aumentano:

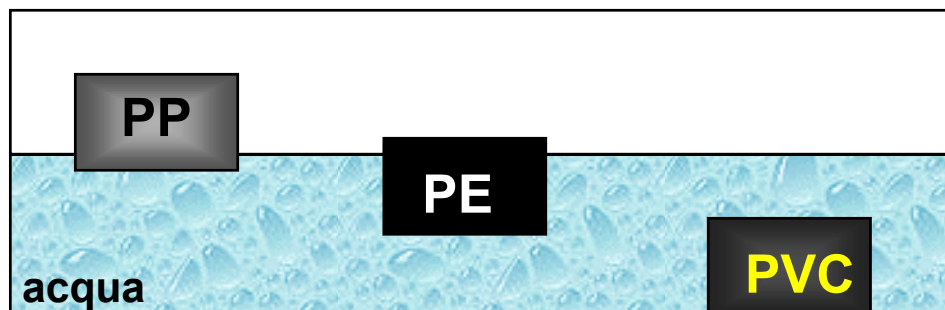
- la temperatura di rammollimento
- la resistenza all'azione chimica dei solventi
- la resistenza e la rigidità
- e si riduce la resilienza (resistenza agli urti)

DENSITA'

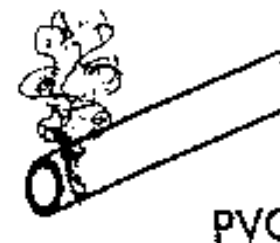
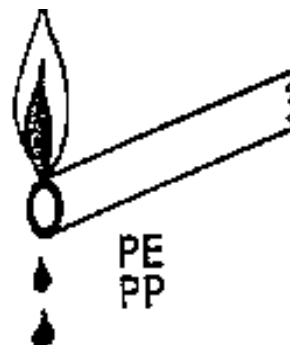
PE : 0,920 - 0,960 g/cm³

PP : 0,900 - 0,940 g/cm³

PVC : 1,380 - 1,450 g/cm³

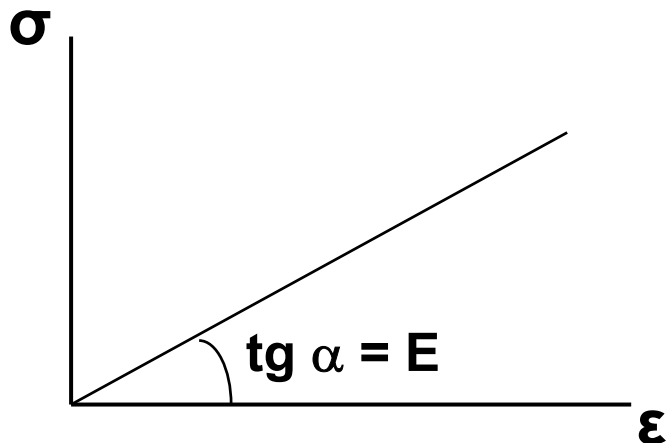


COMPORTAMENTO ALLA FIAMMA



PVC: autoestinguente

PE: continua a bruciare



MATERIALI ELASTICI (Metalli)

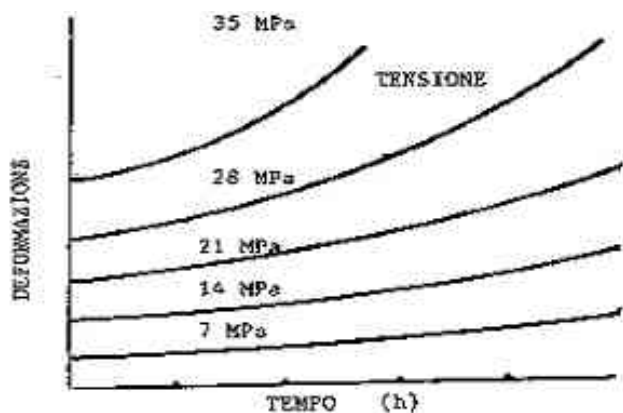
$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Deformazione indipendente dalla
durata di applicazione del carico

MATERIALI VISCOSI (Plastici)

$$\epsilon = f(\sigma, t, T)$$

Deformazione dipendente dalla
durata di applicazione del carico
e dalla temperatura (creep)



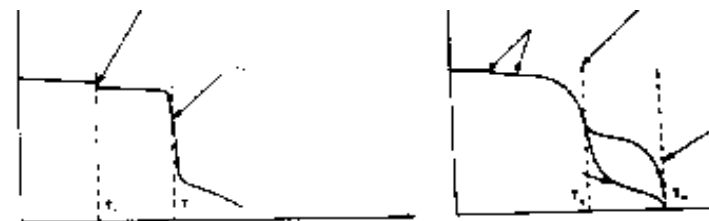
Basse temperature :

Mancanza di mobilità molecolare e struttura molecolare fragile e rigida

Alte temperature :

Legami polimerici allentati e struttura molecolare plastica

Lo scorrimento viscoso per le alte temperature (T_m)
e la transizione vetrosa per le basse temperature (T_g)
determinano i campi di impiego delle materie plastiche



$$T_{g\text{ PE}} = -80 / -100^{\circ}\text{C}$$

Il PE ha una rottura duttile
con segnali premonitori

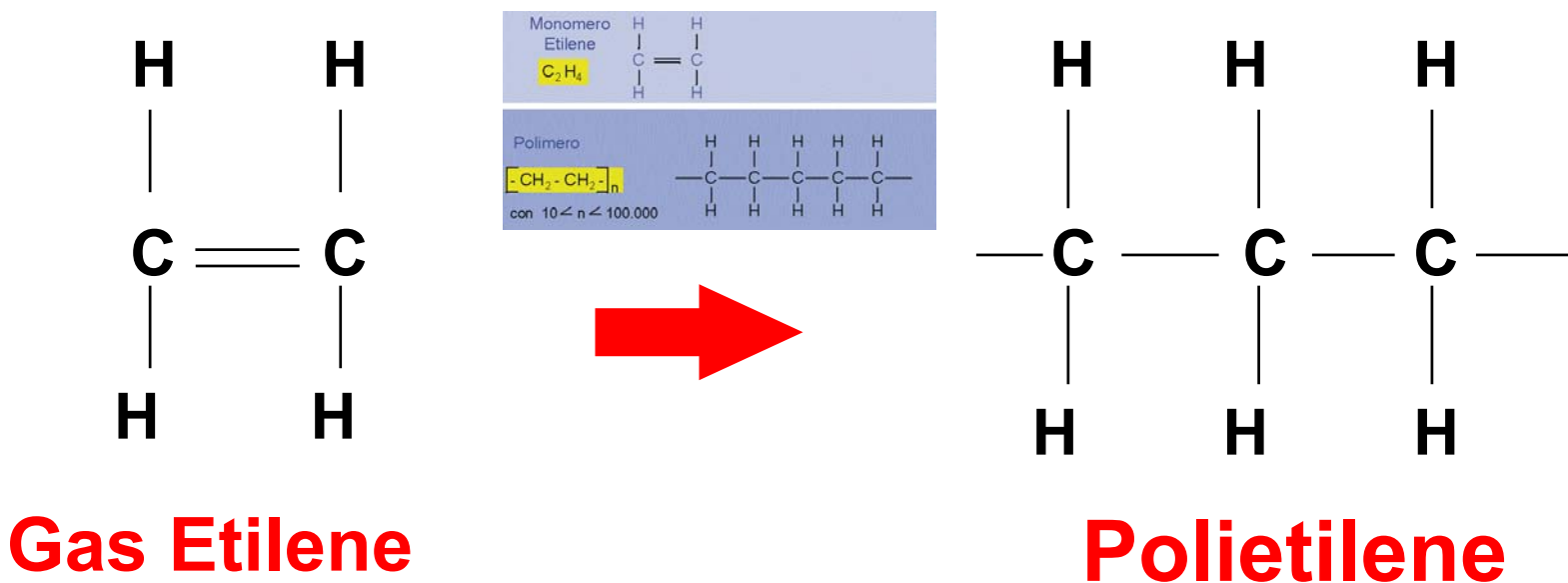
$$T_{g\text{ PVC}} = +60 / +100^{\circ}\text{C}$$

Il PVC non si usa per gas avendo una
rottura fragile e disastrosa

Materiale	Tmax	Tmin
PE	60°	- 50°
PP	da 80° a 100°	0°
PVC	60°	0°
PVDF	120°	- 40°
PRFV	da 100° a 120°	da - 60° a - 80°

Il polietilene è un polimero termoplastico poliolefinico

Il PE si ottiene dalla polimerizzazione dell'etilene con aggiunta di agenti stabilizzanti.



Il PE allo stato vergine è di colore biancastro, traslucido e di aspetto ceroso. Si ossida facilmente in presenza di ossigeno e di UV



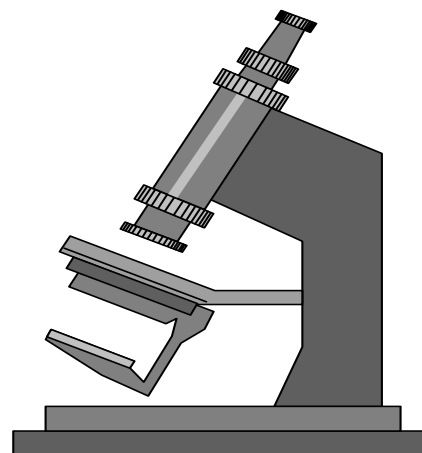
I parametri fisici che caratterizzano i differenti tipi di PE sono:



DISTRIBUZIONE DEI PESI MOLECOLARI



DENSITA'



Una distribuzione dei pesi molecolari delle macromolecole molto ampia comporta:

- una buona estrusione
- una buona resistenza allo *stress-cracking*

Una distribuzione dei pesi molecolari delle macromolecole più ristretta comporta:

- una buona resistenza all'urto

MFR (Melt Flow Rate = Indice di Fluidità)

Maggiore è il peso molecolare, più elevata è la viscosità e quindi minore è l'indice di fluidità della resina.

MFR = Peso molecolare/Viscosità

M.F.R. 0,4 - 1,3 g/10 min 190°C 5 Kg

- per il PE A.D. MFR = 0,4 - 0,7 g/10 min
- per il PE M.D. MFR = 0,7 - 1,3 g/10 min



La densità influenza la struttura del polimero

PEBD : PE Bassa densità

- Catena molecolare ramificata
- Buona flessibilità e lavorabilità
- Grado di cristallinità 40-50 %
- Applicazione: reti di irrigazione



a)- Polietilene bassa densità

PEAD : PE Alta densità

- Catena molecolare lineare
- Poche ramificazioni
- Maggior compattezza
- Maggior resistenza meccanica e chimica
- Applicazione: condotte in pressione



b)- Polietilene alta densità

POLIETILENE A BASSA DENSITÀ'

0.910-0.925 Kg/dm³

T = 200°-250°C P= 200-300 Mpa

Processo ad alta pressione

POLIETILENE A MEDIA DENSITÀ'

0.926-0.940 Kg/dm³

Miscelazione di resine di polietilene ad alta e bassa densità

POLIETILENE AD ALTA DENSITÀ'

0.941-0.965 Kg/dm³

T = 70-80°C P= 0,3-0,4 Mpa

Processo a bassa pressione

La densità minima per uso gas in Italia è 0,930 Kg/dm³ (D.M. 24.11.84)

Criteri di scelta delle resine

Un aumento della densità determina:

- un aumento della propagazione rapida della frattura
- un aumento della rigidità (aumenta il modulo E)
- un aumento della resistenza a trazione a breve termine (σ_s)
- una riduzione della resistenza allo stress cracking (sollecitazione a lungo termine)

PEAD : migliore resistenza alla propagazione rapida della frattura

PEMD : migliore resistenza alle sollecitazioni prolungate nel tempo

Parametri per la scelta ottimale di una resina:

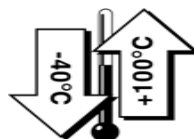
1. Elevata resistenza a lungo termine
2. Elevata resistenza alla propagazione di rotture
3. Idoneità alla lavorabilità
4. Elevate caratteristiche di saldabilità (range MFR ampio)

La scelta è sempre un compromesso !!!

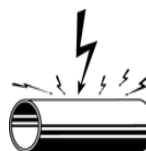
- **Proprietà meccaniche a breve e lungo termine**



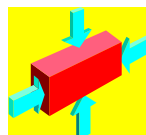
- **Proprietà termiche**



- **Proprietà elettriche**



- **Proprietà fisiche**



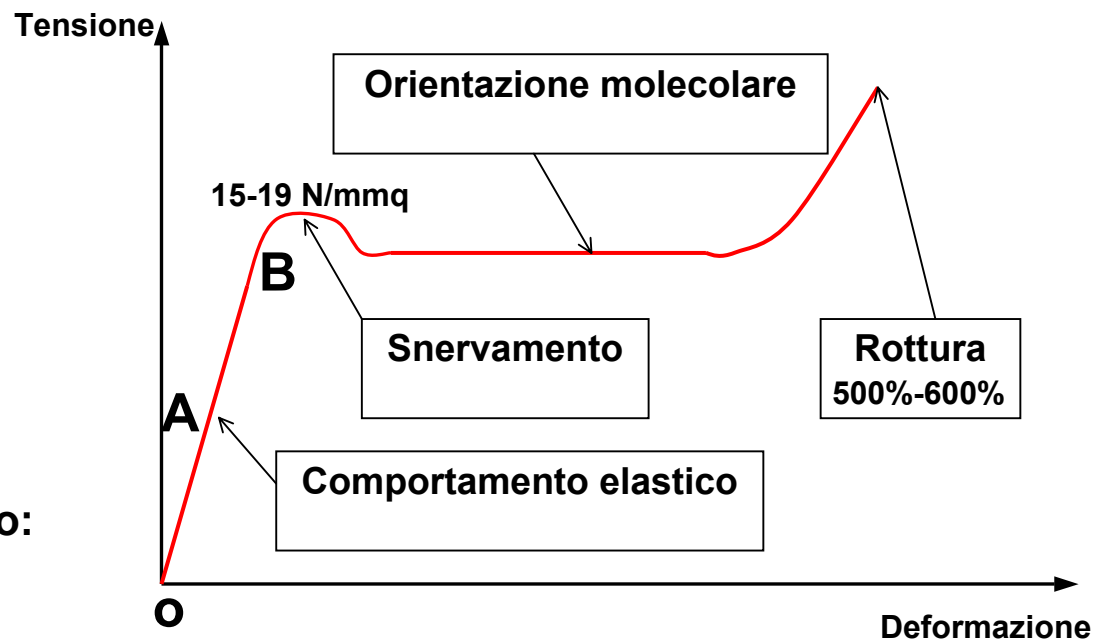
- **Proprietà chimiche**





PROVA DI TRAZIONE

Resistenza meccanica a breve termine



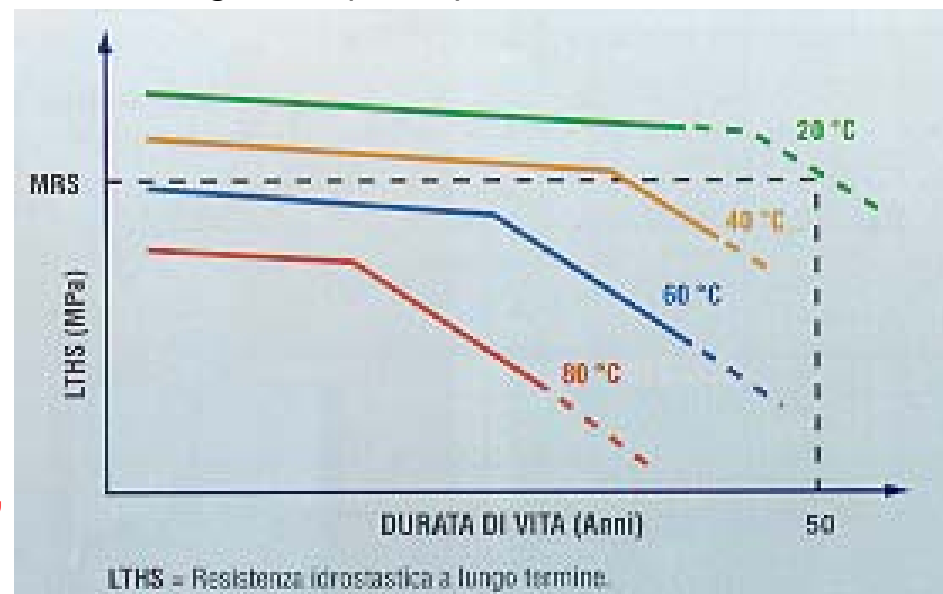
Valori tipici della tensione di snervamento:

- PEAD : 19 - 22 N/mm²
- PEMD : 15 - 19 N/mm²
- PEBD : 8 - 10 N/mm²



Curve di resistenza allo scorrimento
Curve di regressione
Resistenza meccanica a lungo termine

Tensione tangenziale (N/mm²)



Tempo di rottura (h)

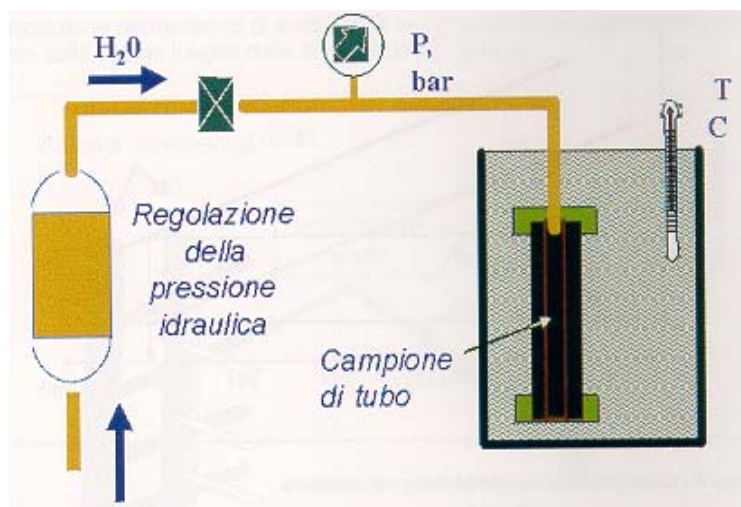
Il PE ha un comportamento viscoelastico per cui soggetto ad un carico costante presenta un aumento della deformazione **“fenomeno del creep”** che aumenta all’aumentare della temperatura

Ginocchio = decadimento brusco delle proprietà meccaniche – resine PE80



Curve di regressione

Resistenza meccanica a lungo termine



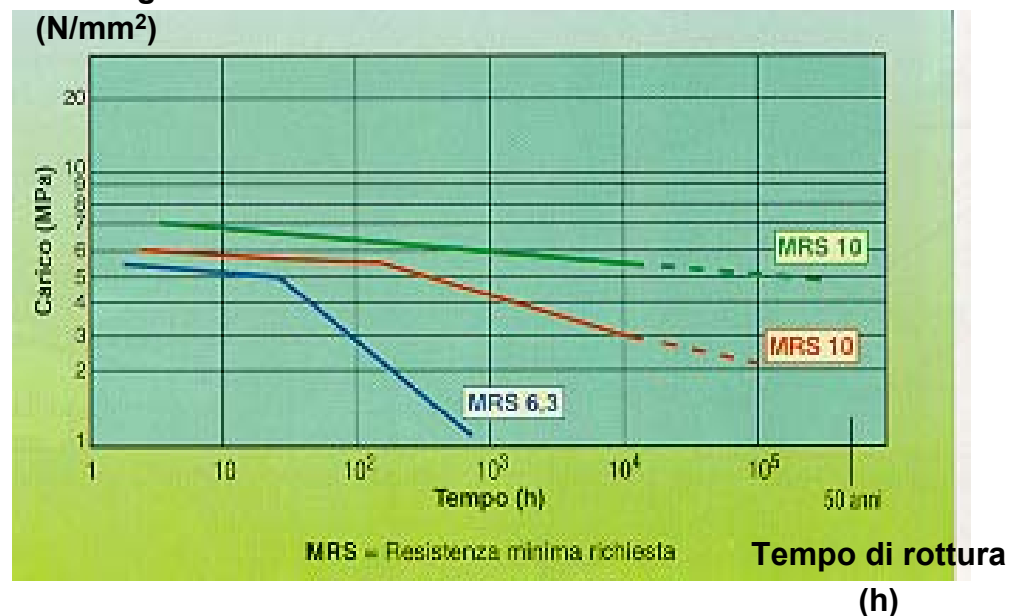
Coppie di valori: $(\sigma = P \times 1/2((De/S)-1) , t)$

P = Pressione di prova

De = Diametro esterno del tubo

S = Spessore nominale del tubo

Tensione Tangenziale

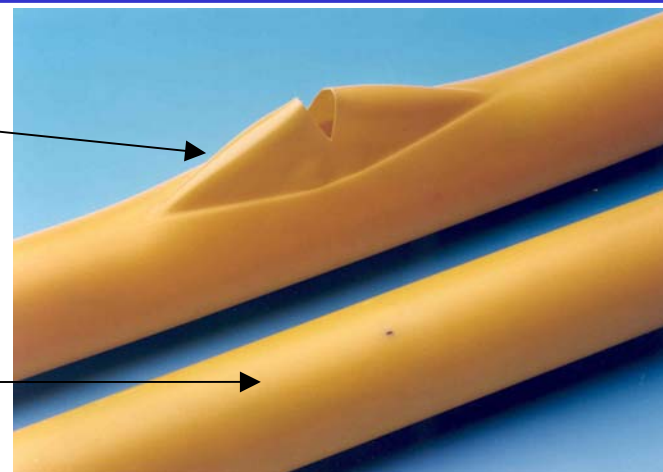


Fisso la temperatura, applico P, ricavo σ , rilevo il tempo t e segno sul grafico la coppia $(\log \sigma, \log t)$

NB: per resine PE 100 – MRS 10, assenza di ginocchio sino ad oltre 10000 h

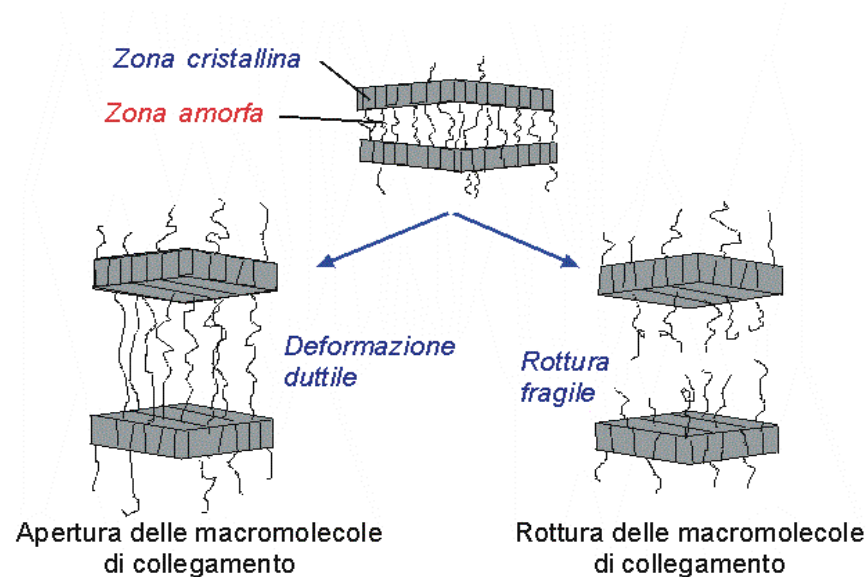
ROTTURA DUTTILE

Rigonfiamento ed assottigliamento della parete del tubo



ROTTURA FRAGILE

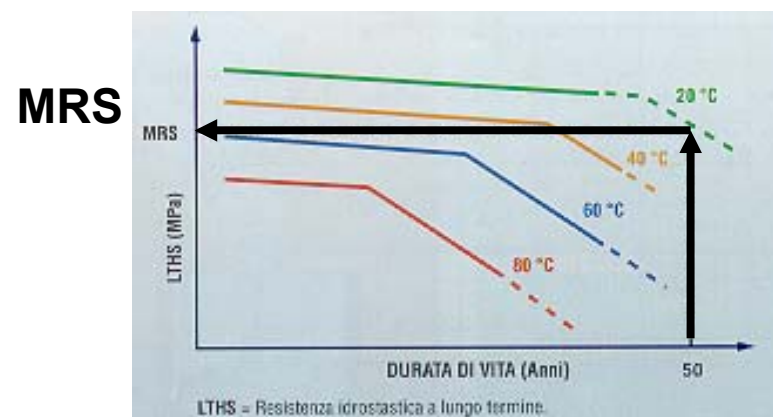
Fessurazione netta e longitudinale della parete del tubo



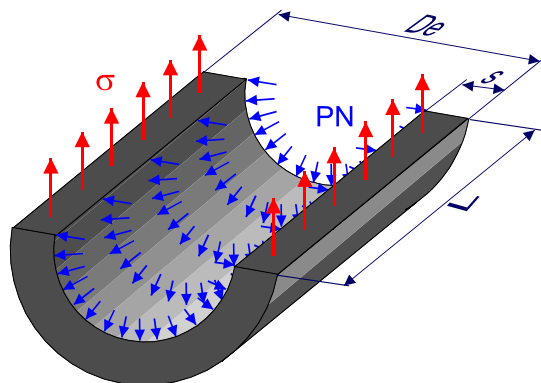
Attraverso le curve di regressione si ricava l'MRS

MRS = Valore minimo garantito del carico di rottura del materiale sottoposto ad una tensione circonferenziale per pressione idrostatica, alla temperatura di 20°C e per 50 anni di servizio continuo.

Vecchia designazione	MRS (MPa) Resistenza minima richiesta
PE 32	3,2
PE 40	4,0
PE 63	6,3
PE 80	8,0
PE 100	10,0



$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$$



Tensione circonferenziale

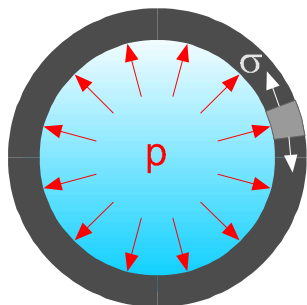
$$\sigma = PN \times 1/2 (De/s - 1)$$

De = Diametro esterno del tubo

s = Spessore del tubo

P = Pressione massima di esercizio

σ = Tensione circonferenziale



PN = Pressione nominale = Pressione massima di esercizio che un tubo/raccordo può sopportare continuamente per 50 anni ad una temperatura di 20°C

$$\text{Serie S} = \sigma / PN$$

essendo $S = 1/2 (De/s - 1)$ ed $SDR = De / s$

$$\text{SDR} = 2 S + 1$$

Trasporto gas
(UNI ISO 4437-UNI EN 1555)

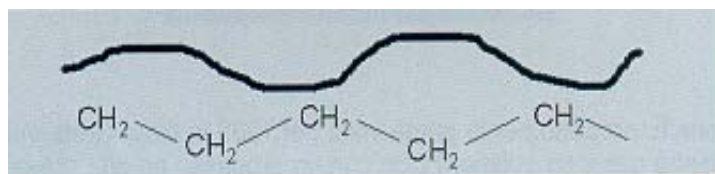
Trasporto acqua
(UNI 10910 – UNI EN 12201)

S 12,5	= SDR 26	=>	PN 6 (PE 80)	PN 8 (PE100)
S 8,3	= SDR 17,6	=>	PN 8 (PE 80)	PN 10 (PE100)
S 5	= SDR 11	=>	PN 12,5 (PE 80)	PN 16 (PE100)
S 3,2	= SDR 7,4	=>	PN 20 (PE 80)	PN 25 (PE100)

In Italia si adotta la Serie S 8 anziché la Serie S 8,3

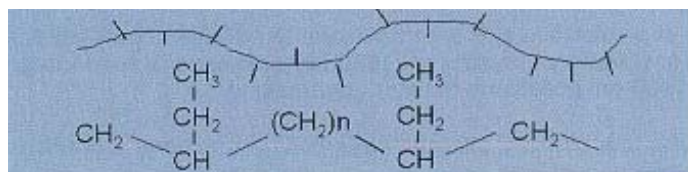
Resina	Anno di produzione	Sistema di produzione
1° Generazione	1960	Monomodale
2° Generazione	1980	Mono e Bimodale
3° Generazione	1990	Bimodale

Resine di 1° generazione



MRS 6,3 MPa , resina monomodale, non più prodotta, catena lineare omopolimerica

Resine di 2° generazione



MRS 8,0 Mpa , resina monomodale e bimodale
catena ramificata copolimerica (etilene-butene)

COPOLIMERO

Durante la polimerizzazione viene inserita una % di comonomero: 4 atomi di carbonio (**BUTENE**) o 6 atomi di carbonio (**ESENE**) per migliorare la struttura amorfa del polimero, origine delle caratteristiche meccaniche.

BIMODALE

Doppia polimerizzazione che avviene in due reattori separati collegati tra loro che permette l'inserimento del comonomero ed il controllo della distribuzione molecolare.

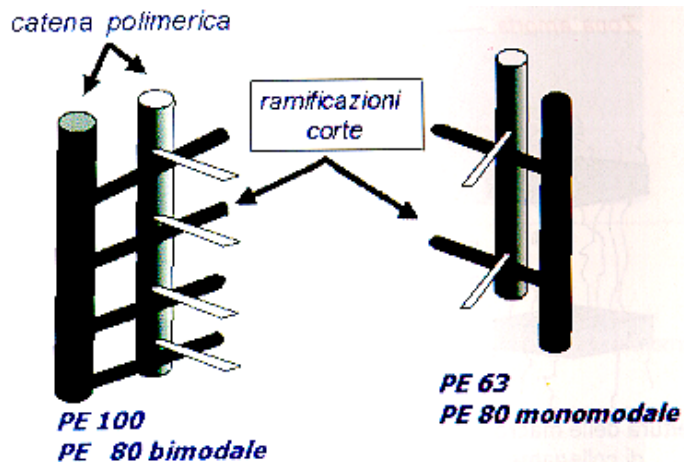
Si ottengono:

- buone caratteristiche meccaniche (necessità degli utenti)
- buona lavorabilità (necessità dei produttori)

Resine di 3° generazione :

MRS 10,0 Mpa , resina bimodale

catena ramificata copolimerica (etilene-butene)



Le resine della 3° generazione si differenziano dalle resine tradizionali per :

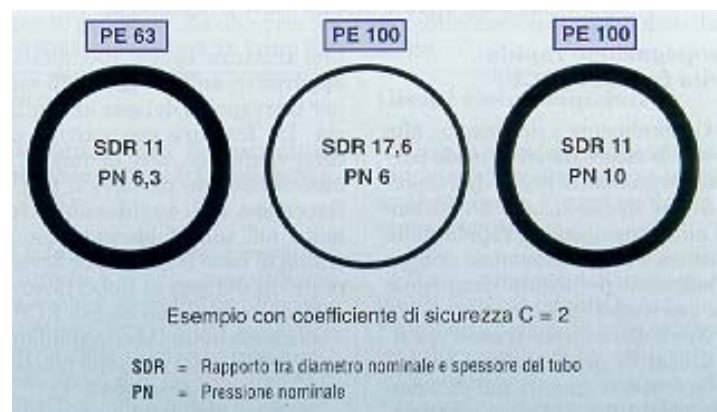
- Elevate caratteristiche meccaniche
 - Resistenza allo stress cracking
 - Resistenza alla propagazione rapida della frattura (RCP)
 - Resistenza alla fessurazione lenta (SCG)
 - Resistenza allo scorrimento plastico
-
- Introduzione selettiva di ramificazioni corte sulle macromolecole di collegamento
 - Incorporazione del comonomero nella macromolecola
 - Predeterminazione della localizzazione della ramificazione lungo la catena molecolare

Proprietà meccaniche del PE

PE 100 - Resine di terza generazione

Adoperando materiali della 3° generazione (MRS più alto=10 Mpa) a parità di dimensioni dei tubi otteniamo pressioni di esercizio superiori (MOP)

- a parità di **SDR** (= D_e/s) operiamo con **PN** maggiori
- a parità di **PN** e **De** otteniamo spessori più sottili, D_i più elevati e quindi portate maggiori



Con resine in PE 100 possiamo avere :

- tubi per gas fino a 10 bar (EN 1555, in Italia al max. 5 bar)
- tubi per acqua fino a 25 bar (UNI 10910 - UNI EN 12201)

All'aumentare della temperatura di esercizio la resistenza meccanica del PE diminuisce per effetto dello scorrimento viscoso

RIDUZIONE DELLA PRESSIONE DI ESERCIZIO PER $T > 20^{\circ}\text{C}$ (Norma UNI 10910)

Temperatura (°C)	Coefficiente di riduzione della pressione
20°	1
30°	0,87
40°	0,74

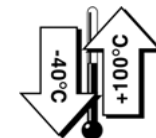
Esempio: variazione della PN

a 20° : 16 bar

a 30° = $16 \times 0,87 = 14$ bar

a 40° = $16 \times 0,74 = 12$ bar

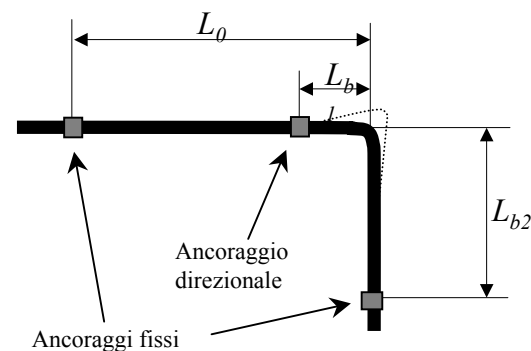
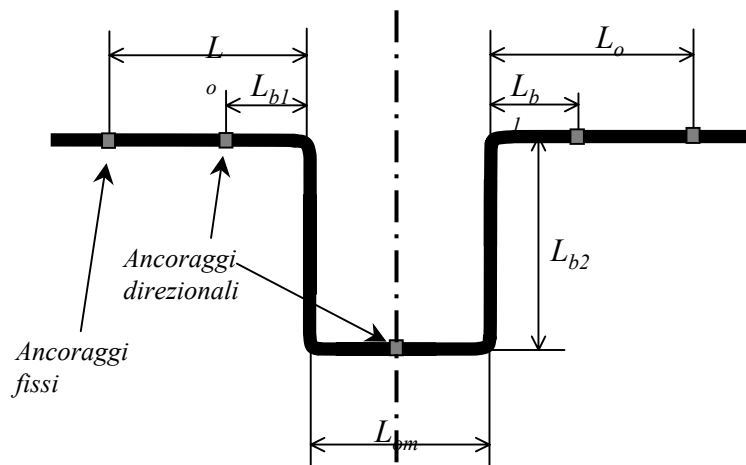
Bassa conduttività termica: **0,32 - 0,43 W/m°K**



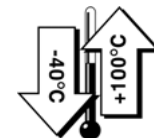
Elevato coefficiente di dilatazione termica: $\alpha = 0,2 \text{ mm/m } ^\circ\text{C}$ pari a circa 18 volte quello dell'acciaio

Per linee aeree: prevedere cambiamenti di direzione (omega, lire)

Per linee interrate: lasciare sempre una estremità della condotta libera e riempire lo scavo a tratte e sempre in una unica direzione



Coefficiente di dilatazione termica lineare $\alpha = 0,2 \text{ mm/m}^\circ\text{C}$



$$(L_2 - L_1) = \alpha * L * (T_2 - T_1)$$

Facciamo un esempio numerico:

Lunghezza tratto $L = 1.000 \text{ mt}$

$T_{\text{giorno}} = T_2 = 35^\circ\text{C}$

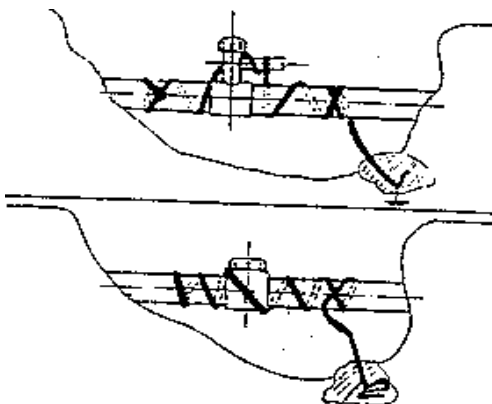
$T_{\text{notte}} = T_1 = 15^\circ\text{C}$

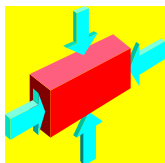
→ variazione T° giorno/notte $(T_2 - T_1) = 20^\circ\text{C}$

Variazione lunghezza tratto $(L_2 - L_1) = 0,2 * 1.000 * 20 / 1.000 = 4 \text{ mt} !!!!$



- Insensibile ad ogni forma di corrosione elettrolitica
- Non occorrono sistemi di protezione catodica delle condotte
- Il PE è un materiale dielettrico, però si carica elettrostaticamente
- Notevole resistività elettrica di volume e di superficie
- Provvedere alla messa a terra durante le operazioni di manutenzione





da

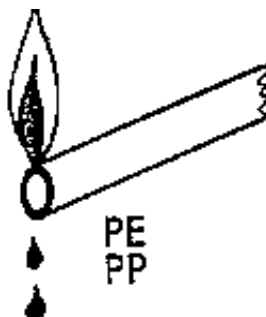


a



■ Stabilità agli agenti atmosferici : nerofumo 2% in massa (D.M. 24/11/84)

■ Stabilità alla fiamma : il PE non è autoestinguente, brucia e sgocciola

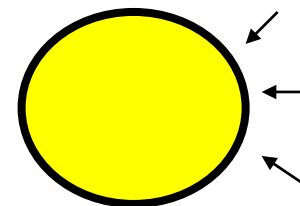




- Elevata resistenza agli agenti chimici che aumenta all'aumentare della densità e diminuisce con la temperatura
- A 20° C il PE è insolubile a tutti i solventi organici ed inorganici
- Oltre 60°C idrocarburi alifatici, aromatici e clorurati possono provocare rigonfiamenti
- Il PE non resiste all'acido nitrico ed all'acido solforico fumante
- Per le resistenze chimiche : **UNI ISO 7474**

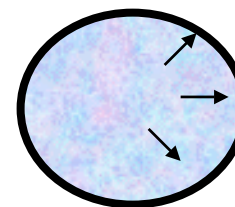
Permeabilità ai gas

- Permeabilità trascurabile a O_2 , N_2 , CO_2 , CH_4



Proprietà tossicologiche

- Limite massimo di migrazione materiali componenti la tubazione : 50 p.p.m.
- PE idoneo alla C.M.S. 102 del 02/12/1978 ed al DMS n°174



Resistenza chimica ai costituenti del gas

- Il PE è inerte agli odorizzanti (idrocarburi alifatici ed aromatici) impiegati nel condizionamento del gas

Resistenza alla corrosione del terreno

- Idoneità ad ambienti acidi/basici e prodotti organici presenti nel sottosuolo
- Il PE non costituisce substrato nutritivo per i batteri, funghi, spore
- Il PE non costituisce nutrimento per topi e roditori in genere

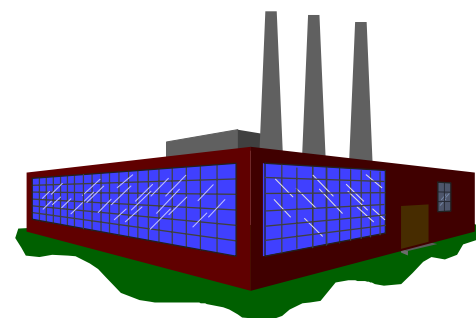
Comportamento agli agenti atmosferici

- Il PE puro soffre di invecchiamento precoce provocato dall'ossigeno dell'atmosfera se sottoposto all'azione prolungata dei raggi U.V.
- Il PE modificato con Carbon Black non presenta questi problemi

Applicazioni del PE



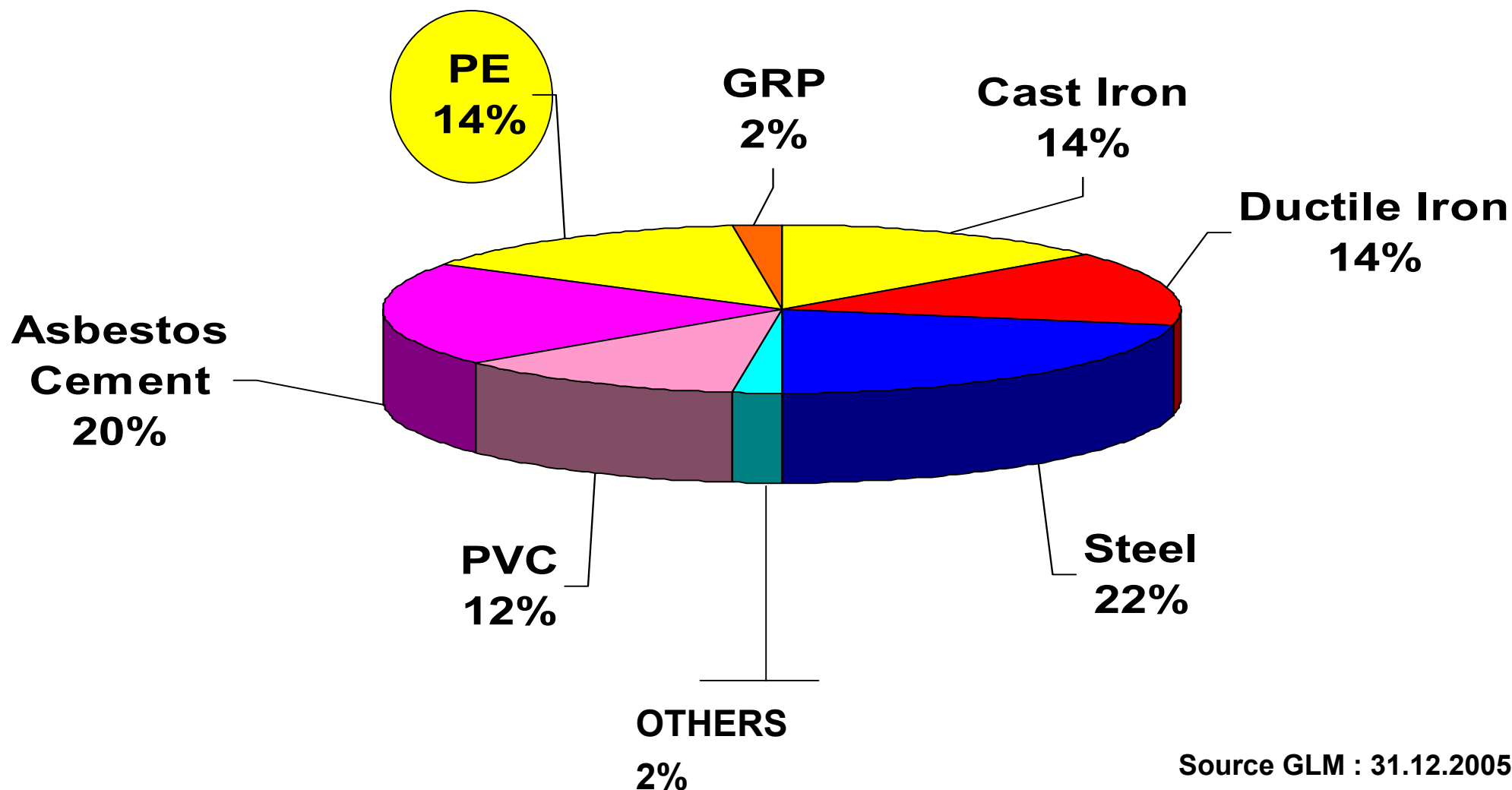
- 1868: viene prodotta negli USA la prima resina sintetica
- 1932: viene realizzato in Germania il PVC
- 1933: viene scoperto il PE presso i laboratori ICI in U.K.
- 1939: primo impianto ad alta pressione per la produzione di PEBD
- 1953: polimerizzazione del PE a “bassa pressione”
(processo Philips - Ziegler);
- Anni '60: prime applicazioni del PVC nelle reti di distribuzione gas;
- Anni '70: applicazioni sperimentali del PE nelle reti gas (0,02 bar)
tramite accordi locali tra Aziende e Comandi VV.FF.
- 24.11.84 : D.M. che legalizza l'impiego del PE nelle reti gas in Italia
- 16.11.99: D.M. che estende a 5 bar l'impiego del PE per gas



- Distribuzione acqua potabile (PE: da circa 30 anni)
- Distribuzione gas naturale e prodotti gassosi (PE: dal 1984)
- Impianti di irrigazione (PE,PVC)
- Reti antincendio (PE,PVC)
- Scarichi a mare (PE,PRFV)
- Drenaggi e scarichi fognari (liquami civili ed industriali) (PE, PP, PVC, PRFV)
- Trasporto liquidi alimentari (PE)
- Trasporto fluidi corrosivi (PE, PP, PRFV)
- Convogliamento fluidi di processo basico (PE, PVC) e acido (PVC)
- Trasporto di fluidi caldi (PP, PVDF)
- Movimentazione materiali solidi: sfarinati, cereali,inerti,fanghi (PE, PVC)
- Piping per industria chimica e petrolchimica (PE)
- Raffreddamento degli impianti (PE)
- Protezione cavi elettrici (sviluppo storico del PE)

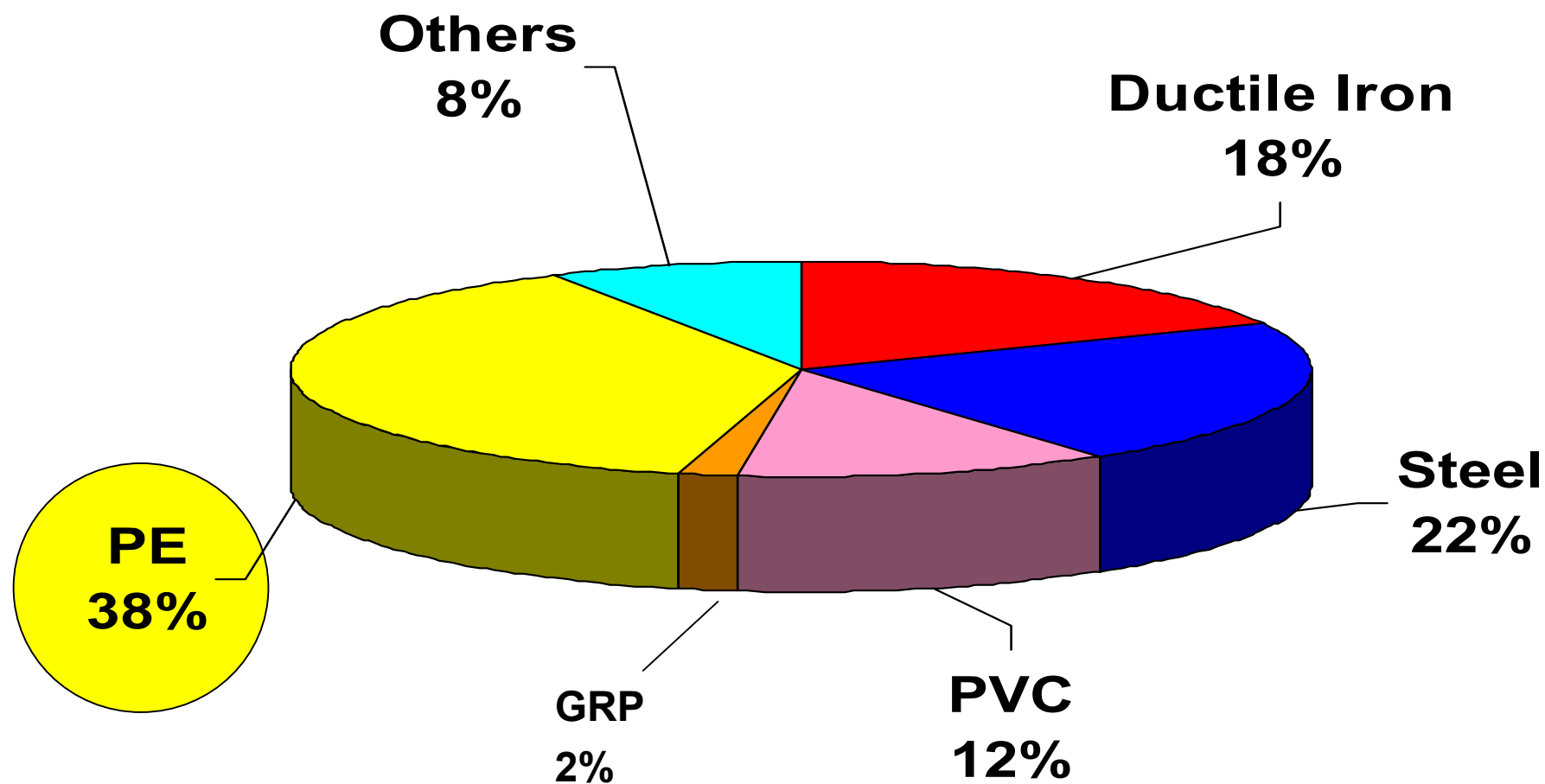


Water mains: NB 50-300



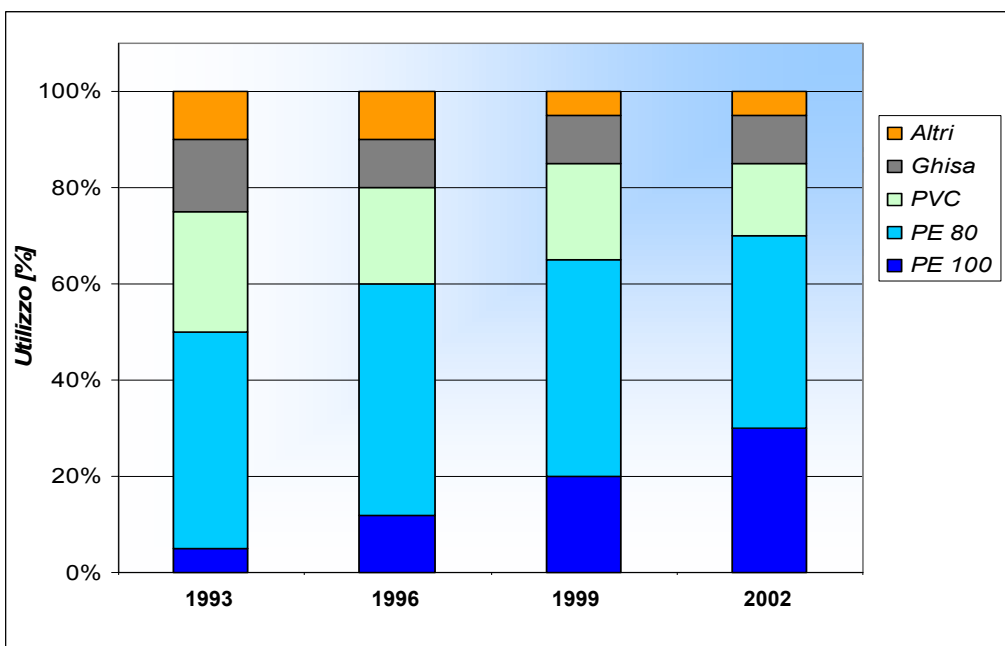
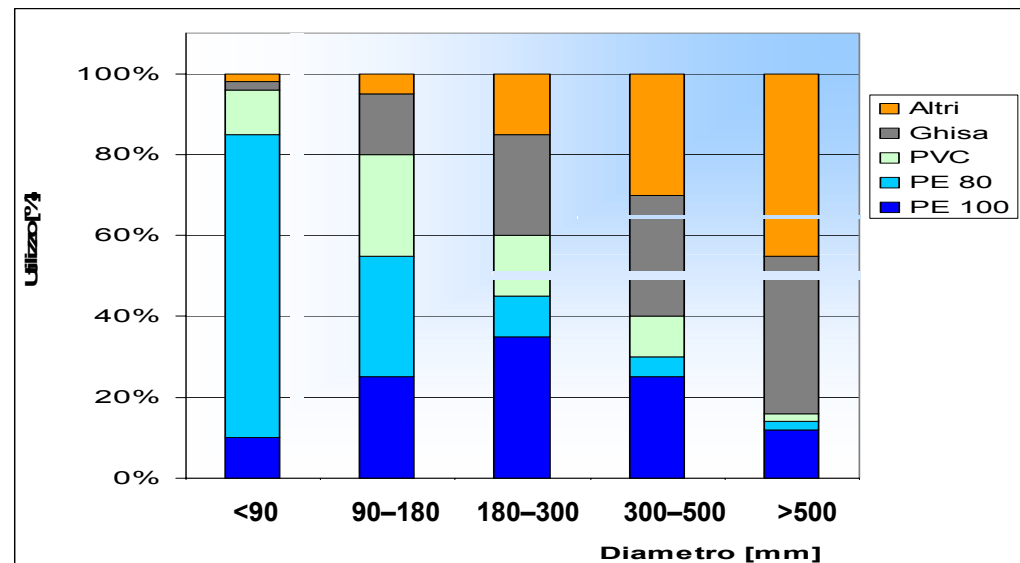
Source GLM : 31.12.2005

Water mains: NB 50-300



Source GLM : 31.12.2005

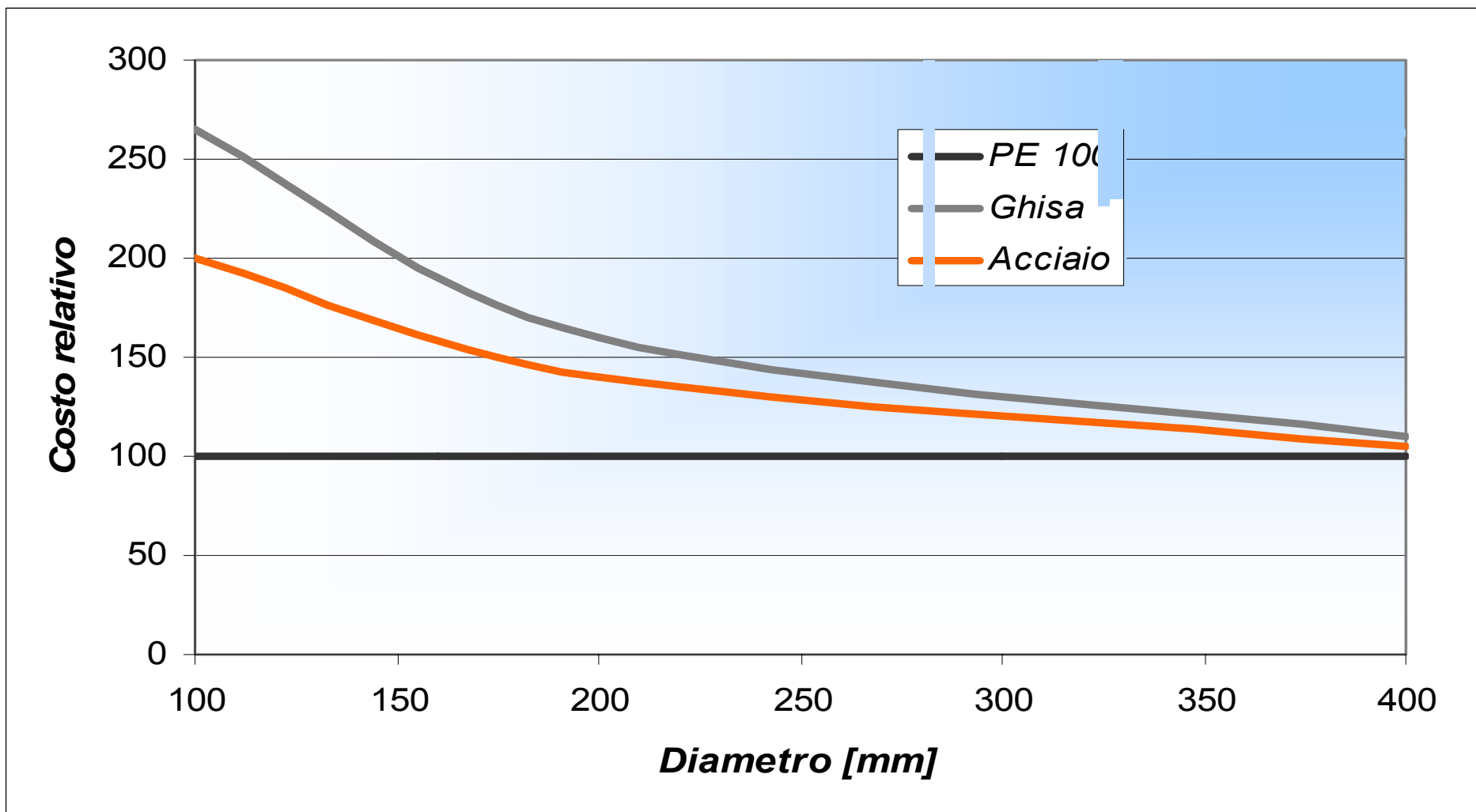
Previsione di ripartizione del mercato per la realizzazione di reti idriche



Ripartizione del mercato (in km/km_{tot}) per la realizzazione di reti idriche

Dati relativi all'Europa Occidentale 2002
(fonte: Market Surveys)

Confronto costi di trasporto acqua in Italia con tubi di diverso materiale



Fonte: s80

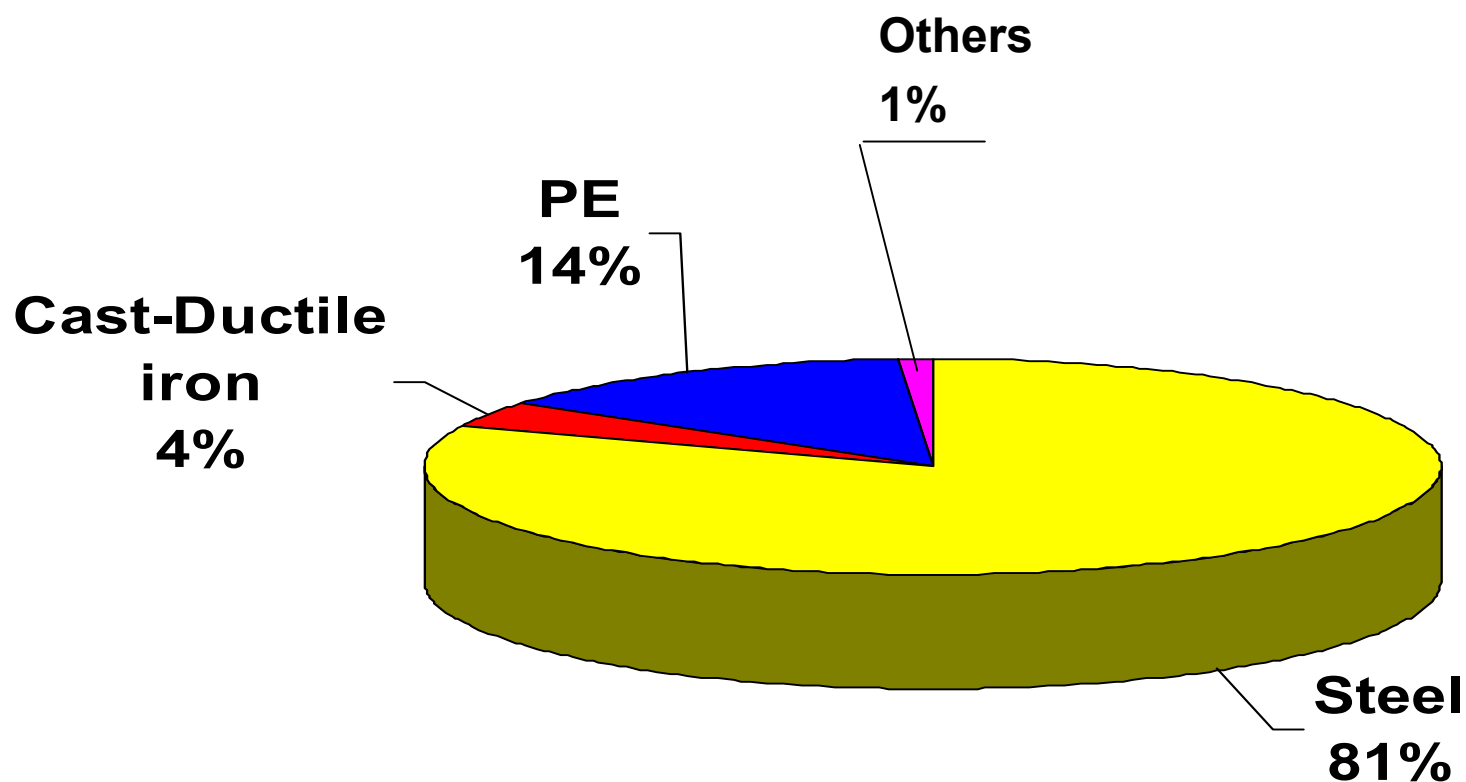
Utilizzo del polietilene nelle reti di distribuzione del gas

- 2.019 Comuni serviti dalle Aziende indagate **(42%)**
- 8,277 Mio utenti gestiti dalle Aziende indagate **(56%)**
- 68.039 Km di reti in gestione dalle Aziende indagate

- **PE al 31.12.91 : 1.881 Km**
- **PE al 31.12.97 : 5.160 Km = 7,5% della rete**

Fonte ATIG : 31.12.1997

Gas pipelines up to NB 400 mm



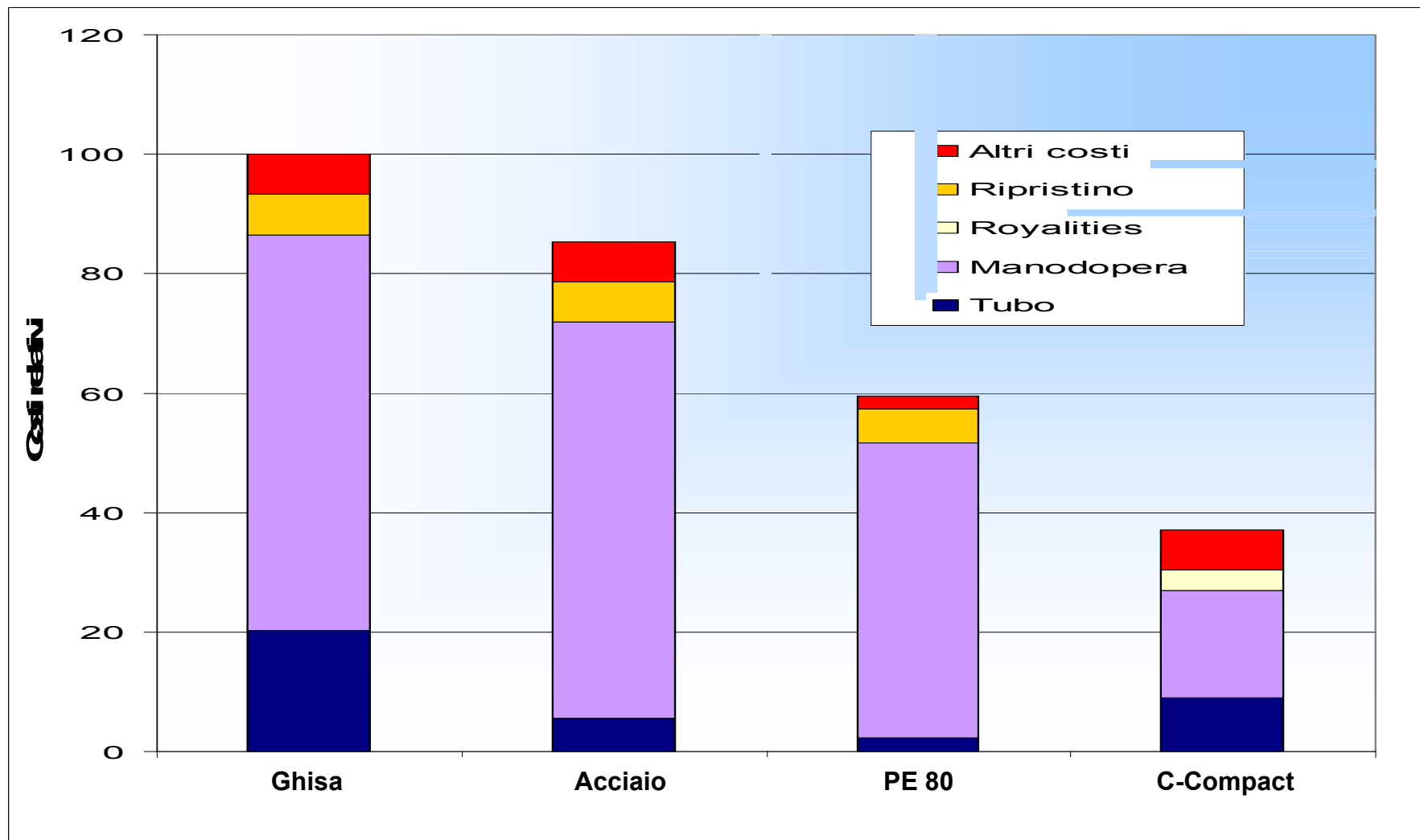
High/Medium pressure : 76.600 Km

Low pressure : 120.000 Km

Source:
Autorità dell'Energia

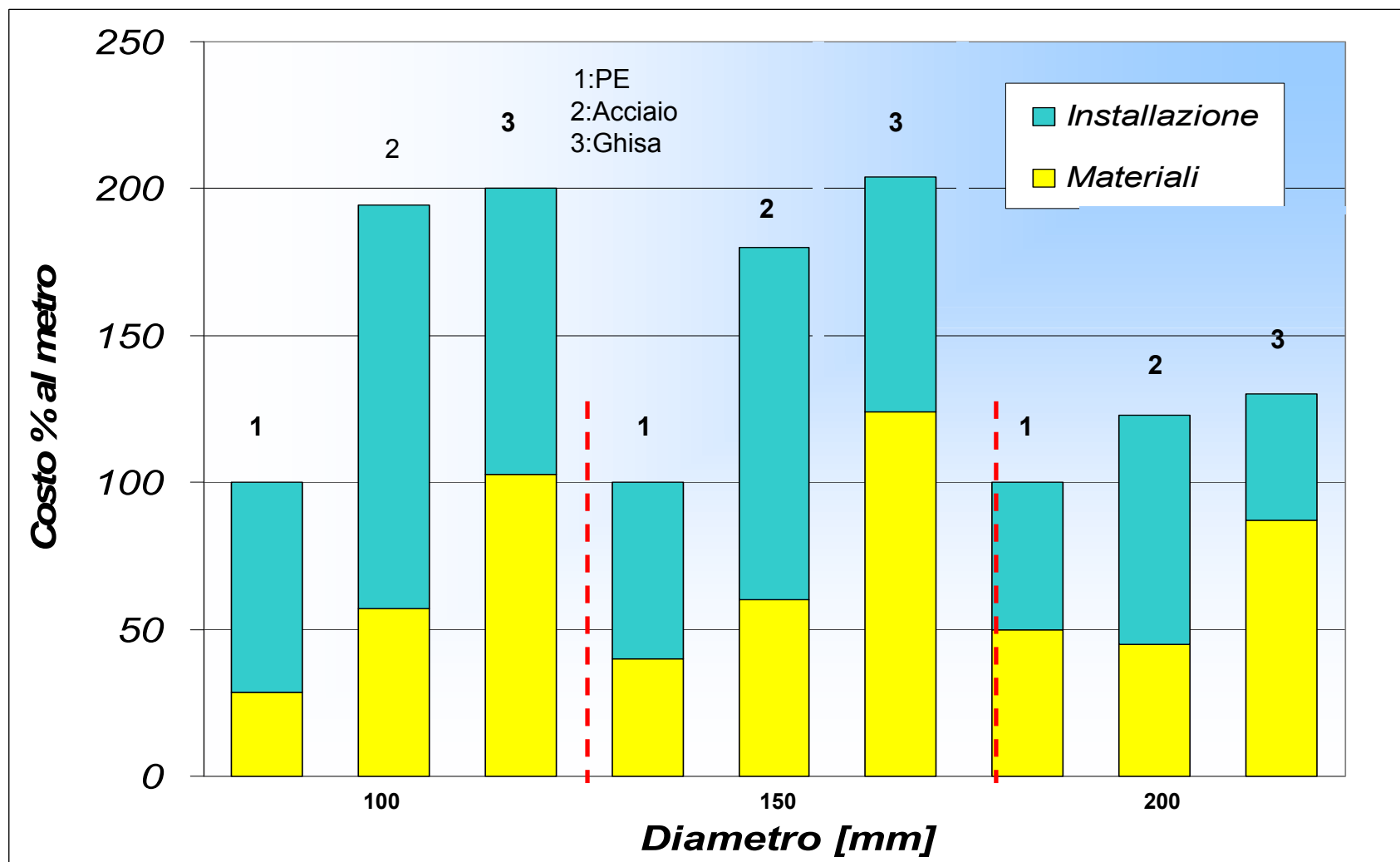
PAESE	LTOT. ('000 km)	L in PE (KM)	% reti in PE
UK	252	110	44%
BELGIO	40,1	17,7	44%
FRANCIA	137	63,5	46%
OLANDA	108	12	11%
GERMANIA	270	93	34%
ITALIA	165	7	4%
DANIMARCA	16	1,4	9%
SPAGNA	14,8	11,7	79%

Fonte SOLVAY 2001



Dati relativi all'Europa Occidentale 2002
(fonte: Market Surveys)

Costi complessivi % per reti con diversi materiali



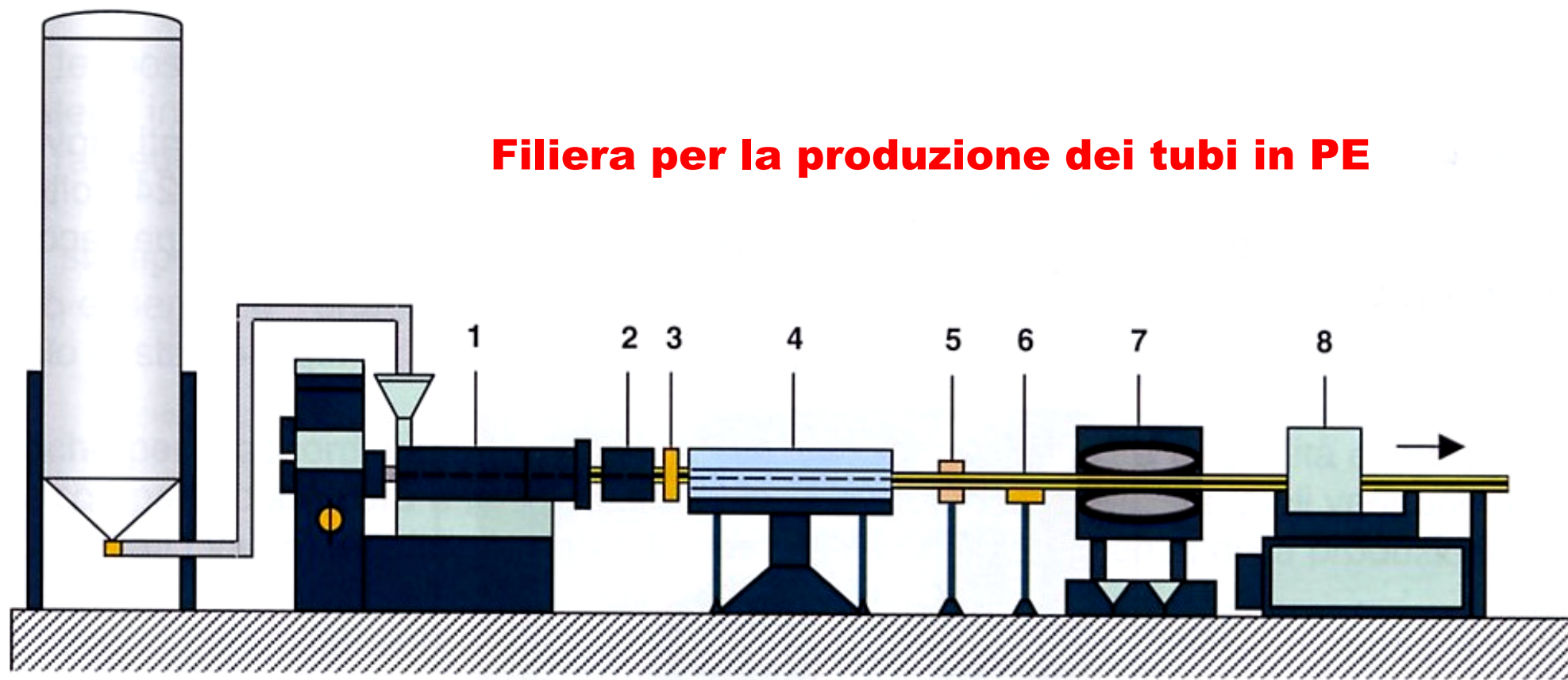
Fonte: DVGW 1998

Produzione di manufatti in PE



Produzione di tubi in PE

Filiera per la produzione dei tubi in PE



1 – Estrusore
2 – Testa di estrusione
3 – Calibratore

4 – Bacini di raffreddamento
5 – Controllo dello spessore
6 – Marcatrice

7 – Dispositivo di traino
8 – Taglierina
9 – Silos di stoccaggio

- Materia prima addizionata con stabilizzanti, coloranti, antiossidanti ed additivi prima della granulazione
- Raffreddamento: spruzzo di acqua nebulizzata od immersione in vasca
- **De < 1600 mm:** **tubi per estrusione**
- **De ≥ 1600 mm:** **tubi spiralati su mandrino rotante**
- UNI 10910 : si possono utilizzare materiali rilavorabili della stessa composizione, ma non riciclati



- **Calibrazione:** in depressione ($D_e < 250$ mm), sotto pressione (per grandi D_e)
- **Raffreddamento:** spruzzo di acqua nebulizzata od immersione in vasca
- **Fusione** $T = 190^\circ - 220^\circ$ attraverso resistenze elettriche
- Estrusori monovite/bivite con rapporto $L/D = 23-27$



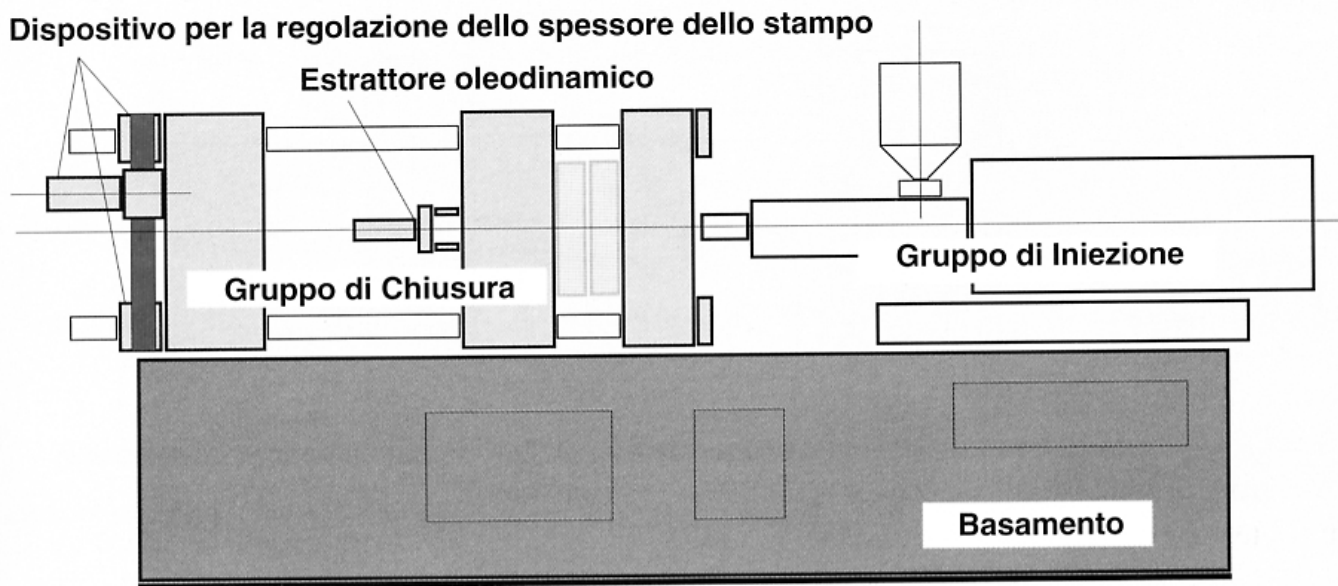
Zone della vite

- Area di fusione
- Area di compressione
- Area di omogeneizzazione
- Area di decompressione
- Area di dosaggio



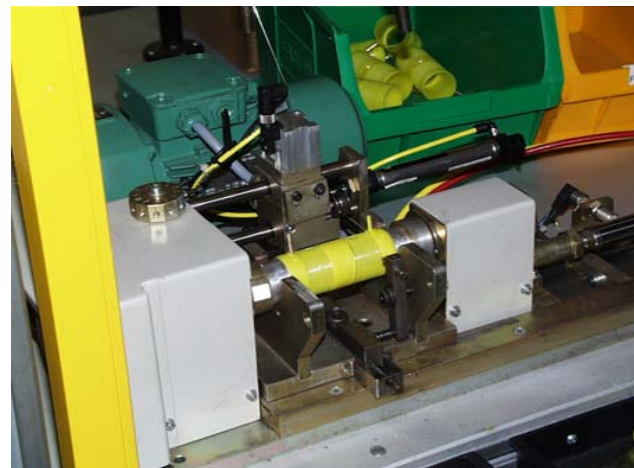
Produzione di raccordi in PE

Processo di produzione : stampaggio per iniezione a una o più impronte



Rappresentazione schematica di una pressa

Varie tecnologie per inserire la resistenza elettrica:
raccordi E/F (con preforma o costampata)



Processo di produzione : stampaggio per iniezione a una o più impronte

Estrusione, preriscaldamento, omogeneizzazione, iniezione, inserimento a pressione nello stampo, raffreddamento (passaggio da 200°C a 70°C), taglio materozza



Alimentazione presse



Pressa per staffe



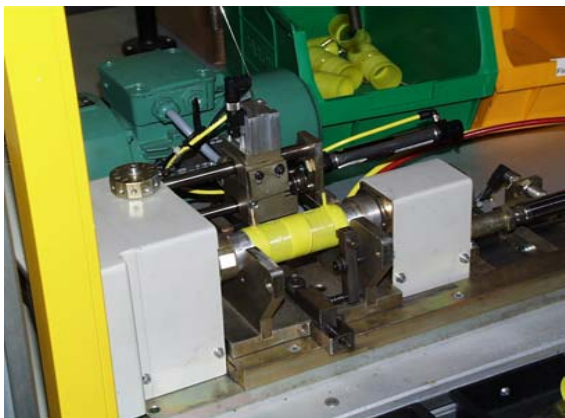
Estrusori



Stampaggio
manicotto D.400



Oltre certi D_e e per figure particolari: raccordi a settori con lavorazione meccanica, saldando spezzoni di tubo o preformati a caldo



Inserimento spire nel preform



Vasche per prova in pressione



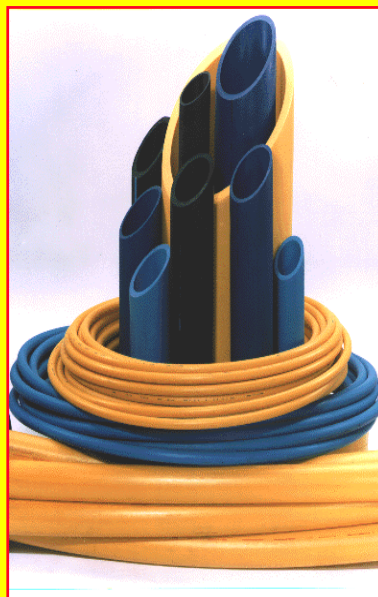
Test di pressione



Test ai raggi X per verifica eventuale presenza di cavità



Tubi e raccordi in PE



Disponibilità di tubi in PE

Tubi PE per acqua – UNI EN 12201-2

Gamma dimensionale : D.10 – D.1600 mm

SDR 26 – SDR 17,6 – SDR 11 - SDR 7,4

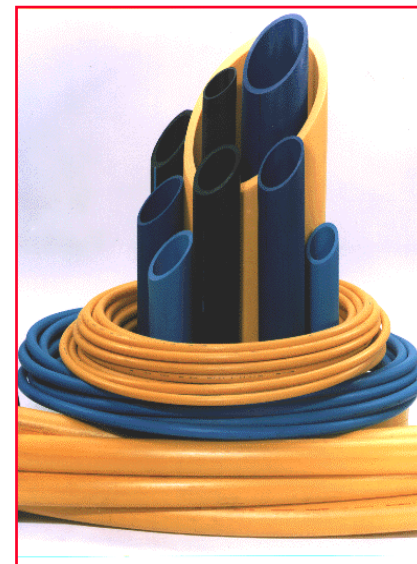
Tubi per trasporto di liquidi alimentari ed acqua potabile fino a 40°C (D.M. 174 – 06.04.2004)

Tubi PE per gas – UNI EN 1555-2 , UNI EN ISO 4437

Gamma dimensionale : D.20 – D.630 mm

Serie di spessori : S12,5 – S 8,3 – S 5

Spessore minimo : **3 mm**



Tubi in rotoli fino al D.110 mm

Tubi PE per applicazioni industriali – UNI10953

Gamma dimensionale : D.10 – D.1600 mm

Tubi PEBD per irrigazione – UNI 10955

Gamma dimensionale : D.40 – D.110 mm



UNI 10910

Premessa nazionale alla UNI EN 12201

Valori di SDR che possono avere i tubi ed i raccordi ed il tipo di materiale che dovrà essere usato in funzione del PN

PE 80	SDR 26	SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
	PN 5	PN 8	PN 12,5	PN 20
	de \geq 160	de \geq 50	de \geq 32	de \geq 20
	rotoli esclusi	rotoli $50 \leq de \leq 75$	rotoli $32 \leq de \leq 110$	rotoli $20 \leq de \leq 110$
	barre de \geq 160	barre de \geq 50	barre de \geq 32	barre de \geq 20
PE 100	SDR 26	SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
	PN 6,3	PN 10	PN 16	PN 25
	de \geq 250	de \geq 50	de \geq 32	de \geq 20
	rotoli esclusi	rotoli $50 < de < 75$	rotoli $32 \leq de \leq 110$	rotoli $20 \leq de \leq 110$
	de \geq 250	barre de \geq 50	barre de \geq 32	barre de \geq 20

UNI 10910 : si possono utilizzare materiali rilavorabili della stessa composizione, ma non riciclati

- Marcatura indelebile di colore blu, continua su almeno due generatrici diametralmente opposte e ripetuta ad intervalli \leq mt.1
- indicazione del materiale e della classe (PE/A-PE/B) (ora solo PE80 o PE100)
- indicazione del tipo di applicazione : **312 acqua**
- il diametro esterno del tubo (D_e) ed a volte lo spessore
- indicazione della pressione nominale PN, a volte viene aggiunto anche SDR 11 o SDR 17
- marchio di fabbrica : XXX
- indicazione del periodo di produzione (mese e anno)
- codice che contraddistingue il nome commerciale ed il produttore della resina: XXX
- numero distintivo IIP del fabbricante di tubo (eventuale)
- norma di applicazione (UNI EN 12201) (eventuale)

XXXX IIP xxx UNI EN 12201 D.110x10 SDR 11 PN12,5 PE80 312 10 03 Dh

XXXX IIP

- Marcatura indelebile di colore giallo, continua su almeno due generatrici diametralmente opposte e ripetuta ad intervalli \leq mt.1
- indicazione del materiale e della classe (PE/A-PE/B) (ora solo PE80 o PE100)
- indicazione del tipo di applicazione : **316 gas**
- la parola “GAS”
- il diametro esterno del tubo (D_e)
- indicazione della Serie (S12.5 - S8.3 - S5), a volte viene aggiunto anche SDR 11 o SDR 17
- marchio di fabbrica : XXX
- indicazione del periodo di produzione (mese e anno)
- codice che contraddistingue il nome commerciale ed il produttore della resina: XXX
- numero distintivo IIP del fabbricante di tubo (eventuale)
- norma di applicazione (UNI EN 1555 – UNI ISO 4437) (eventuale)

UNI EN 1555 PE80 D.110 S5 SDR 11 GAS UNI 316 IIP XXX 10 03 Dh

UNI EN



NORMATIVE

- UNI 8849 : raccordi T/T per condotte gas (esaurita)
- UNI 8850 : raccordi E/F per condotte gas (esaurita)
- UNI EN 1555-3 : raccordi E/F e T/T per condotte gas (sostituisce UNI 8849-8850)
- UNI EN 12201-3 e UNI 10910: raccordi T/T ed E/F per condotte acqua (sostituisce UNI 7612)
- UNI EN 1519-1 : raccordi per scarico all'interno dei fabbricati (sostituisce UNI 8452)

Pigmentazione e nerofumo

Tubi e raccordi acqua e gas



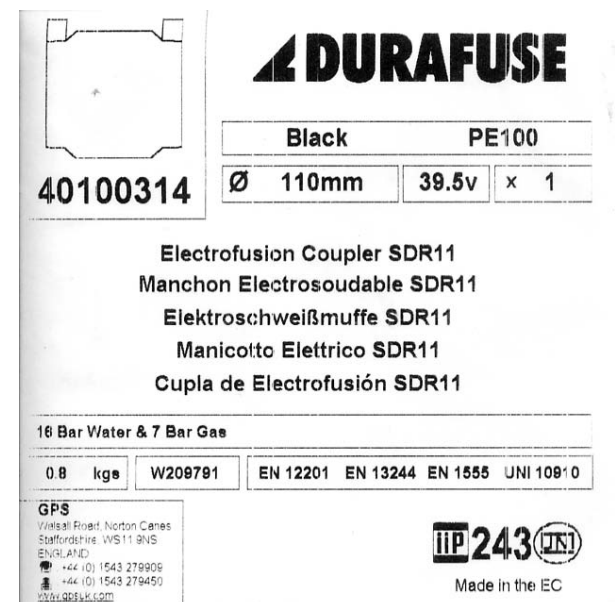
- UNI 10910 (UNI EN 12201) impone il nerofumo non inferiore al 2% in massa
- UNI EN 12201 ed UNI EN 1555 fissano anche la pigmentazione:
- Tubi neri con strisce blu o solo blu (per acqua), neri con righe gialle o gialli (per gas)
- I raccordi possono essere neri, blu o gialli
- Italia: paese a forte insolazione media meglio tutti neri!!!!

Marcatura minima sui raccordi

- nome del fabbricante o marchio di fabbrica
- diametro nominale e serie del tubo/SDR
- informazioni sul fabbricante

Marcatura minima sull'etichetta

- norma di riferimento (UNI EN 12201 o UNI EN 1555)
- materiale e designazione (PE80 – PE100)
- classe di pressione in bar (es. PN12,5)
- tolleranza, solo per i raccordi con codolo (es. Grado A)



Raccordi in PE

Raccordi TT a codolo corto

Mancando la profondità di calettamento non sono adatti per sistemi ad elettrofusione, ma solo T/T

Raccordi TT a codolo lungo

Hanno una profondità di calettamento sufficiente (quota L) per essere utilizzati con sistemi ad elettrofusione e T/T

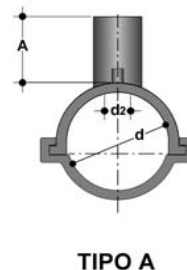
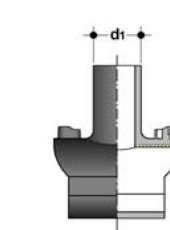
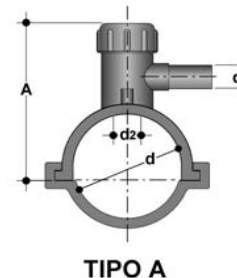
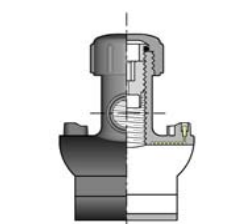
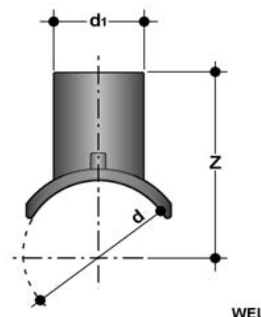
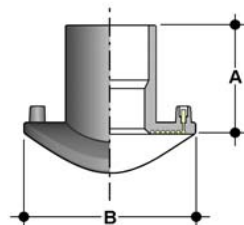
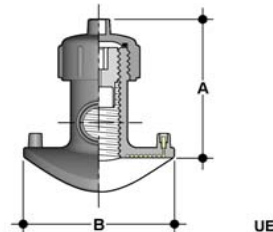
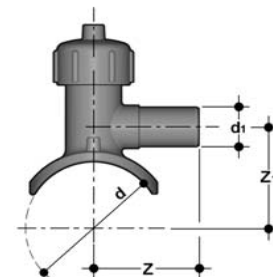
Raccordi EF monofilari

Raccordi EF bifilari

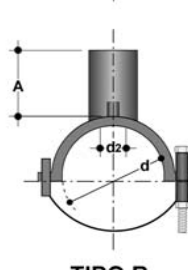
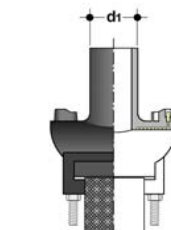
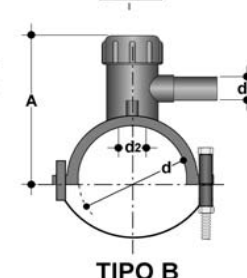
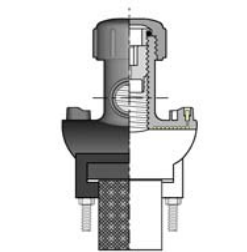


Raccordi elettrofusione in PE 80 – PE 100

- Manicotti (fino al D. 630 mm)
- Riduzioni
- Gomiti a 45° e gomiti a 90°
- Tees a 90°
- Tees ridotti a 90°
- Fine linea
- Collari e selle di presa in carico
- Collari e selle di presa in bianco
- Collari di presa per palloni otturatori
- Raccordi di transizione Pe/acciaio e PE/ottone



TIPO A



TIPO B

**Raccordi in PE 80 e PE 100 : SDR 17, SDR 11, SDR 9, SDR 7,4
(a codolo lungo e codolo corto)**

- Gomiti a 45°
- Gomiti a 90°
- Riduzioni
- Tees a 90°
- Tees ridotti
- Croci
- Calotte di fine linea
- Collari per flange (cartelle)



Raccordi a settore

- Curve a 30°, 45°, 60°, 90°, Tees, Tees ridotti

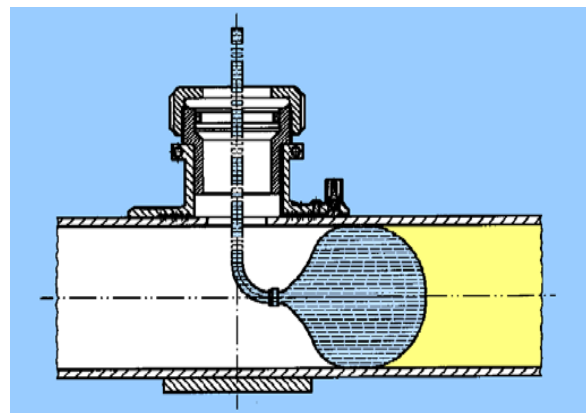


Posa in opera e collaudo



RETE GAS IN BASSA PRESSIONE

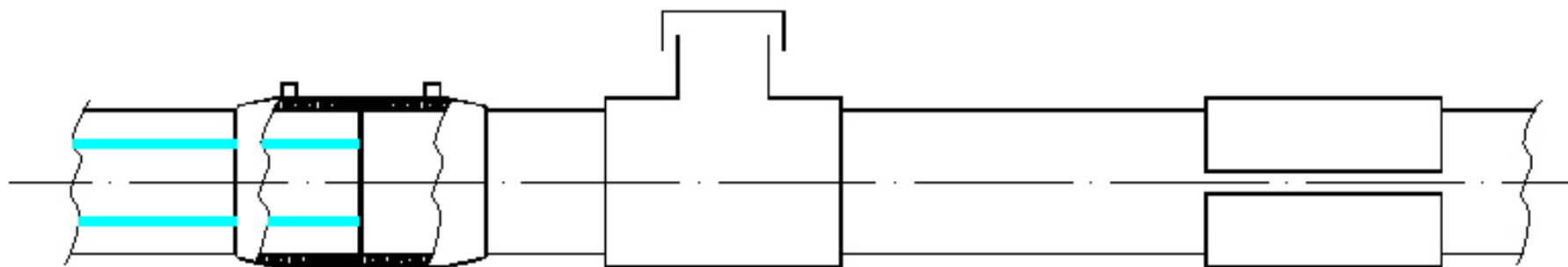
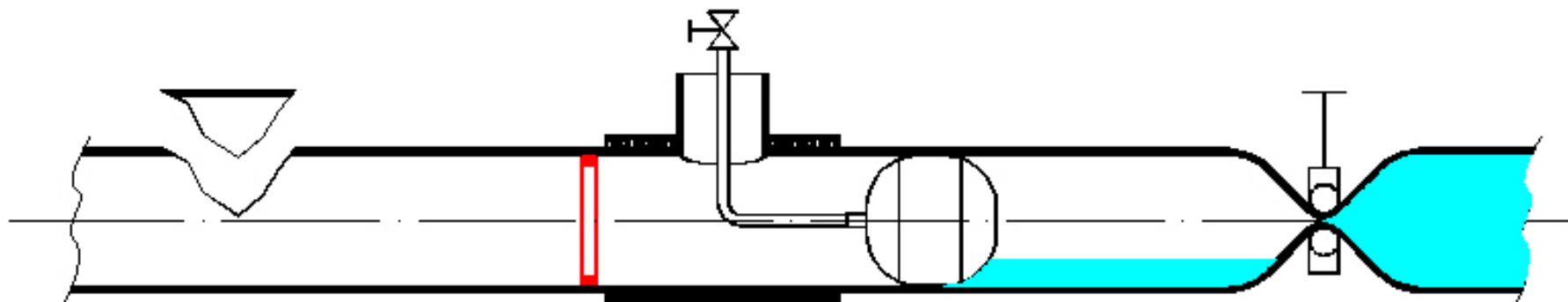
- Ridurre la pressione
- Usare palloni otturatori
- Forare la condotta, usare pezzi speciali
- E' possibile una modesta fuoriuscita di gas



RETE GAS MEDIA PRESSIONE

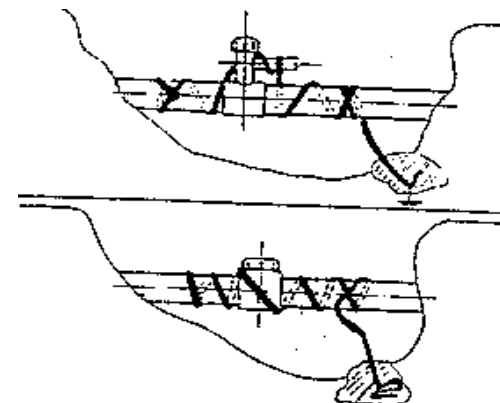
- Ridurre la pressione
- Usare schiacciatubi adeguato all'SDR
- Usare staffe inox per il ritorno alla circolarità del tubo di PE





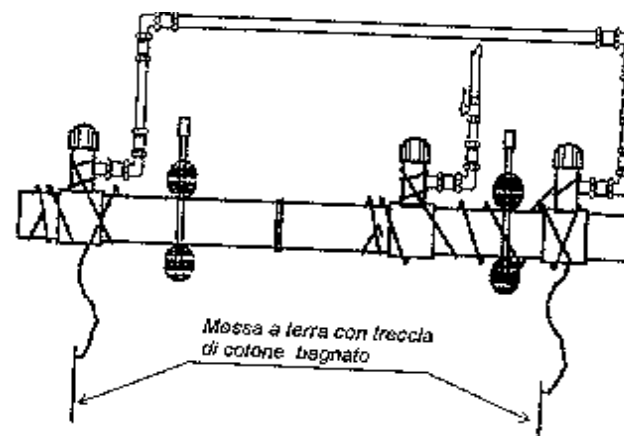
PREVENZIONE CONTRO LE CARICHE ELETTROSTATICHE

Avvolgere la condotta con treccia umida di cotone o treccia di rame



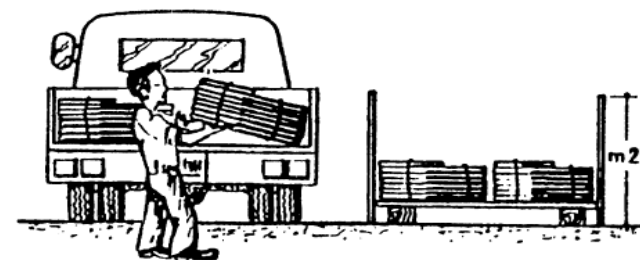
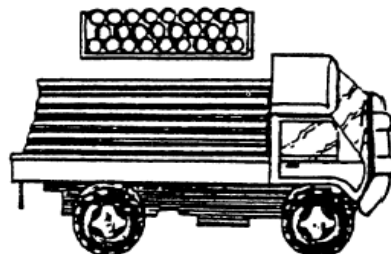
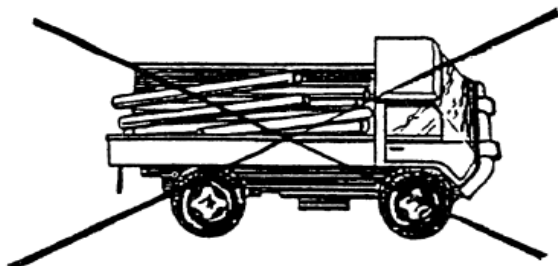
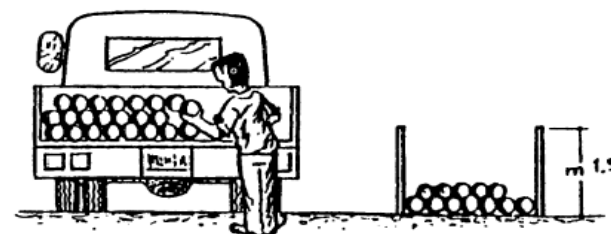
RETE GAS IN ESERCIZIO

Intervenire per mezzo di by-pass

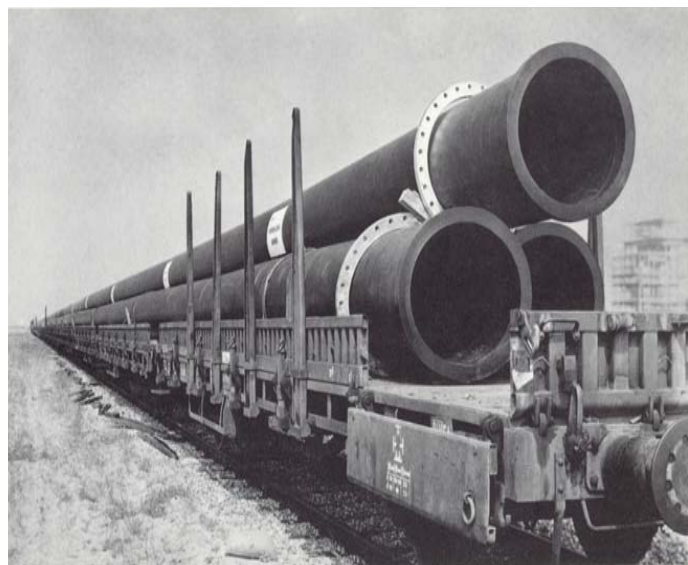


D.LL.PP. 12.12.1985

Raccomandazioni IIP n°7 e n°10



- Utilizzare mezzi idonei per le operazioni di trasporto dei tubi e dei raccordi
- Accatastare ordinatamente i tubi con tappi alle estremità
- Verificare che i raccordi E/F siano entro sacchetti plastificati



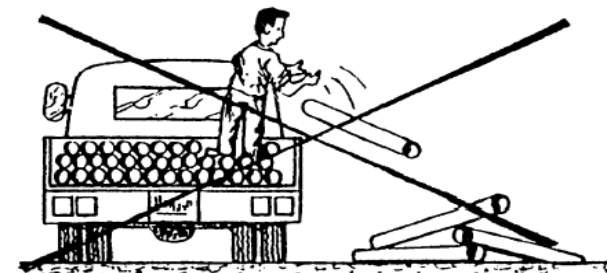
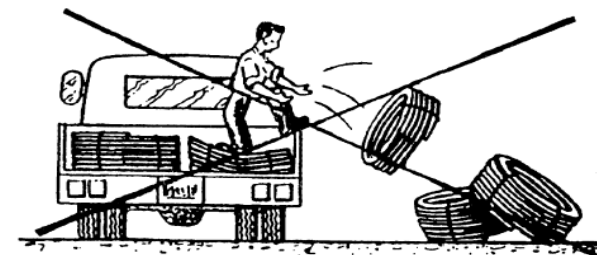
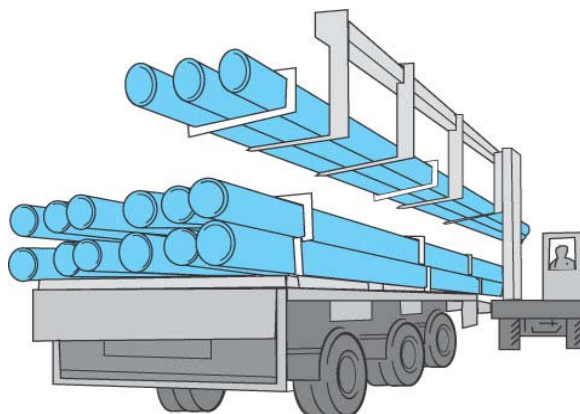
.... con mezzi moderni



... e con mezzi più tradizionali

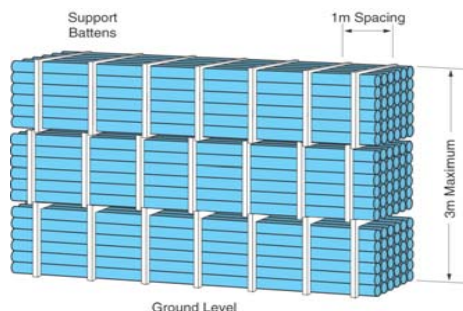
D.LL.PP. 12.12.1985

Raccomandazioni IIP n°7 e n°10

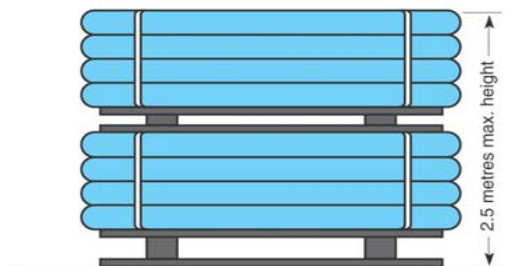


- Utilizzare mezzi idonei per le operazioni di carico e scarico dei tubi e dei raccordi
- Non strisciare i tubi sul terreno e non farli rotolare (possibili intagli!!!)
- Usare imbracature di canapa e nylon per il sollevamento dei tubi
- Non scaricare in modo violento i raccordi, le barre ed i rotoli di PE dal camion

Tubi in barre : altezza di accatastamento non superiore a **1,5 mt**



Tubi in rotoli : orizzontali con **H_{max} 2 mt**

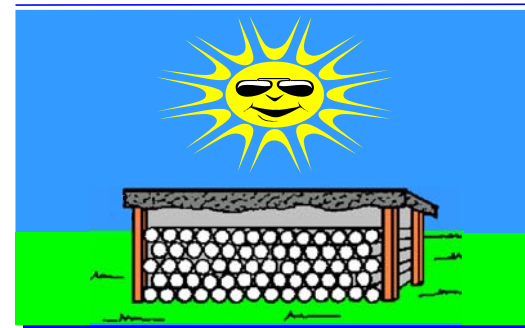


Tubi in barre con $D > 75$ mm : stoccaggio in rastrelliera



Proteggere i tubi in PE dai raggi solari con tettoie

Immagazzinamento a lungo termine tubi PE



N.B.: Non porre in opera tubi stoccati per oltre 2 anni

Posa di tubazioni in PE per reti gas

Distanze dai fabbricati (D.M. 24.11.84)

Il **D.M. 24.11.84** prevede distanze minime di sicurezza delle tubazioni dai fabbricati per condotte di 4° e 5° Specie

Non sono invece previste distanze minime di sicurezza per condotte di 6° e 7° specie

- Categoria di posa A : mt, 2,00
- Categoria di posa B, C : mt. 1,00
- Categoria di posa D : nessuna prescrizione

Il D.M. 16.11.1999 ha così modificato il D.M. 24.11.84

“Per le tubazioni di PE con $De < 50$, destinate all'alimentazione dei fabbricati in derivazione dalle condotte principali, non vengono prescritte distanze di sicurezza a condizione che i tubi non entrino nel fabbricato e siano adeguatamente protetti dalle sollecitazioni meccaniche nella parte interrata”.

Posa di tubazioni in PE per reti gas

Distanze dai fabbricati (D.M. 24.11.84)

Categoria Di posa A	Tronchi posati su terreno con manto impermeabile, intendendo per tali: asfalto, lastroni di pietra e di cemento ed ogni altro manufatto simile.
Categoria Di posa B	Tronchi posati su terreni sprovvisti di manto superficiale impermeabile, purché tale condizione sussista per una striscia di larghezza di almeno 2,00 m e coassiale alla condotta.
Categoria di posa C	Tronchi della categoria A nei quali si provveda al drenaggio dei gas costituendo al di sopra della tubazione, e lungo l'asse di questa, una zona di permeabilità notevole e comunque superiore a quella del terreno circostante, utilizzando ghiaia, mattoni forati e similari e collocando almeno ogni 150 m dispositivi di sfiato. Ogni tronco drenato, della lunghezza massima di 150 m deve essere chiuso alle estremità.
Categoria di posa D	Tronchi contenuti in speciali manufatti o tubi in muratura o cemento e opportunamente diaframmati e provvisti di sfiati verso l'esterno.

Posa di tubazioni in PE per reti gas

Profondità di interramento

Materiale della condotta	Profondità d'interramento in relazione alla specie della condotta			
	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a
Acciaio	0,90	0,90	0,60	0,60
Ghisa sferoidale	0,90	0,90	0,60	0,60
Polietilene	0,90	0,90	0,60	0,60

D.M. 24.11.84, D.M. 12.12.85, UNI-CIG 9034, UNI-CIG 9165

Profondità minima di interramento in f (specie della condotta e sede di posa)

Condotte di 4° e 5° specie	: 0,90 m
Condotte di 6° e 7° specie	: 0,60 m



**Tali profondità valgono anche per
tubi in acciaio e ghisa sferoidale**

Profondità inferiori per:

- **Terreni di campagna (ondulazioni, fossi di scolo...) : 0,5 m (brevi tratti)**
- **Terreni rocciosi : 0,4 m**
- **Zone non soggette a traffico veicolare : 0,4 m**

**(se la tubazione è posta a 0,50 m
dal bordo carreggiata)**

E' consentita una profondità minore purché si provveda alla protezione della condotta (es. tubi guaina in acciaio/ghisa sferoidale, piastre in cemento,cunicoli), es. in caso di interferenze

Nei tubi guaina inserire distanziatori + tappi di sfiato

LINEE EXTRAURBANE : valgono le Norme del Ministero dei Trasporti

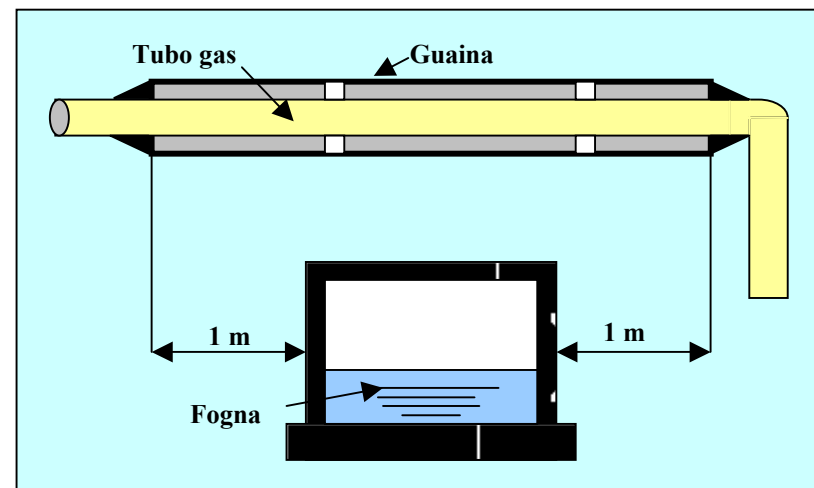
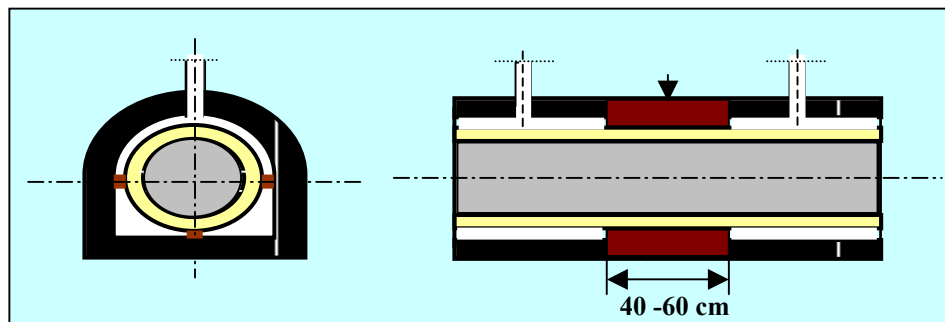
LINEE URBANE : profondità minima di interramento per attraversamenti di linee tranviarie

- Condotte 4° e 5° Specie + tubo guaina che sporga di 1 m dalla rotaia più esterna: 1,0 m
- Condotte 6° e 7° Specie + tubo guaina che sporga di 1 m dalla rotaia più esterna : 0,5 m

In caso di incroci con cunicoli e fognature prevedere tubo guaina:

Sovrappassi : 1 m oltre l'incrocio

Sottopassi : 3 m oltre l'incrocio

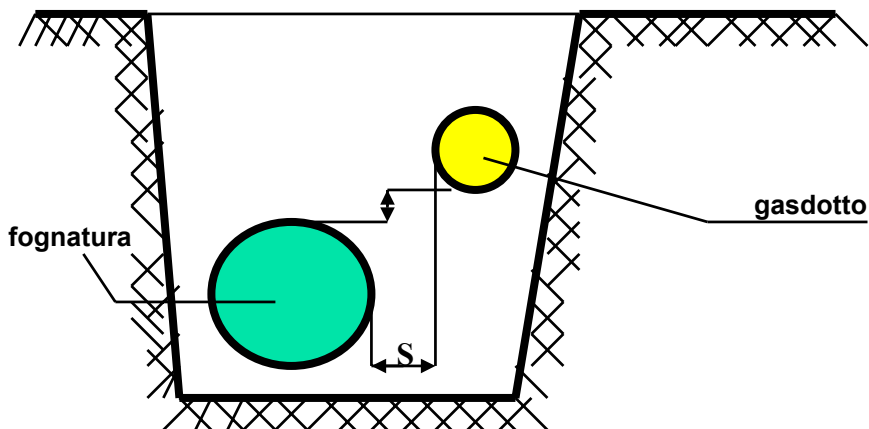
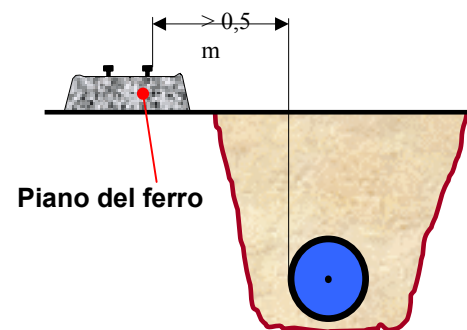


LINEE EXTRAURBANE : valgono le Norme del Ministero dei Trasporti

LINEE URBANE : distanza minima tra tubo e rotaia della linea tranviaria: **0.5 m**

In caso di parallellismo con sopra e sottopassi di canalizzazioni (cunicoli, fognature) mantenere sempre le seguenti distanze:

- **Condotte 4° e 5° Specie** : **0,5 m o tubo guaina**
- **Condotte 6° e 7° Specie** : **spazio per manutenzioni**
- **Oltre 150 m di parallellismo:** **diaframmi e sfiati**

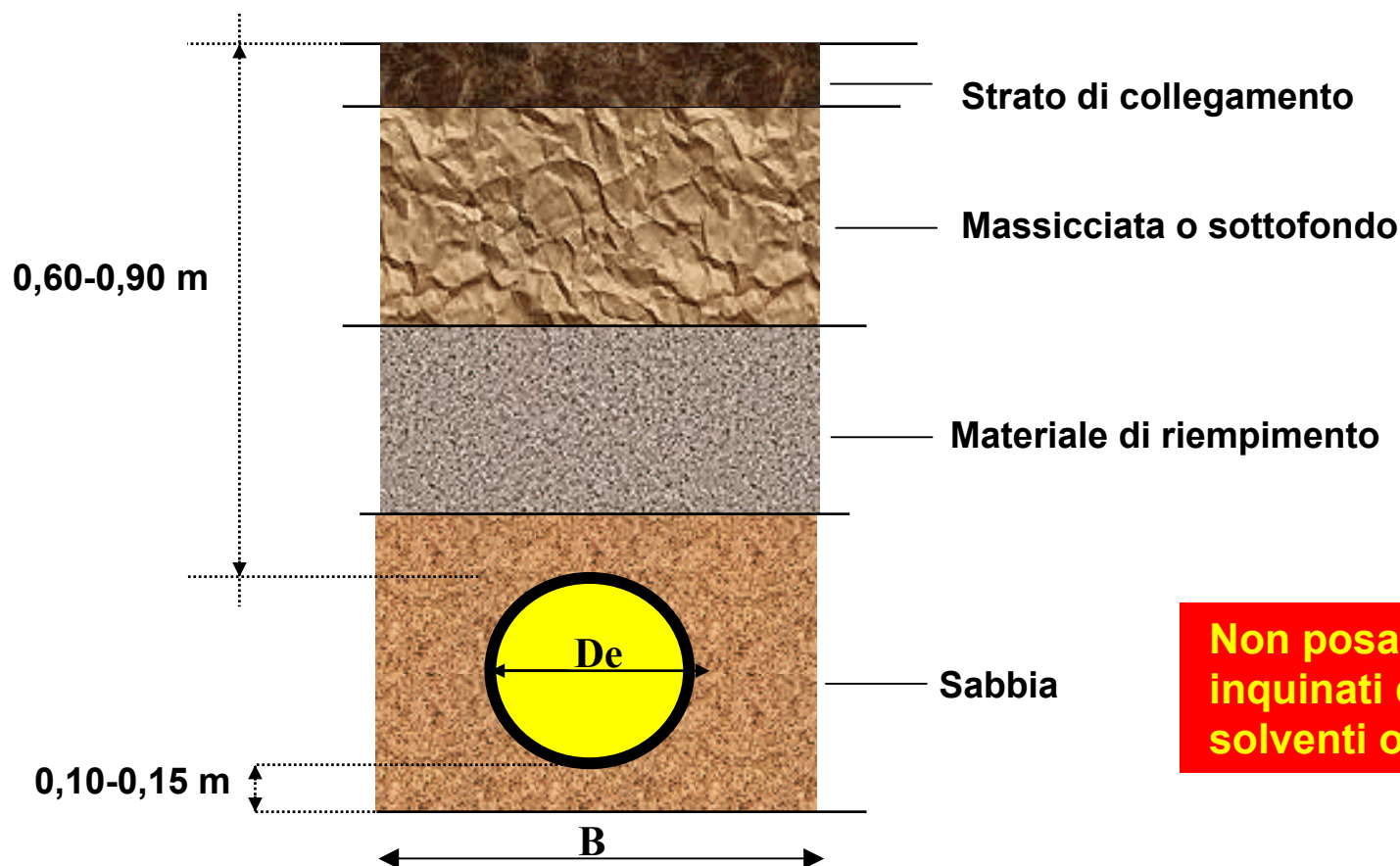


Il gasdotto va sempre posato a quota superiore della fognatura

Il GPL va invece posato a quota inferiore rispetto alla fognatura

- Pendenza minima : 2% verso i barilotti raccogli condensa per il gas umido
- Prevedere il sostentamento di pezzi speciali per non gravare il loro peso sul tubo

Larghezza dello scavo: $B = D_e + 20 \text{ cm}$



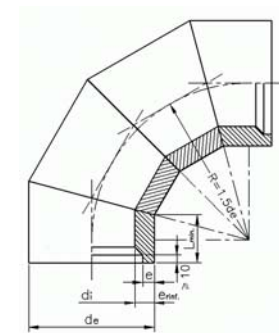
Non posare tubi PE in terreni inquinati da idrocarburi e/o solventi organici

Le barre possono essere curvate purchè il raggio di curvatura non sia inferiore a:

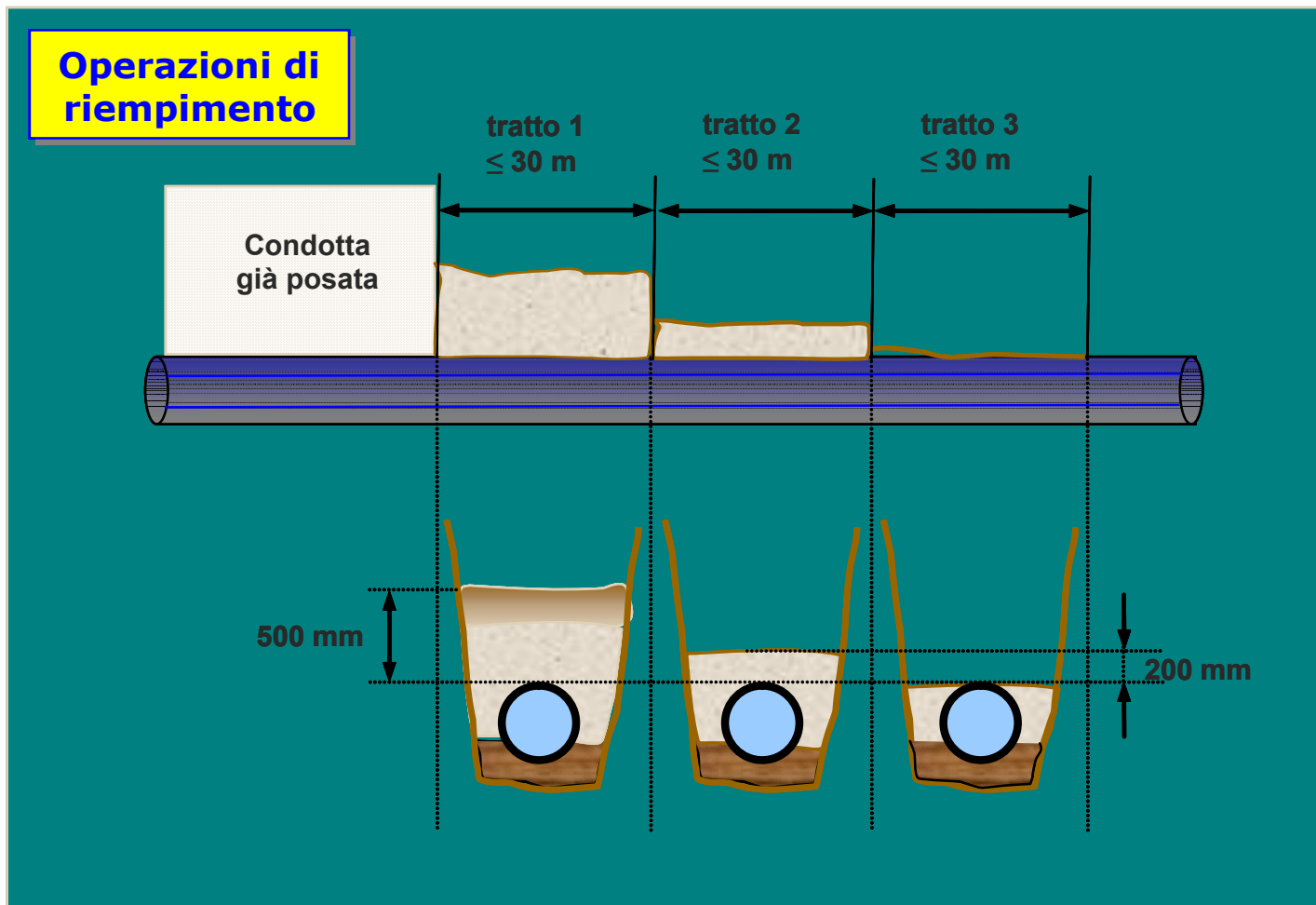
- $40 D_e$ per la Serie S 12,5
- $30 D_e$ per la Serie S 8
- $20 D_e$ per la Serie S 5



- Per curvature più strette usare curve stampate o a settori
- E' assolutamente da evitare la curvatura delle barre a caldo o con mezzi meccanici
- E' possibile eliminare una curvatura inaccettabile controcurvando il tubo e tagliando la parte terminale usata come leva

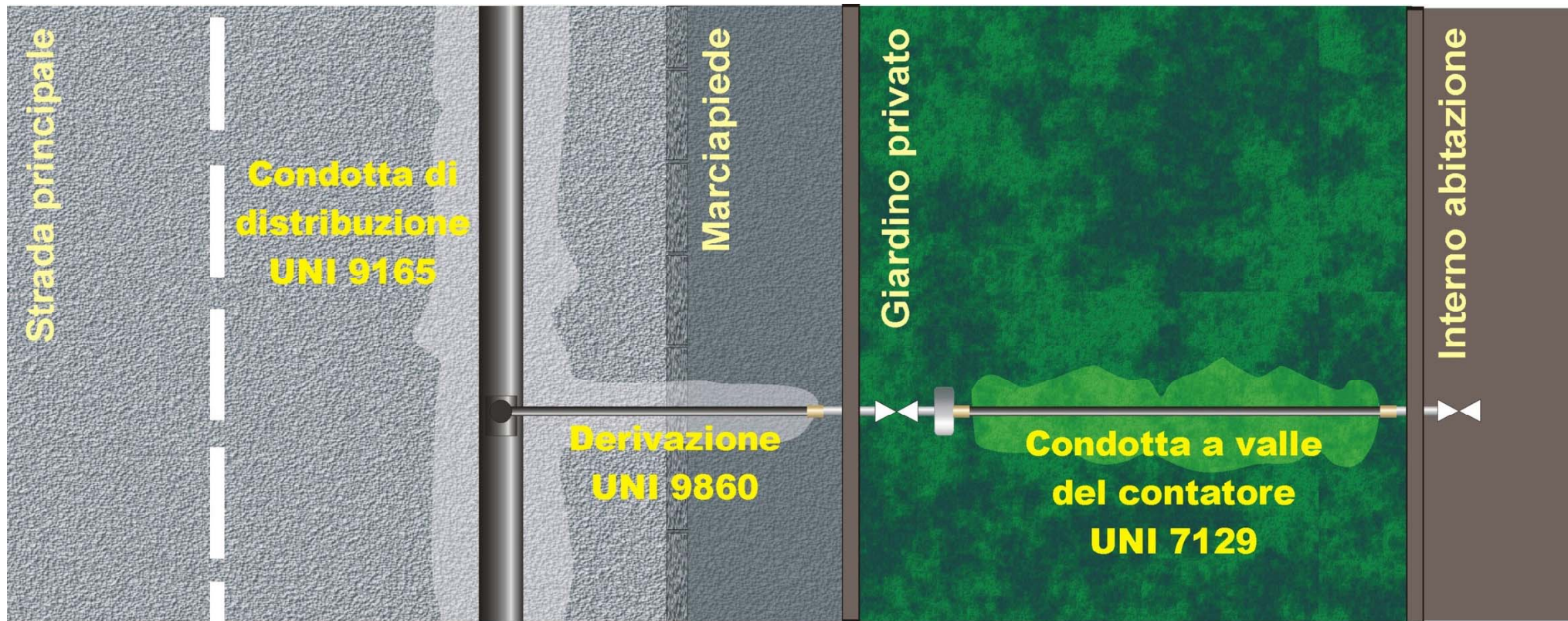


- A causa della dilatazione termica del PE lasciare una delle estremità del tubo sempre libera di muoversi, senza punti fissi



Non essendo il PE un materiale conduttivo, posizionare un nastro continuo con filo metallico “**ATTENZIONE TUBO GAS/ACQUA**” a 30-40 cm dalla generatrice superiore del tubo oppure posizionare dei ball markers lungo lo scavo.





- **D.M. 12.12.85 :** Norme tecniche relative alle tubazioni
- **Raccomandazione IIP n°10 :** Installazione di acquedotti in PE.
Raccomandazioni per l'installazione delle tubazioni di PE nella costruzione di acquedotti
- **Prescrizioni UNIPLAST e GLT**



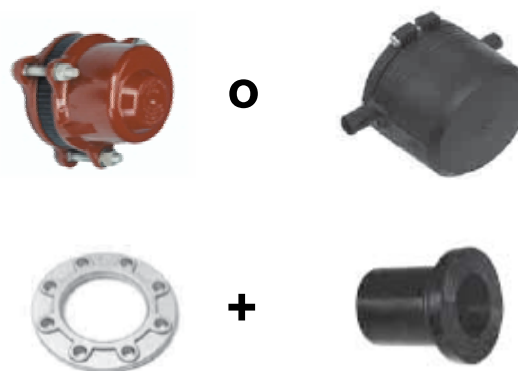
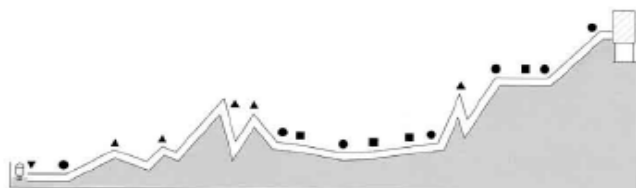
Il collaudo deve essere eseguito per tronchi o nel complesso in relazione ai diametri e all'estensione della rete

La condotta deve essere interrata escluse le testate che devono rimanere scoperte.

Posa di tubazioni in polietilene

Collaudo reti acqua: operazioni preliminari

- I tronchi da provare non devono avere lunghezze superiori ai 500 metri
- La condotta deve essere bloccata nello scavo ricoperta di terra vagliata o sabbia con le giunzioni scoperte
- Scoprire le sole giunzioni ed effettuare una buona compattazione
- Chiudere le estremità del tratto da collaudare con flange o tappi
- Non utilizzare valvole per rendere cieca l'estremità
- Prevedere sfiati nella condotta, l'aria è dannosa al collaudo!
- Pompare al max carico idrostatico
- A tubo riempito chiudere gli sfiati e verificare quelli automatici

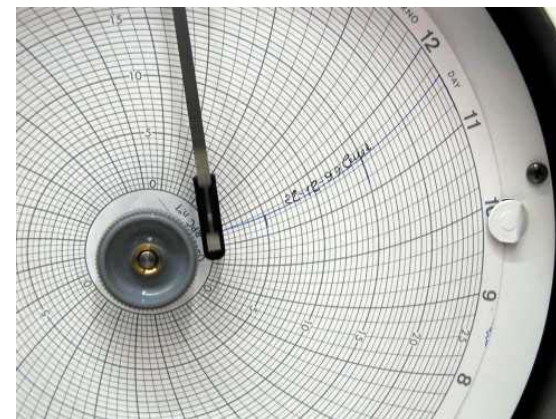


PROVA DI TENUTA A PRESSIONE

- Effettuare la prova prima del reinterro, per verificare la tenuta delle giunzioni
- Pressione di prova : $1,5 \text{ PN}$ del tubo con acqua
- La pressione deve rimanere costante almeno per 4 ore.

- Ogni 2 ore la pompa deve essere attivata per ripristinare l'eventuale caduta di pressione e deve essere annotata la quantità di acqua aggiunta

- E' necessario riserrare ciclicamente i giunti flangiati.



COLLAUDO DELLA RETE

- Per verificare l'idoneità all'esercizio dell'intero sistema
- Pressione di prova: $1,5 \text{ } P_{\text{max esercizio}}$ con acqua
- La pressione deve rimanere costante per 24 ore, a meno di correzioni per variazioni della temperatura ambiente

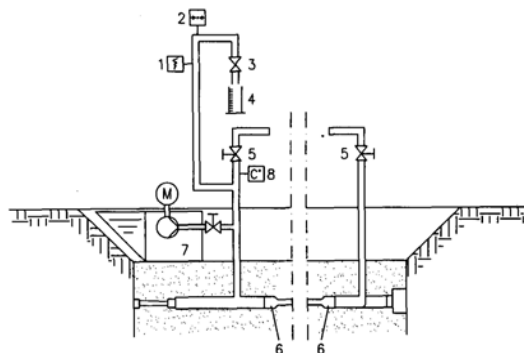
Posa di tubazioni in polietilene

Collaudo reti acqua: operazioni finali

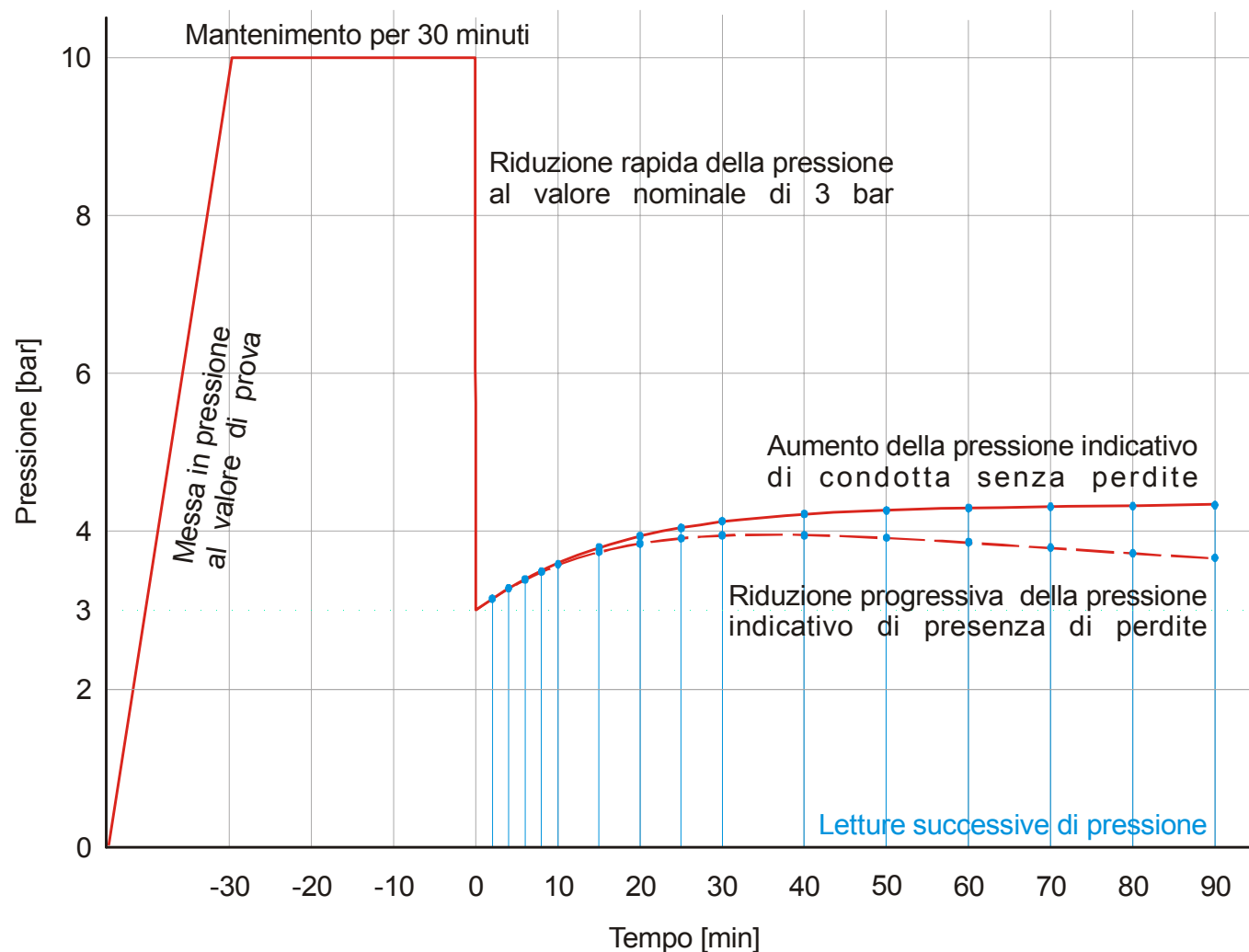
- A collaudo effettuato, controllare eventuali perdite
- Controllare le guarnizioni di tenuta
- Aprire gli sfiati
- Riempire lentamente la condotta con velocità < 1 m/s
- A prova terminata redigere il protocollo di collaudo



**Collaudo in accordo a
prescrizioni UNIPLAST
e GLT**



- 1) Registratore pressione
- 2) Manometro
- 3) Valvola di regolazione
- 4) Serbatoio contalitri
- 5) Valvole di sfiato
- 6) Condotta
- 7) Unità di prova idraulica
- 8) Termometro



PROVA DI TENUTA A PRESSIONE

- Effettuare la prova prima del reinterro, per verificare la tenuta delle giunzioni
- Pressione di prova: $1,5 P_{max amm}$ secondo la serie S, con aria/gas inerte
- La pressione deve rimanere costante almeno per 4 ore.




COLLAUDO DELLA RETE

- Per verificare l'idoneità all'esercizio dell'intero sistema
- Condotte gas : $1,5 P_{max eserciz}$ Condotte 4°-5° Specie, aria/gas inerte
1 Bar Condotte 6°-7° Specie, aria/gas inerte
- La pressione deve rimanere costante per 24 ore, a meno di correzioni per variazioni della temperatura ambiente

UNI 7129: Condotte per la distribuzione del gas a valle del contatore (impianti interni), fino all'esterno dell'edificio

- Deve avvenire a condotta non interrata, prima di allacciare il contatore.
- Mediante l'uso di aria o gas inerte
- Pressione di collaudo di almeno 100 mbar e tempo di stabilizzazione non inferiore ai 15 minuti.
- Tra due letture del manometro, intervallate da 15 minuti, non si devono manifestare cadute di pressione.



A close-up, slightly blurred photograph of a small, brown and white tabby kitten sleeping peacefully with its eyes closed. The kitten's face is the central focus of the slide.

Ing. Gianluca Messineo
gmessineo@fipnet.it

GRAZIE PER L'ATTENZIONE !!!!

Sistemi di giunzione: EF



Giunzione/Mat.	Gas caldo	Testa/Testa	Elettrofusione	Incollaggio
PE	SI (no gas)	SI	SI	NO
PP	SI	SI	NO	NO
PVC	SI	NO	NO	SI
PVDF	SI	SI	NO	NO
PRFV	NO	NO	NO	SI

Giunzioni PVC ad incollaggio : adeguata solubilità in opportuno solvente

Giunzione PE : compenetrazione a pressione delle parti riscaldate fino al rammollimento:
diffusione molecolare + pressione di contatto

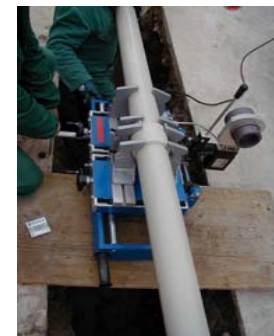
- Saldatura ad elementi termici per contatto: **SALDATURA T/T**



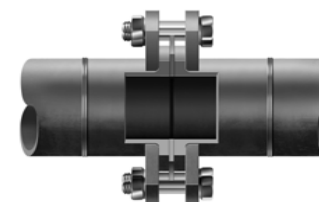
- Saldatura ad elettrofusione : **SALDATURA EF**



- Saldatura a bicchiere per contatto con elemento termico: **NO PER GAS**



- Giunzioni mobili: a serraggio meccanico, con flangiatura,



- ✓ Collegamento di materiali diversi
- ✓ Linee temporanee
- ✓ Impianti di irrigazione
- ✓ Montaggio e smontaggio rapido
- ✓ Giunzioni PE con altri materiali (ghisa, acciaio, PVC...)
- ✓ Collegamento PE a pezzi speciali (valvole misuratori....)



- Cartelle con flange libere
- Raccordi a serraggio meccanico in PP
- Raccordi a serraggio meccanico in ghisa/acciaio
- Raccordi a serraggio in ghisa malleabile
- Raccordi di transizione PE/acciaio - ghisa



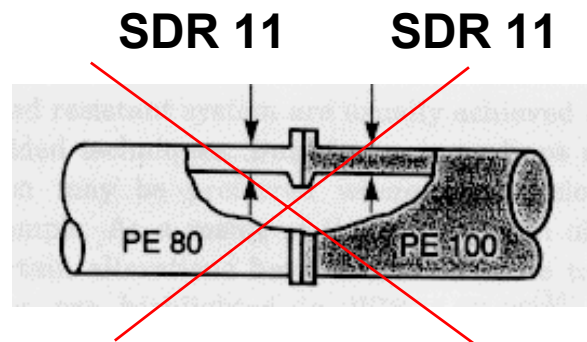
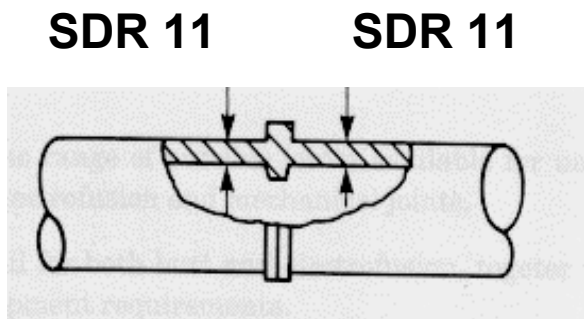
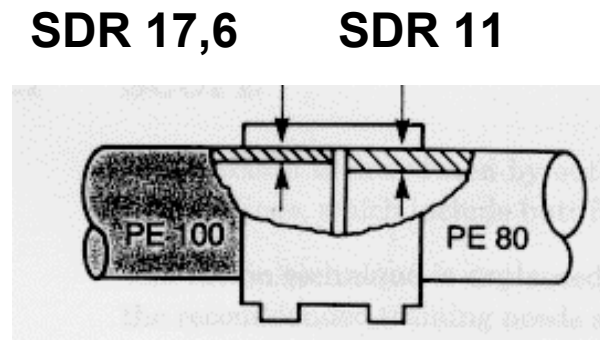
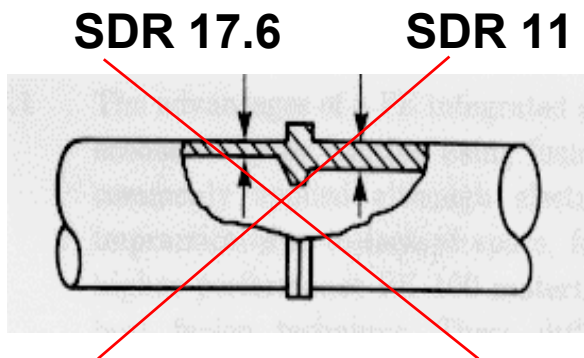
- **Saldatura T/T**: utilizzata per diametri elevati a causa di eventuali problemi di ovalizzazione e curvatura dei tubi in rotoli
Nel gas solo per $D_e > 63$
- **Saldatura E/F**: utilizzata per riparazioni, unioni vecchie/nuove tubazioni, prese in carico e quando gli spessori degli elementi da unire sono differenti
- **Saldatura per incollaggio**: saldatura chimica a freddo



L'incollaggio va bene per il PVC e PVC-C perché sono facilmente solubili

Collaudo PVC incollaggio : 1h per ogni atmosfera della pressione di collaudo = 1,5 Pressione di esercizio
Per una linea PN16 è necessario attendere 24 h





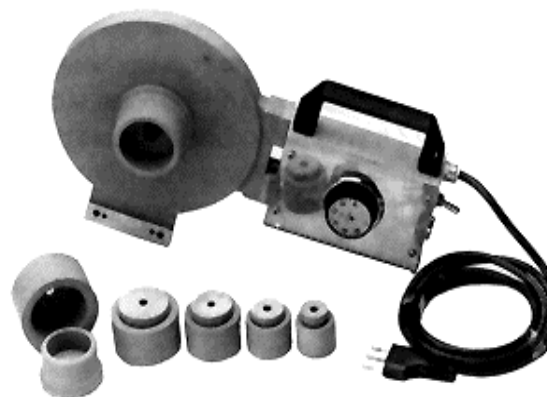
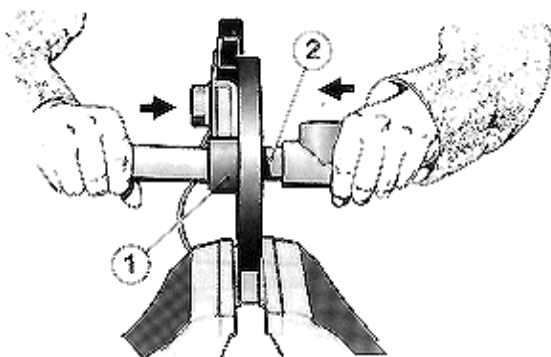
La saldatura per E/F può essere effettuata con tubi SDR 17 ed SDR 11 in PE 80 e PE 100 aventi differenti spessori di parete

La saldatura T/T può essere effettuata solo con tubi dello stesso materiale e lo stesso SDR, aventi cioè uguale spessore di parete

Definizione

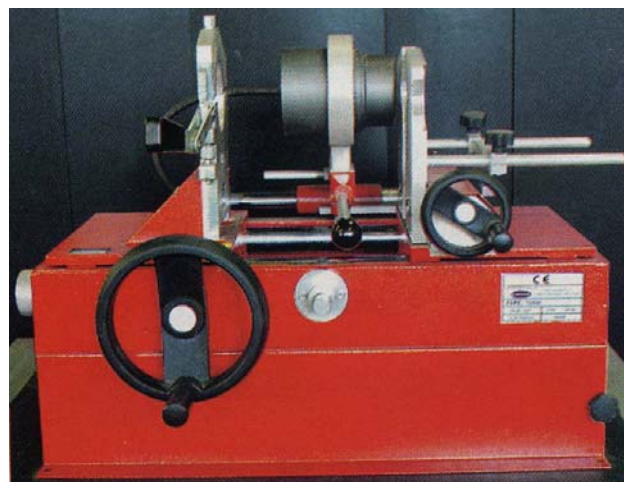
Procedimento mediante il quale le due superfici da saldare vengono portate al punto di rammollimento per mezzo di un elemento riscaldante con boccole e mandrino

- Procedimento applicabile per $D_e < 125$ mm
- Sistema manuale : fino al D_e 63, meccanico per $63 < D_e < 110$
- Sistema limitato a piccoli diametri per tubi a “sufficiente spessore”
- (S5 PN10 fino 50 mm, per D_e 20-25 mm S8 PN 6 utilizzare boccole di irrigidimento)



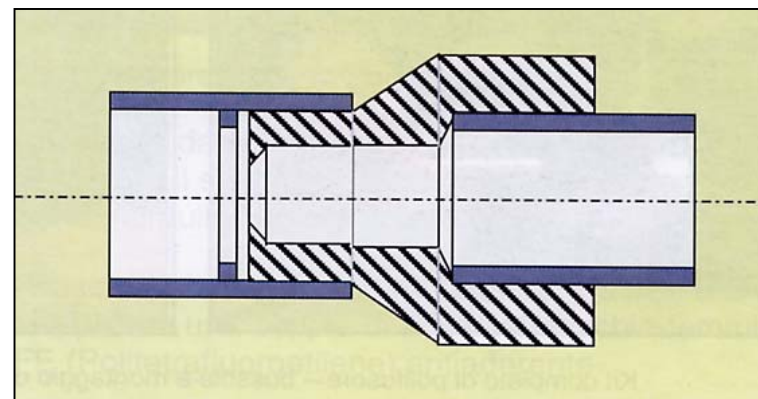
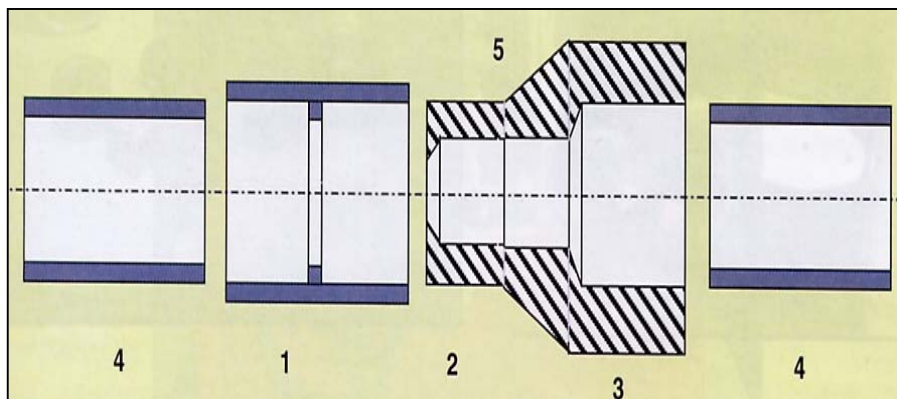
Caratteristiche della saldatrice

- Garanzia di massima coassialità tubo/raccordo
- Uniforme distribuzione della temperatura
- Costante pressione di inserimento
- **Supporto mobile** : carrello su guide
- **Termoelemento** : polifusore con bussole M/F rivestite di PTFE
- **Termoresistenza elettrica**
- **Termostato**



Procedimento di saldatura

1. Taglio del tubo
2. Preparazione dei lembi da saldare (alesatura)
3. Marcatura della profondità di calettamento
4. Controllo della temperatura del polifusore ($T = 260^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$)
5. Pulizia ed inserimento delle parti da saldare
6. Esecuzione della saldatura (tempi in funzione dei diametri da saldare)
7. Raffreddamento



Definizione (Norma UNI 10521)

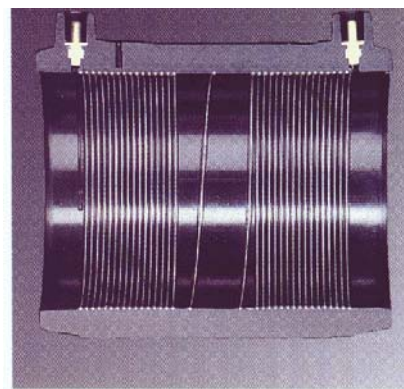
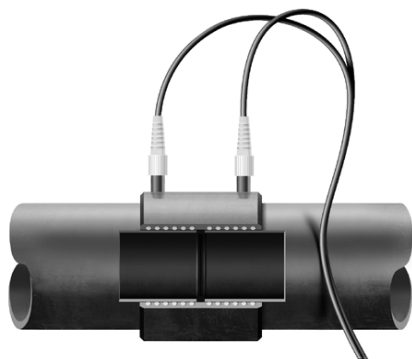
Processo di giunzione di due elementi, tubi e/o raccordi di uguale diametro di accoppiamento che si basa sulla fusione delle superfici a contatto per mezzo di una resistenza elettrica che rimane incorporata nel giunto saldato



Saldatura per EF: il principio

La corrente elettrica passando nel filamento del raccordo provoca per **effetto Joule** un aumento di temperatura, ovvero un rapido aumento di volume del tubo in quanto il PE ha un elevato coefficiente di dilatazione termica.

Il PE è anche un cattivo conduttore di calore e quindi non riesce ad espandersi verso l'esterno (zone ancora fredde del raccordo che si comportano da barriera)



Il PE in fusione aumenta il suo volume: tale espansione è però limitata dalle **“ZONE FREDDE”** del raccordo che contornano la zona riscaldante (impediscono al materiale fuso di debordare all'interno del tubo o di uscire fuori dal raccordo). L'espansione termica del PE che si può riscontrare in un aumento di diametro del tubo, crea la **pressione di contatto** necessaria alla saldatura favorendo una completa omogeneizzazione dei materiali.

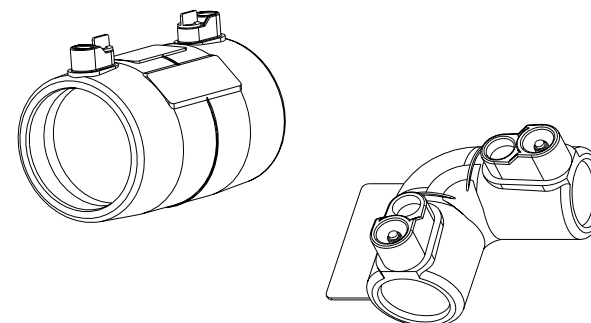
Raccordi a serraggio : vincolo di bloccaggio

Fin dall'inizio della saldatura esiste il contatto intimo tra tubo e raccordo



Raccordi a gioco: termoretraibilità

E' presente uno stato di pretensionamento interno per cui quando il raccordo viene riscaldato si contrae esercitando la pressione di contatto



Raccordi monofilari - bifilari

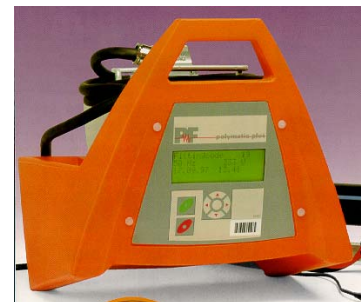
Il produttore dei raccordi deve dichiarare:

- * la compatibilità delle resine saldabili
- * l'idoneità dei diametri e spessori (SDR) saldabili



I raccordi S5 SDR 11 **non** possono generalmente essere utilizzati su tubazioni S12,5 SDR 26 e S8 SDR 17 per $D_e < 75$ mm per problemi di collassamento del tubo dovuto all'eccessivo calore trasferito durante il ciclo di fusione

- Saldatrice monovalente o polivalente



- Spinotti adattatori per saldatrice polivalente



- Raschiatore manuale od automatico



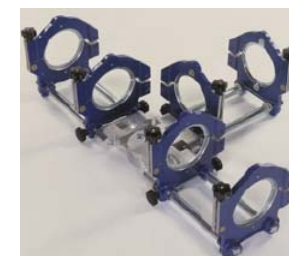
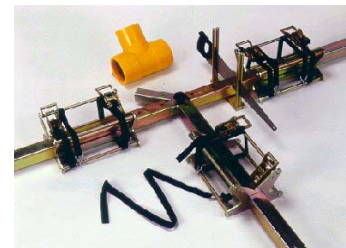
- Tagliatubi



- Liquido decapante volatile



- Collare allineatore a doppia ganascia per ogni estremità



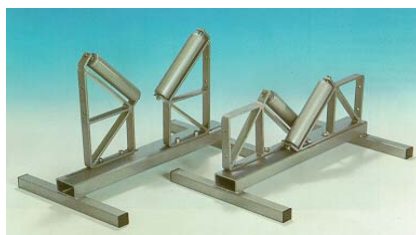
- Posizionatore per selle e collari di presa in carico



- Riarrotondatore (eventuale)



- Rulli reggitubo



Saldatura per E/F

Codice a barre/scheda magnetica

- Ideato da D. Allen per il magazzino esercito USA (II° guerra mondiale)
- Sviluppo anni '80 collaborazione Gas de France/J. Sauron
- 24 caratteri numerici con codice di controllo
- Gruppi formati da 5 barre con 2 barre a forte spessore (**c.a. 2,5**)
- Spazi bianchi tra le barre con diverse distanze (**INTERLEAVED**)
- Se il codice a barre non è leggibile ricorrere all'impostazione manuale della saldatrice



Scheda magnetica

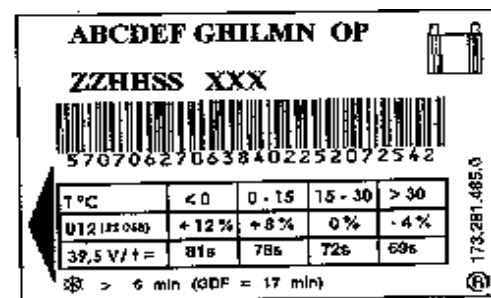
Necessità di saldatrice con lettore di schede

Banda magnetica suddivisa in tre tracce:

1° Traccia : parametri di saldatura

2° Traccia : memoria del programma

3° Traccia : riscontro dei dati di saldatura



Scheda magnetica

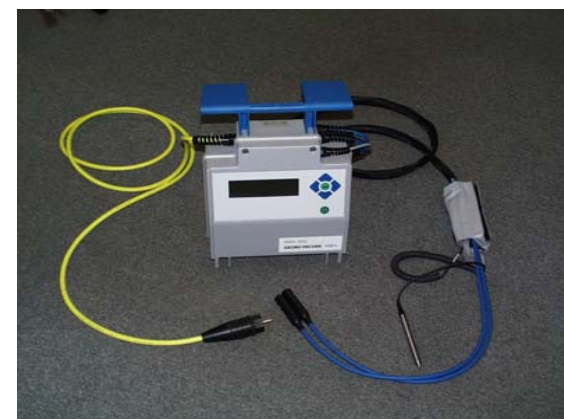
La saldatrice per E/F è un erogatore di energia controllata munita di trasformatore per ridurre la tensione di alimentazione alla tensione nominale di saldatura del raccordo elettrosaldabile

Le saldatrici si distinguono in:

- **MONOVALENTI / POLIVALENTI** in funzione della marca dei raccordi saldabili
- **MANUALI / AUTOMATICHE** in funzione dell'impostazione dei parametri operativi



- Tempo di saldatura
- Tensione nominale di saldatura
- Diametro degli elementi da saldare
- Figura del raccordo (manicotto, gomito a 90° - 45°, TEE.....)
- Correzione automatica in funzione della temperatura ambiente
- Gruppo elettrogeno con potenza 3-5 KW stabilizzati



XL Download information

Log	Lifetime	Serial												
Weld	Weld	Number	Date of	Time of	Operator			Pipe	Pipe	Fitting	Fitting	Fitting	Fitting	
Number	Number	of Unit	weld	Weld	Name	Location	Job Reference	Scraped?	clamped?	Manufacturer	Type	Diameter	Voltage	Temperature
7	64	CX3-2004	28/07/2004	14.31	n/a	n/a	n/a	Y	Y				39.5V	+22C
14	71	CX3-2004	03/08/2004	8.13	n/a	n/a	n/a	Y	Y				39.5V	+24C
15	72	CX3-2004	03/08/2004	10.59	n/a	n/a	n/a	Y	Y				39.5V	+23C
16	73	CX3-2004	04/08/2004	16.08	MARTIN	DEWSBURY	BARCODE TEST	Y	Y	DURA	Coupler	32mm	39.0V	+22C
17	74	CX3-2004	04/08/2004	16.17	MARTIN	DEWSBURY	BARCODE TEST	Y	Y	DURA	Coupler	32mm	39.0V	+23C
18	75	CX3-2004	05/08/2004	8.37	G	D	C	Y	Y	DURA	Coupler	32mm	39.0V	+24C
19	76	CX3-2004	05/08/2004	9.21	G	D	C	Y	Y	DURA	Coupler	32mm	39.0V	+24C
20	77	CX3-2004	05/08/2004	12.03	G	D	C	Y	Y	DURA	Coupler	32mm	39.0V	+23C
21	78	CX3-2004	05/08/2004	13.07	G	D	C	Y	Y	DURA	Coupler	32mm	39.0V	+22C
22	79	CX3-2004	09/08/2004	0,6	G	D	C	Y	Y	Durafuse	ST, Coupler	32mm	39.5V	+24C
23	80	CX3-2004	09/08/2004	0,6	G	D	C	Y	Y	Durafuse	ST, Coupler	32mm	39.5V	+24C

Expected	Actual													
weld	Weld	Welding	.Error											
Time	Time	Energy	Code	Welding	Barcode	Traceability 1	Traceability 2	Traceability 3	Traceability 4					
60s	3s	0kJ	127											
60s	60s	0kJ	127											
60s	60s	0kJ	127											
34s	33s	10kJ	0		_342118010323394372034333									
34s	33s	11kJ	0		_342118010323394372034333									
34s	33s	11kJ	0		_342118010323394372034333									
34s	4s	1kJ	11		_342118010323394372034333									
34s	13s	5kJ	11		_342118010323394372034333									
34s	33s	11kJ	0		_342118010323394372034333	_06480431431639801705030310	_06480431431639801705030310	_06480431431639801705030310	_06480431431639801705030310					
34s	34s	4701kJ	0											
34s	34s	4242kJ	0											

- Verificare le condizioni ambientali: **$-5^{\circ}\text{C} < T < +40^{\circ}\text{C}$**
- Intagli sui tubi con profondità **$< 10\%$ spessore**
- Verificare le tolleranze sul D_e delle tubazioni
- Srotolare il tubo in rotolo almeno 24 ore prima della saldatura

- Verificare l'ovalizzazione:
$$\frac{D_{\text{emax}} - D_{\text{emin}}}{D_e} \times 100 < 1,5\%$$

- Controllare le saldatrici e le attrezzature ausiliarie
- Controllare l'alimentazione elettrica ed il massimo assorbimento
- Verificare la presenza dei tappi sull'estremità dei tubi e l'integrità dei sacchetti per i raccordi EF
- Controllare visivamente i raccordi e gli avvolgimenti elettrici

- Verificare la compatibilità dei materiali ($0,4 < MFI < 1,3$)
- Tagliare i tubi a squadra ed eliminare le sbavature
- Raschiare la superficie esterna dei tubi per eliminare l'ossido con raschiatori manuali o automatici



RASCHIATURA

- profondità max di 0.1 mm per $D_e \leq 63$ mm
- profondità max di 0.2 mm per $D_e > 63$ mm

Raschiare oltre 1 cm per parte oltre il raccordo



NON TOCCARE LE SUPERFICI RASCHIATE CON MANI SPORCHE !!!!!

- Pulire con liquido decapante l'esterno del tubo e l'interno dei raccordi con stracci imbevuti di cloruro di metilene, alcool puro al 99%, alcool isopropilico, acetone
- **Non è consentito usare trielina, benzina, o alcool denaturato**
- Con un pennarello indelebile o matita cerosa segnare la profondità di calettamento del raccordo su almeno 1/3 della circonferenza del tubo
- Inserire nel collare allineatore il tubo ed il raccordo e stringere le cinghie per ottenere un perfetto allineamento



- Collegare gli spinotti dei raccordi con i terminali della macchina saldatrice (eventualmente utilizzare gli spinotti adattatori)



- Nella modalità manuale : impostare la tensione nominale di saldatura (V) ed il tempo di fusione (Tf). Premere start.



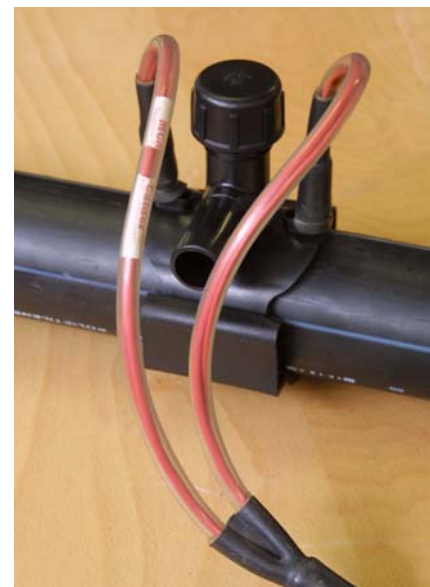
- E' possibile usare una macchina universale automatica con lettura del codice a barre con possibilità di stampare il protocollo di saldatura



- Durante il ciclo di fusione non sollecitare la giunzione e rimuovere il collare allineatore solo dopo il completo raffreddamento del giunto.
- E' consigliabile attendere almeno 20 min.
- Verificare che la raschiatura sia conforme e che sia stata rispettata la profondità di calettamento
- Verificare che gli indicatori di fusione siano fuoriusciti dagli appositi fori dal raccordo
- Verificare che non ci sia fuoriuscita di PE fuso dal raccordo
- Verificare che i tubi siano rimasti nel corretto allineamento
- Verificare che non ci siano disassamenti



In caso di interruzione della corrente di alimentazione è consentita ripetere la saldatura una sola volta purchè sia avvenuto il completo raffreddamento del giunto e si ripeta l'intero tempo di fusione



La foratura delle prese deve essere eseguita solo dopo il completo raffreddamento della giunzione, non prima comunque di 20'



CONTROLLI PRELIMINARI IN CANTIERE

- Materiali approvvigionati conformi alle norme e specifiche di progetto
- Esame visivo-dimensionale : marchiatura, assenza di incisioni ed ovalizzazioni, tubi con tappi alle estremità, raccordi all'interno di sacchetti trasparenti
- Attrezzature adeguate e funzionali con presenza delle certificazioni
- Operatori ed assistenti di cantiere qualificati

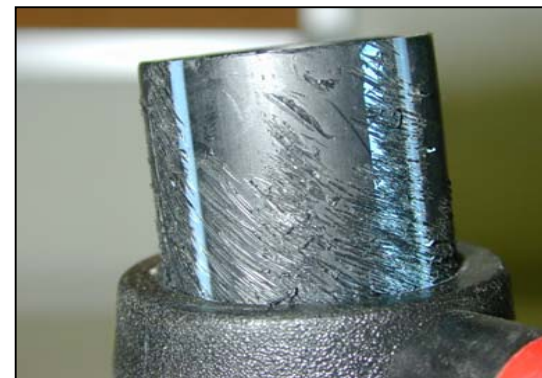
CONTROLLI FINALI

Attualmente non sono disponibili controlli non distruttivi (ad ultrasuoni, radiografici...) rapidi, economici e facilmente accessibili.

Si deve quindi ricorrere a controlli distruttivi per la verifica certa della qualità della giunzione.



- Non devono manifestarsi disassamenti degli elementi saldati
- Non devono manifestarsi fuoriuscite di materiale fuso
- Non devono manifestarsi cortocircuiti di tratti di resistenza elettrica
- Devono essere visibili i segni della raschiatura su tutta la circonferenza
- La profondità di inserimento deve essere stata rispettata



- Prova di resistenza alla pressione interna : $P_{\text{prova}} = 150/S=\text{Serie}$ $t=1 \text{ h}$ $T=20^{\circ}\text{C}$
- Prova di decoesione : $L_{\text{rottura fragile}} D_2 < 1/3 L_2$ ($L_{\text{complessiva saldatura}}$)
- Prova di trazione (UNI 9736)
- Prova di resistenza all'urto (prese in carico a collare/settore UNI 8850)

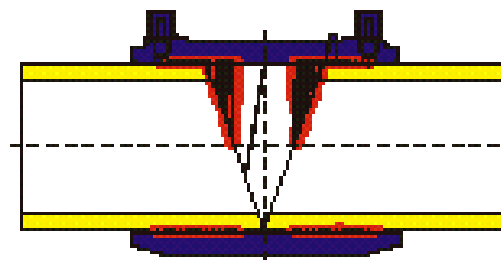


Raschiatura non eseguita o imperfetta su prese

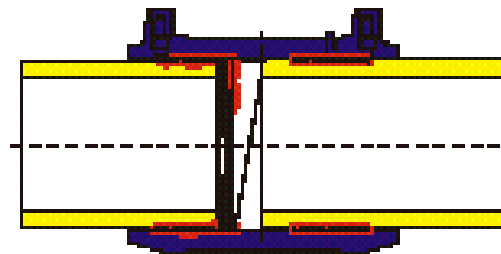
Non tolgo l'ossido ed ottengo una semplice incollatura "incollatura" con scarsa resistenza meccanica



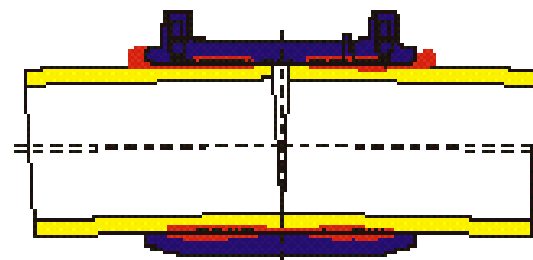
Taglio ed inserimento del tubo



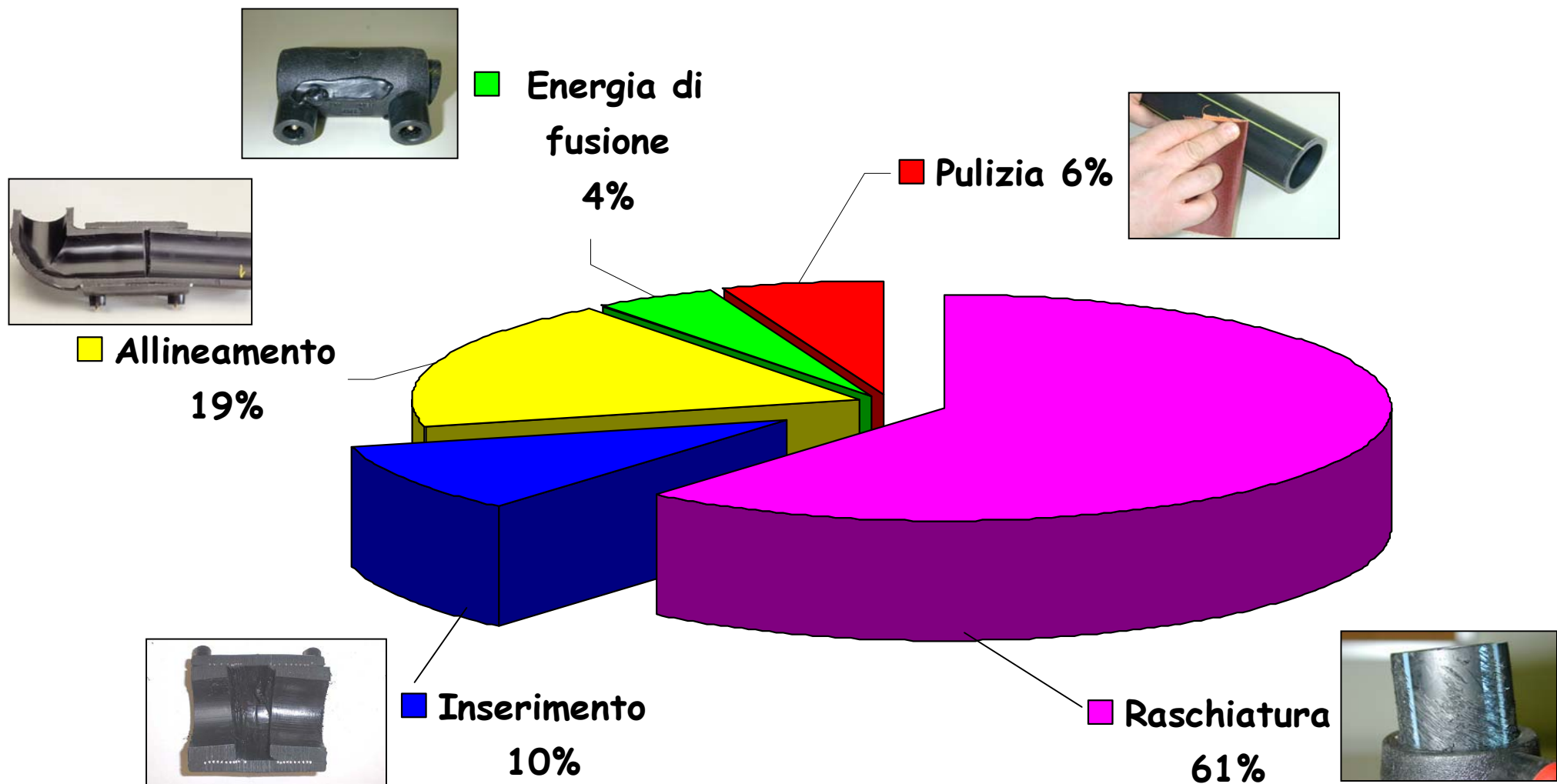
Taglio obliquo



Inserimento dei tubi non corretto



Montaggio sotto tensione



Sistemi di giunzione: TT





Definizione Norma UNI 10520

E' quel processo di giunzione di due elementi, tubi e/o raccordi di ugual diametro e spessore, le cui superfici previa spianatura vengono inizialmente riscaldate fino a rammollimento del materiale per contatto con un elemento termico e successivamente dopo l'allontanamento dello stesso, vengono unite a pressione per ottenere dopo la fase di raffreddamento, la loro saldatura.

Il risultato è la formazione di un cordolo interno/esterno

La saldatura T/T avviene per fusione molecolare mediante compenetrazione delle parti rammollite sottoposte a temperatura (diffusione molecolare) e pressione assiale (contatto viscoelastico) con formazione di un cordolo (fuoriuscita del materiale rammollito)

PARAMETRI DI REGOLAZIONE

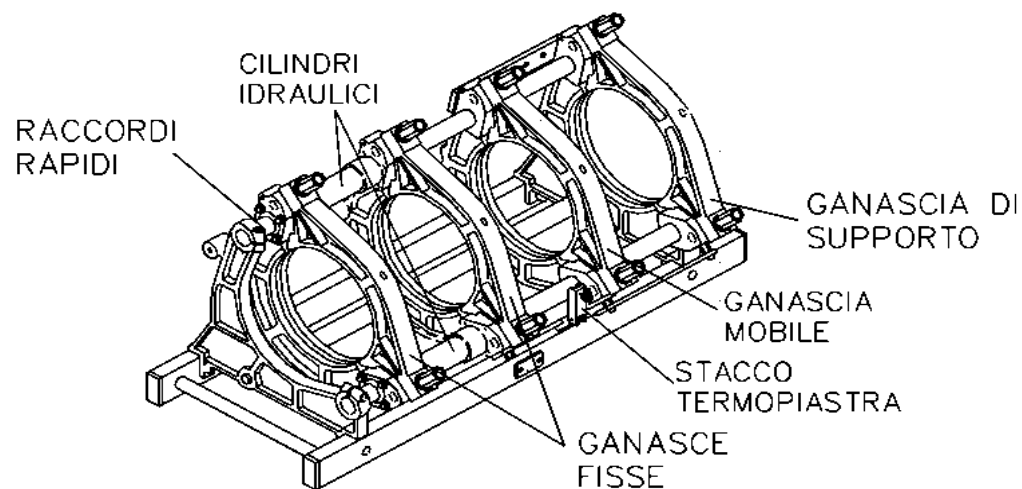
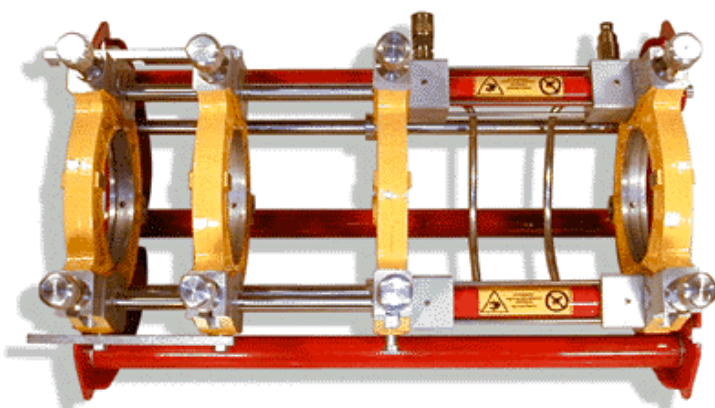
- **TEMPERATURA** del termoelemento
- **PRESSIONE** di contatto
- **TEMPI** delle differenti fasi



Norma UNI 10565

- **TELAIO O BASAMENTO** con carrello fisso e mobile e ganasce
- **CENTRALINA DI COMANDO** oleodinamica od elettroidraulica
- **TERMOELEMENTO A PIASTRA** con rivestimento in PTFE
- **FRESA**

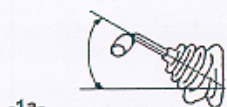
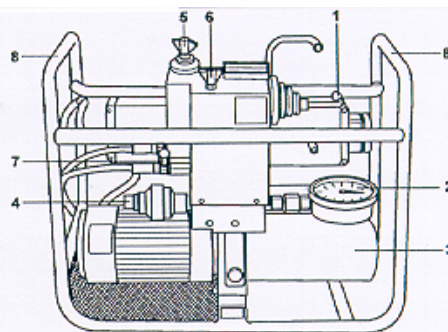




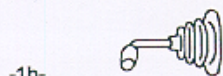
- Funzione: stabilità, rigidità e corretto allineamento degli elementi
- Telaio con due carrelli, di cui uno fisso e l'altro mobile
- **Su ogni carrello almeno due ganasce con riduzioni a settore**
- Le ganasce afferrano almeno l'80% della circonferenza del tubo

4.2. CENTRALINA A COMANDO OLEODINAMICO

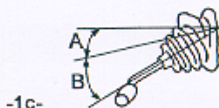
- 1: Leva distributore proporzionale (vedi -1a-, -1b-, -1c-)
- 2: Manometro pressione olio
- 3: Serbatoio olio
- 4: Accumulatore idraulico
- 5: Valvola di massima pressione
- 6: Valvola di scarico pressione (per saldature col metodo a duplice pressione)
- 7: Presa idraulica controllore elettronico
- 8: Punti di presa per movimentazione



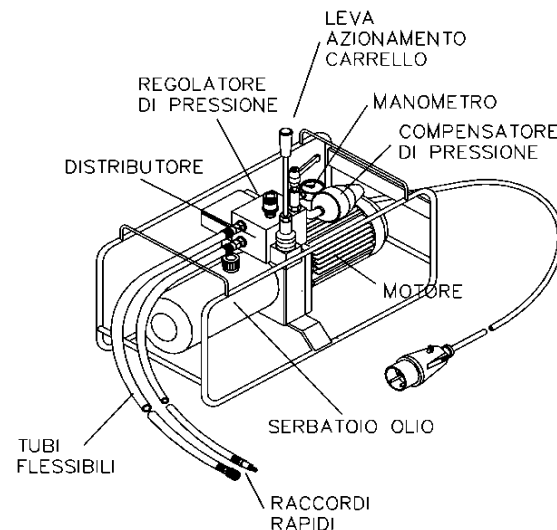
-1a-
Incremento pressione,
azionamento motore,
chiusura carrelli.



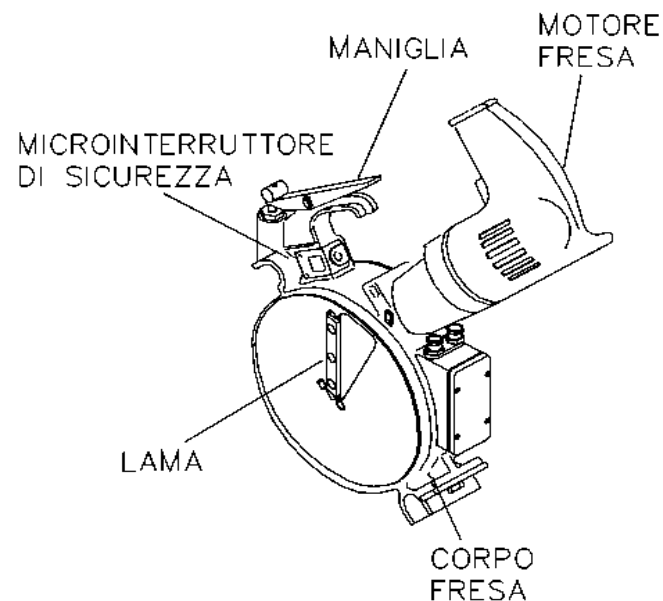
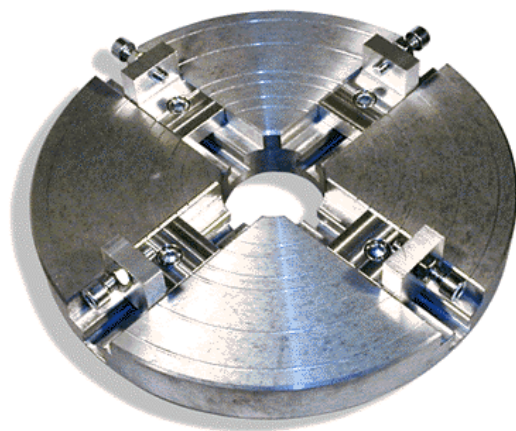
-1b-
Mantenimento pressione.



-1c-
A): Scarico pressione.
B): Azionamento motore,
apertura carrelli.

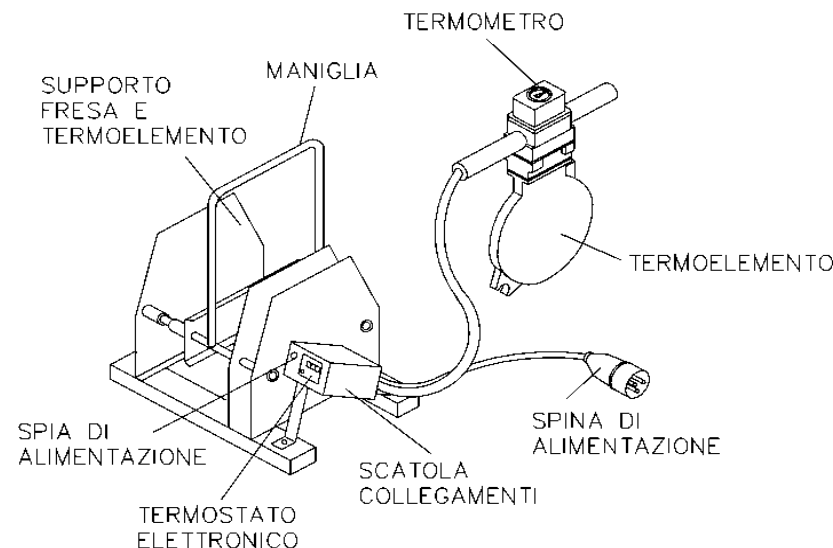


- Garantisce il movimento relativo dei carrelli
- Regola in modo continuo e costante la pressione
- Manometro con possibilità di stimare variazioni di pressione di 1 bar
- Termostato con impostazione e controllo della temperatura
- Temporizzatore con avvisatore acustico



- Garantisce il pian parallelismo delle superfici da saldare
- Due o più lame per ogni disco, sostituibili, ma non regolabili
- L'avviamento deve essere possibile solo dopo che la fresa è in posizione di lavoro

- Garantisce l'omogeneità della temperatura di riscaldamento
- Garantisce la copertura di tutta la sezione circolare del tubo/raccordo
- Rivestimento con materiale antiaderente: **PTFE**
- Termoelemento in acciaio inox con lega di cromo
- Termostato per raggiungere la temperatura max. di **260°C**
- Variazione max della **T: +/- 5°C** rispetto a 210°C in ogni punto
- Il valore di 210°C deve essere raggiunto in un tempo max. di 20 min.



Il costruttore della saldatrice deve fornire i seguenti **DATI TECNICI**:

- **POTENZA MASSIMA** assorbita dalla saldatrice (KW)
- **SEZIONE** del cilindro di spinta del circuito di comando (cmq)
- **VISCOSITA'** e caratteristiche degli oli impiegati (poise)

Revisione generale (UNI 10565) : ogni due anni

VERIFICHE PERIODICHE (UNI 10565) :

- Tenuta del circuito dell'olio del circuito di comando
- Efficienza del rivestimento in PTFE della piastra
- Affilatura delle lame della fresa
- Funzionalità termostato, termometro.....



- Verifica delle apparecchiature;
- Verifiche complementari;
- Verifica degli elementi da saldare



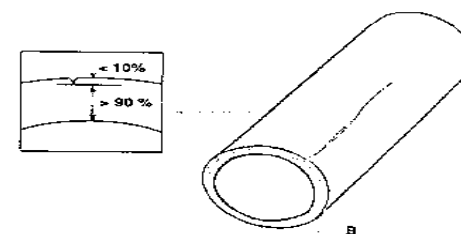
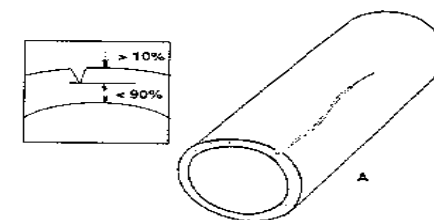
- Verificare l'efficienza dei manometri, termostati e termometri
- Controllare la temperatura del termoelemento con un termometro campione
- Verificare la funzionalità dei supporti delle ganasce e delle guide
- Verificare le fonti di energia (potenza e tensione)



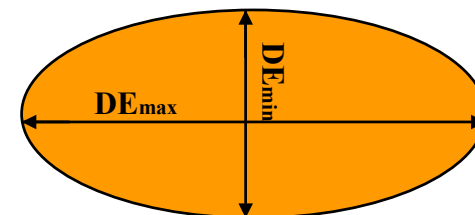
- Verificare i materiali e le attrezzature
- Pulire il termoelemento con liquidi detergenti
- Aspettare 5-6 interventi del termostato
- Verificare il massimo scostamento della T impostata sul termostato : 10%
- Eseguire sempre una saldatura di prova
- Verificare che la temperatura ambiente sia compresa tra **-5°C + 40°C**
- Verificare l'idoneità saldatori: certificazione in accordo ad UNI 9737
- Srotolare i tubi in rotoli 24 ore prima per eliminare eccessive curvature
- Verificare l'esistenza di tappi di protezione all'estremità dei tubi
- Verificare che i raccordi siano contenuti in sacchetti di plastica sigillati

- Esame visivo e dimensionale
- Spessore e Diametro esterno qualunque entro le tolleranze di Norma

Profondità intagli dei tubi $< 10\%$ spessore tubi



Ovalizzazione: $(D_{e\max} - D_{e\min}) / D_e < 1,5\%$



Preparazione della saldatura

- Pulizia delle superfici con liquidi decapanti (secchi e molto volatili)
- Bloccaggio delle estremità nelle ganasce
- Fresatura e spianatura dei lembi da saldare
- Garantire la complanarità dei lembi ed eliminare lo strato di ossido

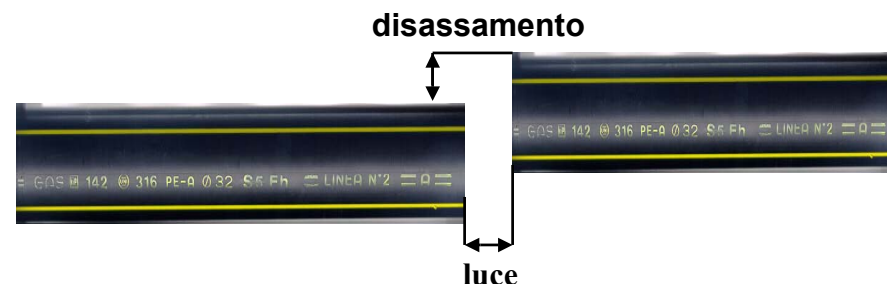
Disassamento max: $0.1 \times \text{Spessore}$, con max 2 mm

Luce tra i lembi al termine della fresatura

0.3 mm per $D_e < 200$ mm

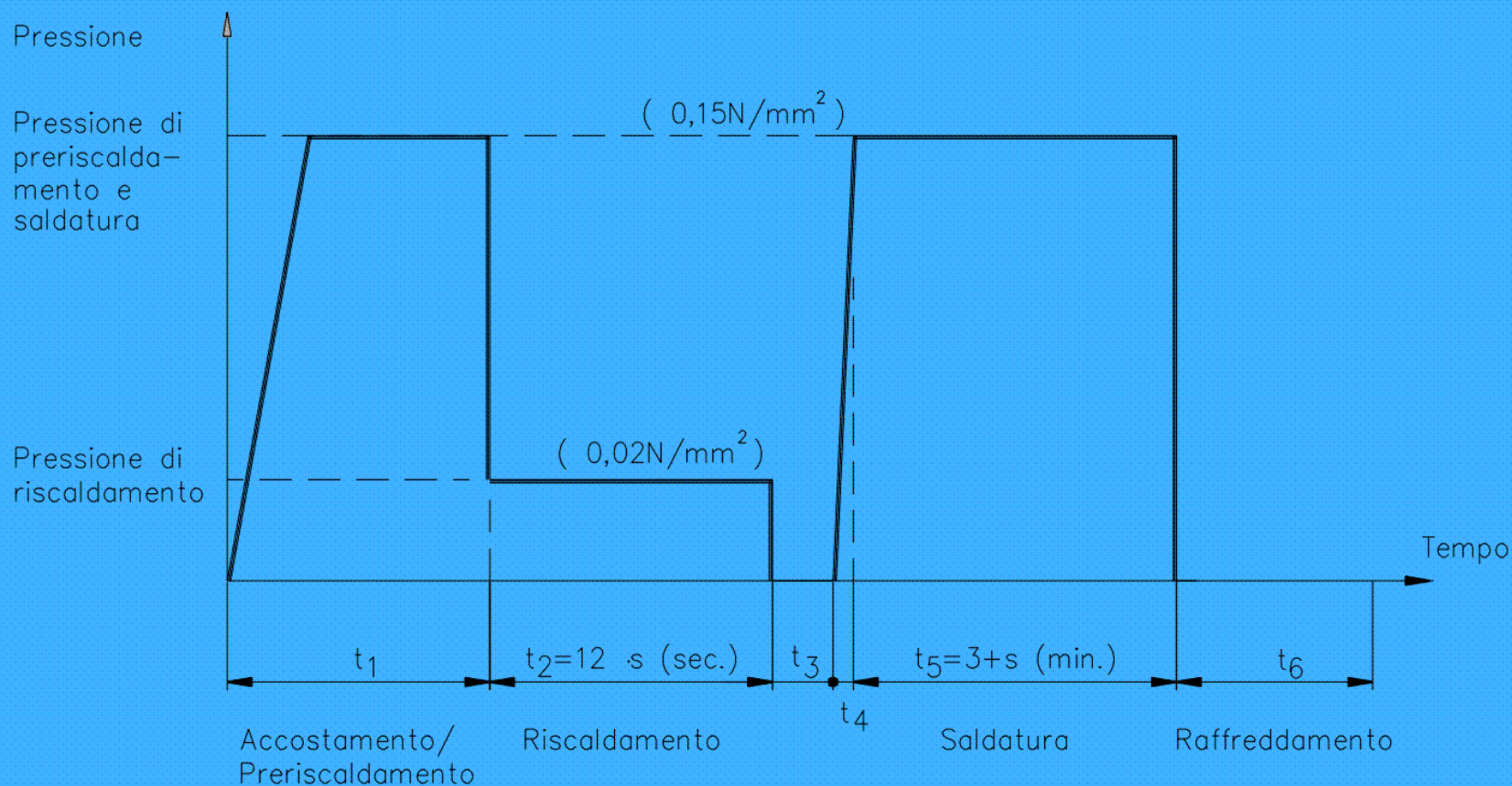
0.5 mm per $200 < D_e < 400$

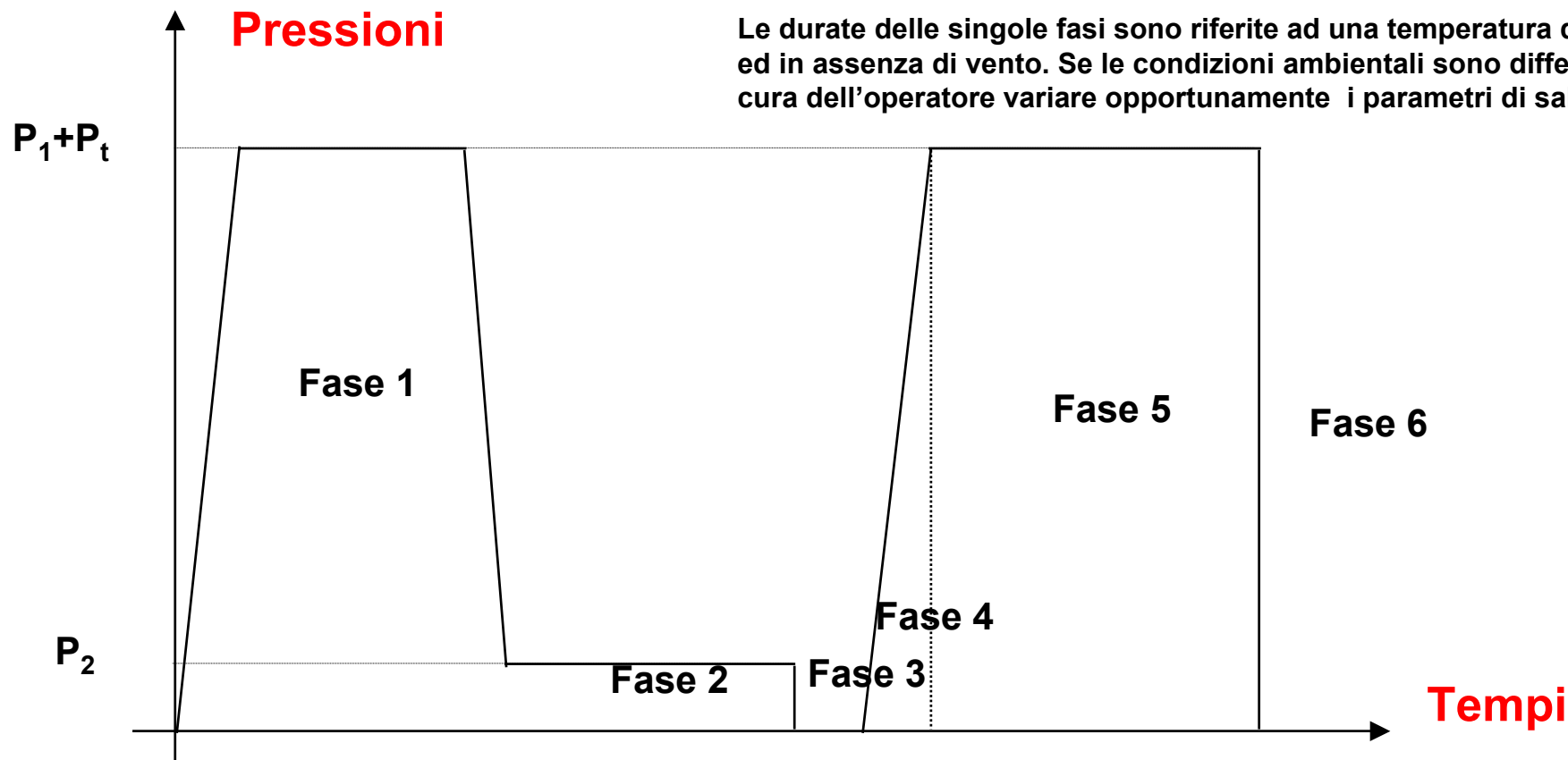
1 mm per $D_e > 400$ mm



- Verificare che il truciolo sia continuo e privo di macchie chiare
- Non toccare con le mani le superfici fresate

PE 80 e PE100 CON SPESSORI < 20 MM : PROCEDIMENTO SECONDO UNI 10520





Fase 1 Accostamento e preriscaldamento

Fase 3 Rimozione piastra

Fase 5 Saldatura

Fase 2 Riscaldamento

Fase 4 Salita in pressione

Fase 6 Raffreddamento

FASE 1: accostamento in pressione e preriscaldamento delle testate

Impostare la temperatura del termoelemento

$T = 210^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ per $S \leq 12 \text{ mm}$

$T = 200^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ per $S > 12 \text{ mm}$

$P = P_1 + P_t$ dove:

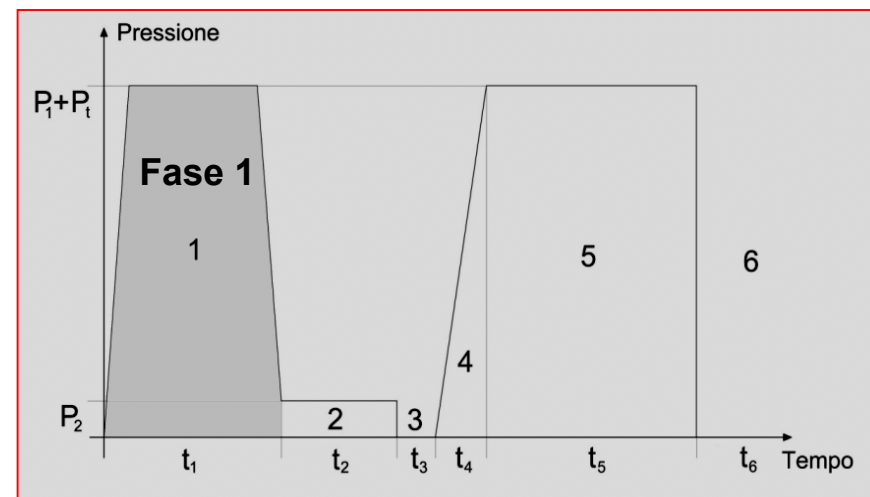
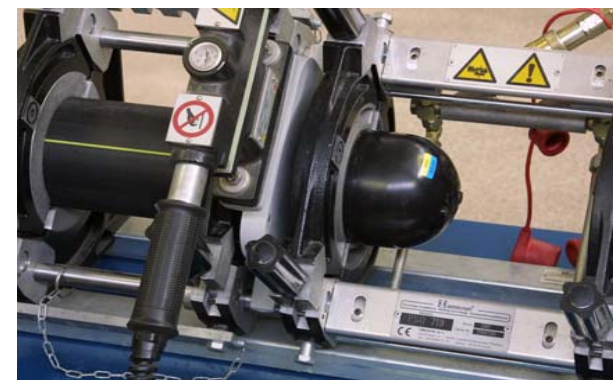
P_t = Press. di trascinamento sperimentale

$$P_1 = \frac{0.15 \times S_{\text{sald}}}{S_{\text{cilindro}}} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$S_{\text{sald}} = 3.14 \times (D_e^2 - D_i^2) / 4$$

A = larghezza cordolo

$$A = 0.5 + 0.1 \times S \quad (\text{mm})$$



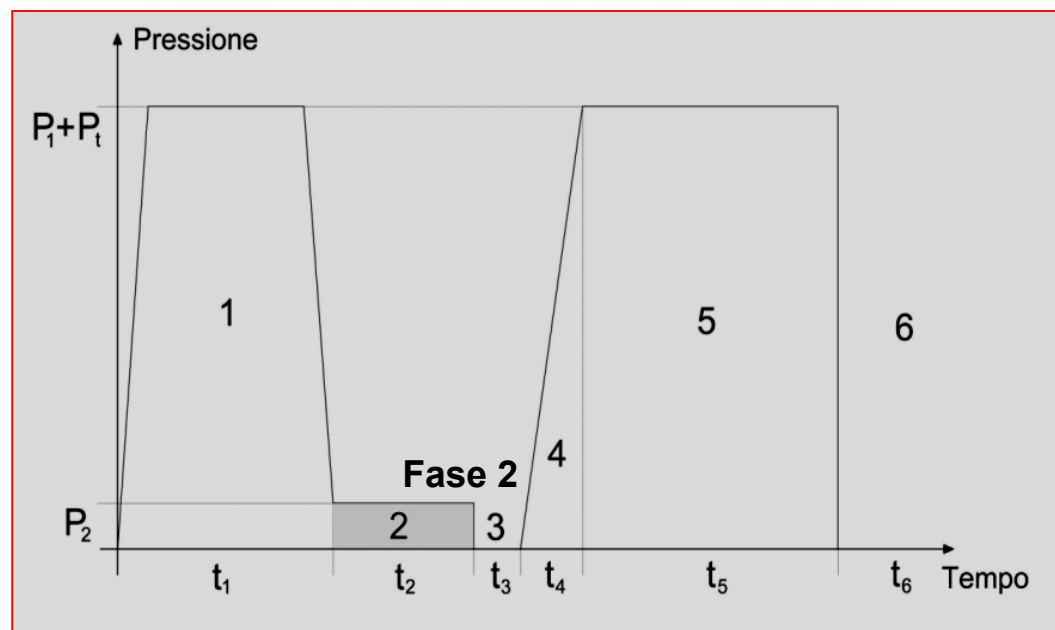
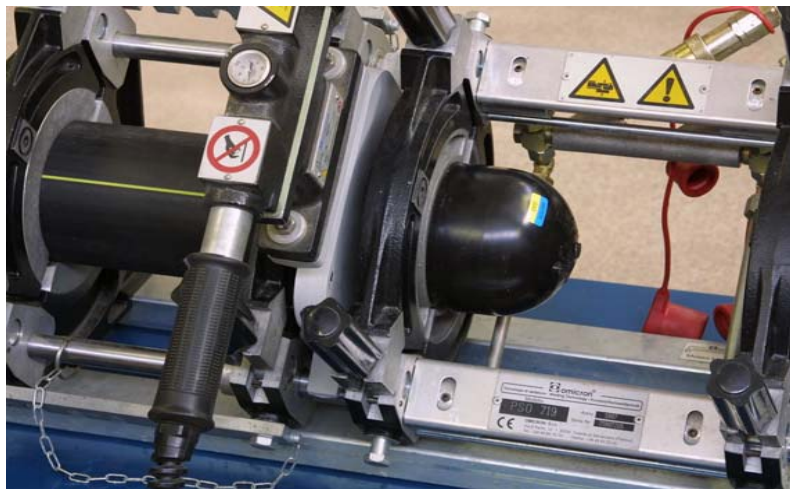
t_1 = tempo sperimentale per raggiungere la larghezza A del cordolo

FASE 2 : Riscaldamento delle testate

Ridurre la pressione, ma garantire sempre il contatto dei lembi

$$P_2 = 0.02 \times S_{sal} / S_{cil} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$t_2 = 12 \times S \text{ (sec)}$$

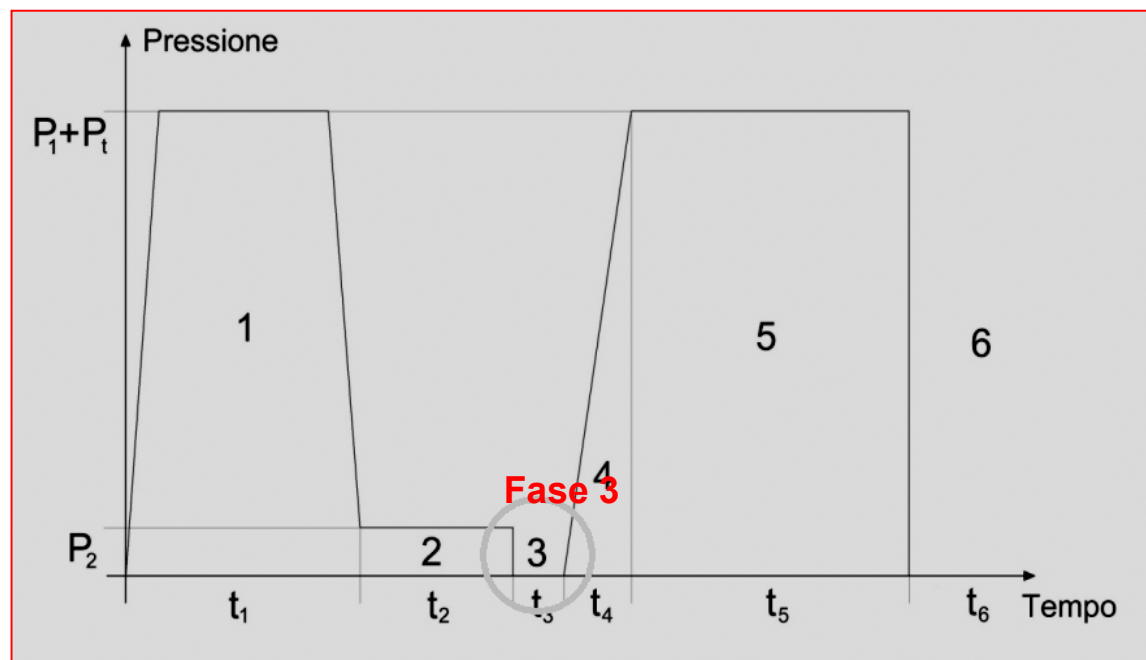
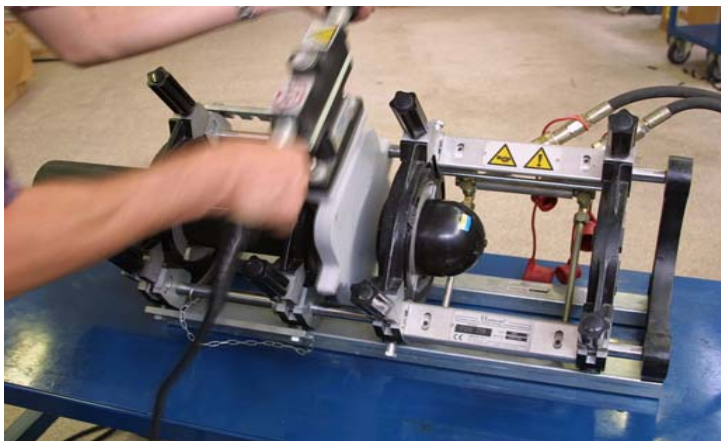


FASE 3 : Rimozione rapida della termopiastra

La caduta superficiale di temperatura del PE è 17°C in 3 sec.

$$P_3 = 0$$

$$t_3 = 4 + 0.3 \times S \text{ (sec)}$$

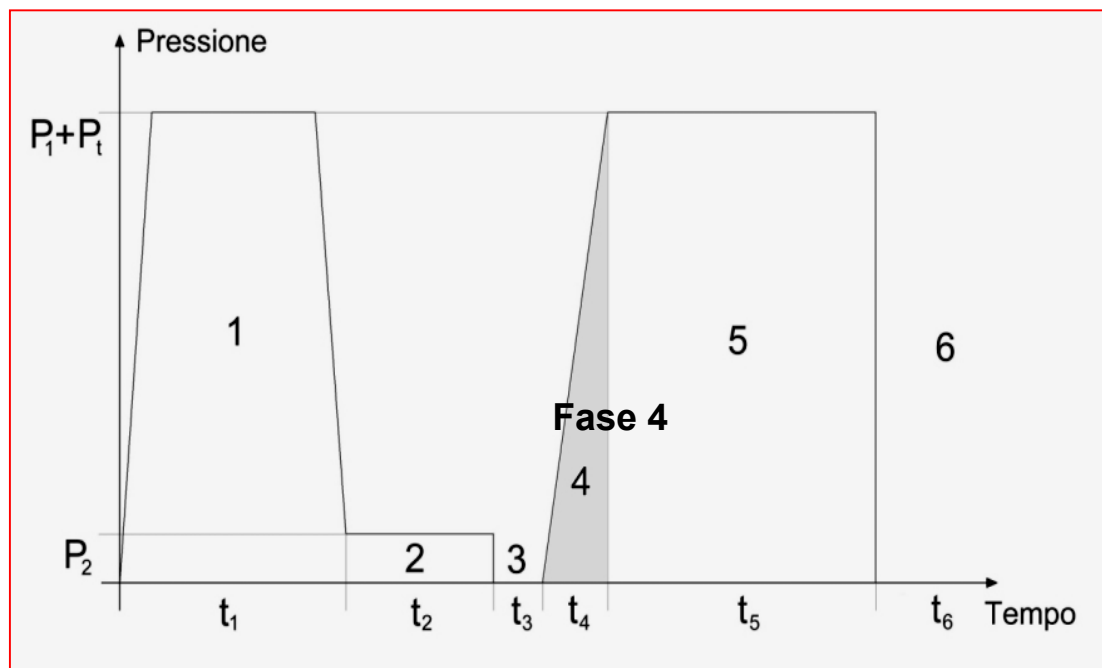
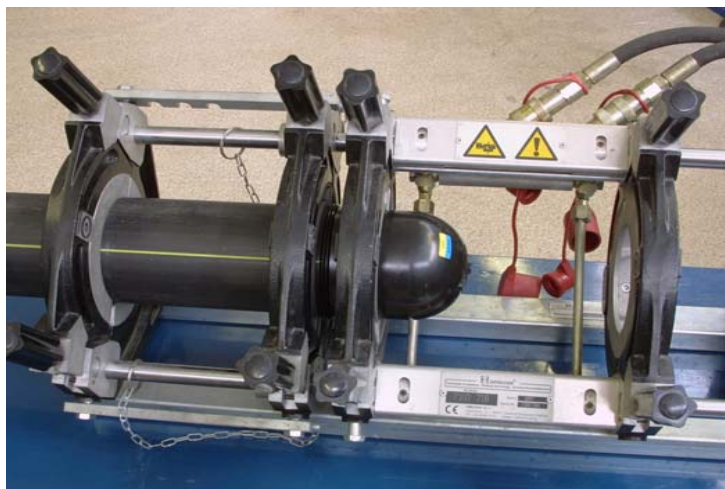


FASE 4 : Raggiungimento della pressione di saldatura

Incrementare la pressione, evitando la fuoriuscita del materiale

$P_4 = \text{variabile da } 0 \text{ a } P_5$

$t_4 = 4 + 0.4 \times S \quad (\text{sec})$

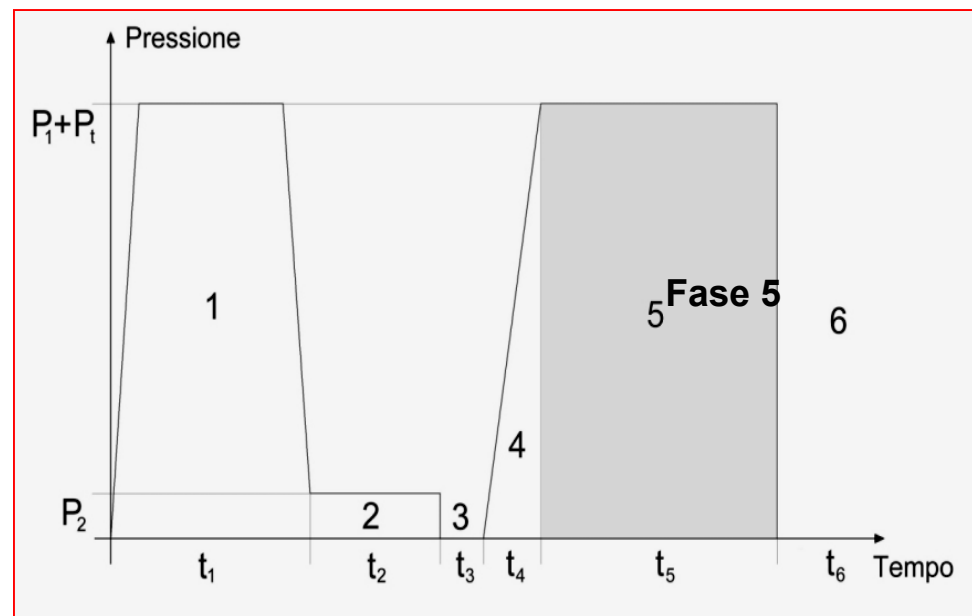
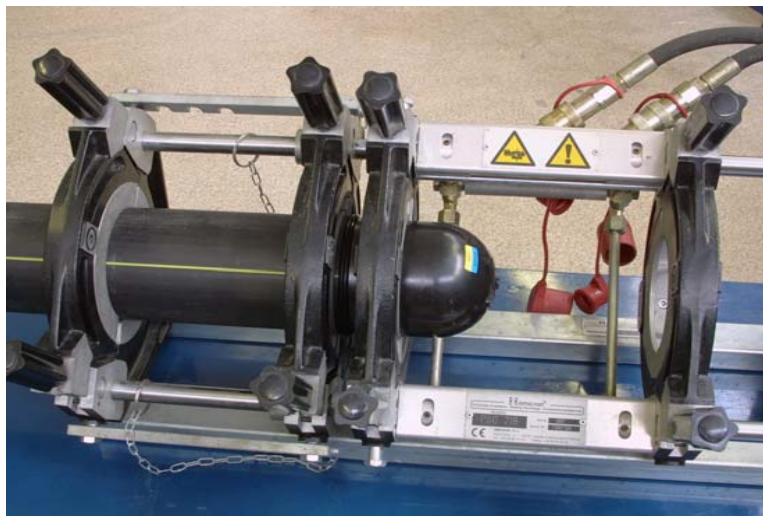
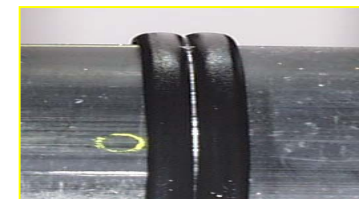


FASE 5 : Saldatura

Mantenere la pressione massima fino al completo ciclo di saldatura

$$P_5 = P_1 = 0,15 \times S_{\text{sal}} / S_{\text{cil}} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$t_5 = 3 + S \text{ (min)}$$

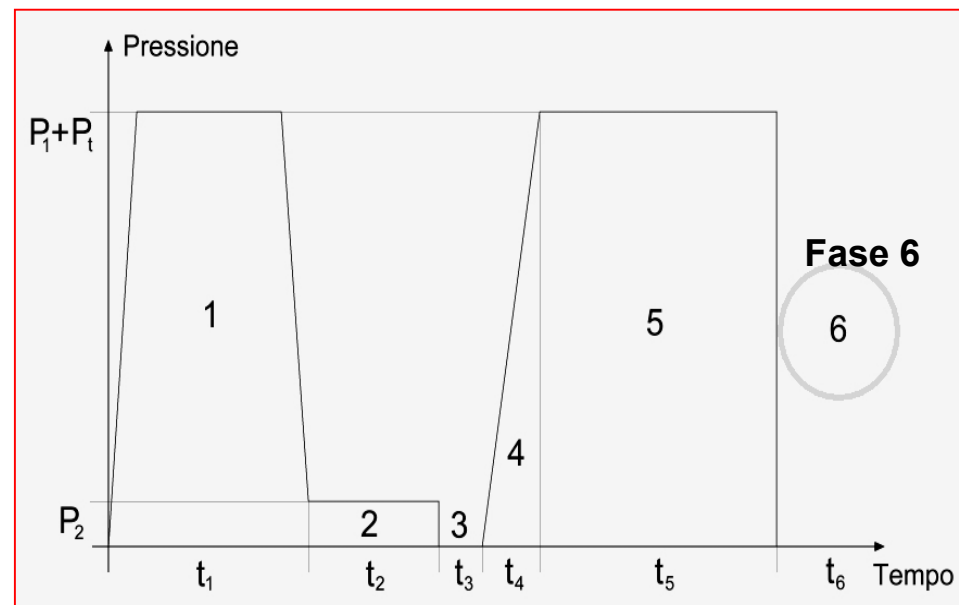
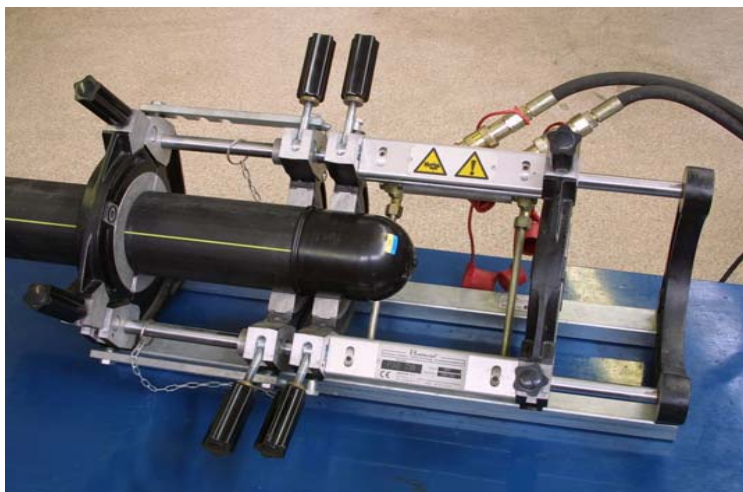


FASE 6 : Raffreddamento

Non sollecitare meccanicamente la giunzione fino al completo raffreddamento

$$P_6 = 0$$

$$t_6 = 1,5 \times S \text{ (min)} - \text{almeno 20 min}$$

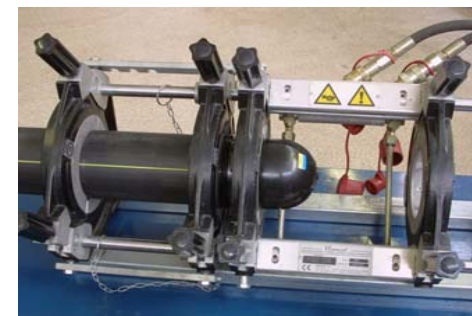


PE 80 e PE100 CON SPESSORI < 20 MM : PROCEDIMENTO SECONDO UNI 10520



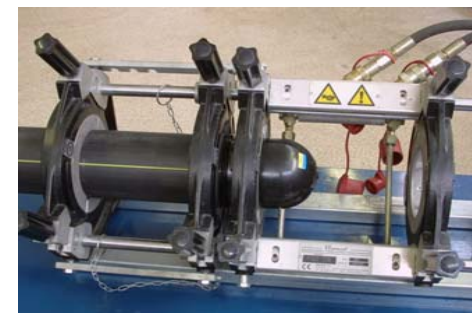
PRELIMINARI : Fresatura

FASE 4 : rampa di pressione



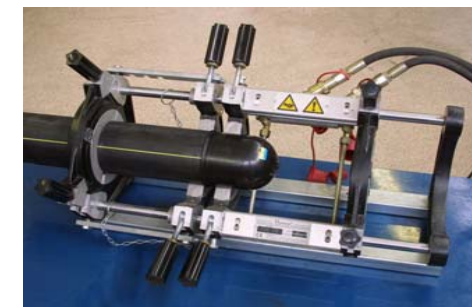
FASE 1-2: Formazione bordino e riscaldamento testate

FASE 5 : Saldatura



FASE 3 : Rimozione termoplastra

FASE 6 : Raffreddamento



PE 80 (MRS 8) - UNI10520 (01/97)												
D [mm]	s [mm]	SDR = D/s	T [°C]	①	②	③	④	⑤	⑥			
				* P ₁ [bar]	P ₂ Max [bar]	t ₂ [sec]	t ₃ Max [sec]	t ₄ [sec]	* P ₅ [bar]	t ₅ [min]	t ₆ Min [min]	
200	4,9	41,0	210	8,8	1,0	1,2	59	5	6	8,8	8	7
	6,2	33,0		11,1	1,1	1,5	74	6	6	11,1	9	9
	7,7	26,0		13,7	1,3	1,8	92	6	7	13,7	11	12
	9,6	21,0		16,9	1,5	2,2	115	7	8	16,9	13	14
	11,4	17,6	200	19,8	1,6	2,6	137	7	9	19,8	14	17
	11,9	17,0		21	1,7	2,8	143	8	9	21	15	18
	14,75	13,6		25	2,0	3,4	177	8	10	25	18	22
	18,2	11,0		31	2,3	4,1	218	9	11	31	21	27
225	22,4	9,0	210	37	2,7	4,9	269	11	13	37	25	34
	27,6	7,4		44	3,3	5,9	331	12	15	44	31	41
	5,5	41,0		11,1	1,1	1,5	66	6	6	11,1	9	8
	6,95	33,0		14,0	1,2	1,9	83	6	7	14,0	10	10
	8,65	26,0	200	17,3	1,4	2,3	104	7	7	17,3	12	13
	10,8	21,0		21	1,6	2,8	130	7	8	21	14	16
	12,8	17,6		25	1,8	3,3	154	8	9	25	16	19
	13,4	17,0		26	1,8	3,5	161	8	9	26	16	20
250	16,6	13,6	210	32	2,2	4,3	199	9	11	32	20	25
	20,5	11,0		39	2,6	5,2	246	10	12	39	24	31
	25,1	9,0		46	3,0	6,2	301	12	14	46	28	38
	31,1	7,4		56	3,6	7,4	373	13	16	56	34	47
	6,1	41,0	200	13,7	1,1	1,8	73	6	6	13,7	9	9
	7,75	33,0		17,3	1,3	2,3	93	6	7	17,3	11	12
	9,65	26,0		21	1,5	2,9	116	7	8	21	13	14
	11,95	21,0		26	1,7	3,5	143	8	9	26	15	18

*Si ricorda di impostare sulla centralina la somma di questo valore e della pressione di trascinamento P_t precedentemente misurata (valido solo per centraline manuali).

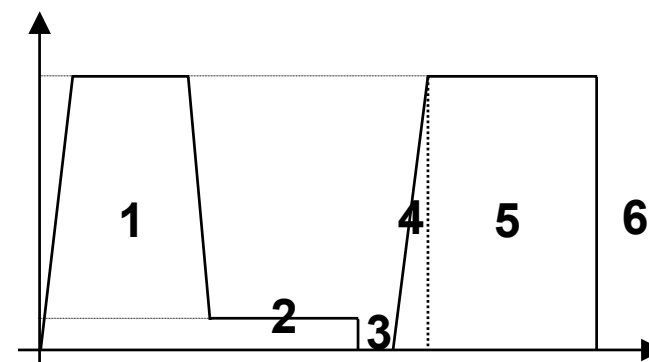


Tubo UNI 10910 PE 80 D.110 SDR11 S=10,0 mm

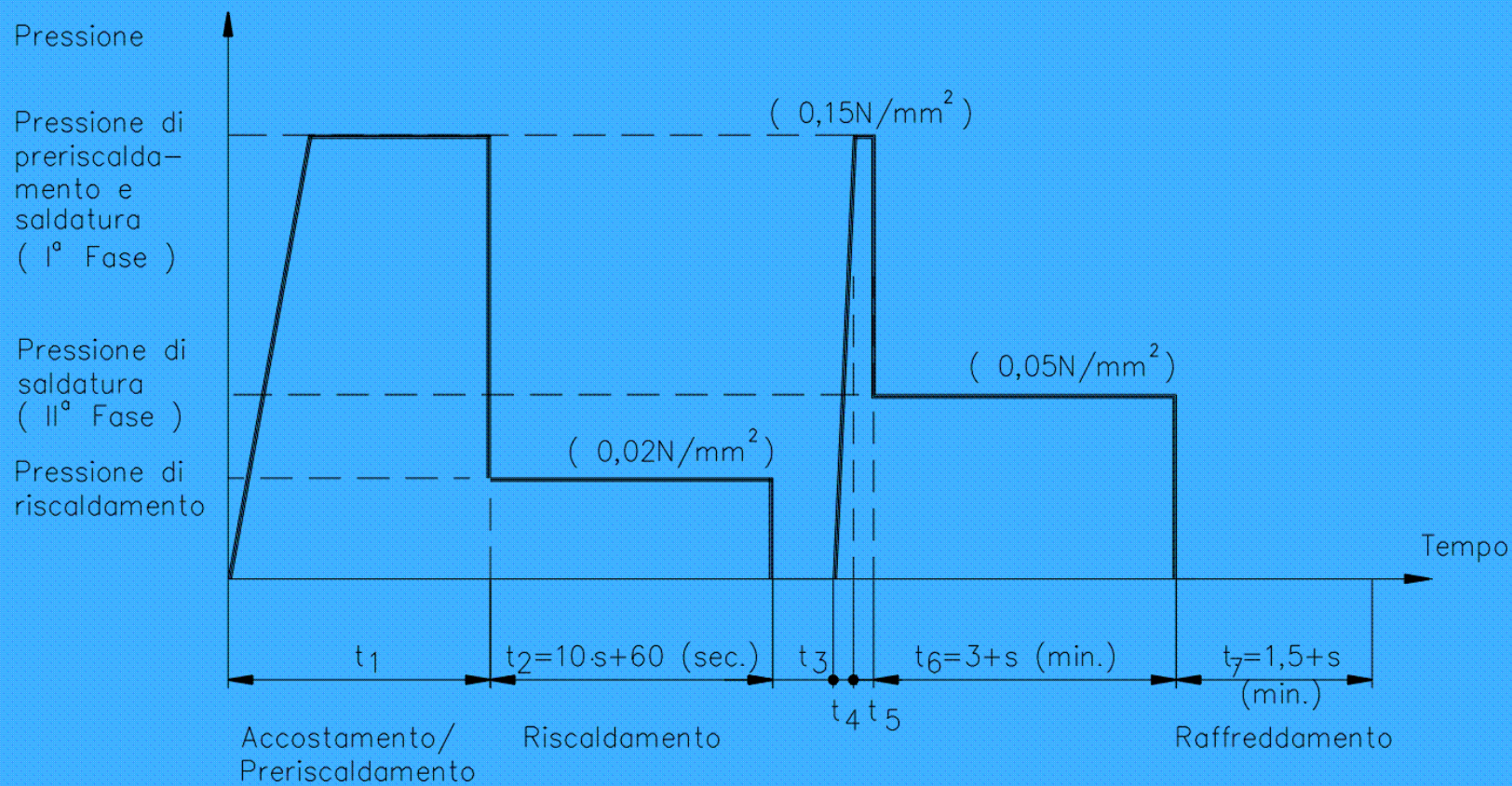
Fase 1: preliminari	6 min.
Fase 2: $(12 \times S) = (12 \times 10) =$	120 sec.
Fase 3: $(4 + 0,3 \times S) = (4 + 0,3 \times 10) =$	7 sec.
Fase 4: $(4 + 0,4 \times S) = (4 + 0,4 \times 10) =$	8 sec.
Fase 5: $(3 + S) = (3 + 10) =$	13 min.
Fase 6: $(1,5 \times S) = (1,5 \times 10) = 15$ min	20 min.
TOTALE	41 min,

Tubo UNI 10910 PE 80 D.250 SDR11 S=22,7 mm

Fase 1: preliminari	8 min.
Fase 2: $(12 \times S) = (12 \times 22,7) =$	272 sec.
Fase 3: $(4 + 0,3 \times S) = (4 + 0,3 \times 22,7) =$	11 sec.
Fase 4: $(4 + 0,4 \times S) = (4 + 0,4 \times 22,7) =$	13 sec.
Fase 5: $(3 + S) = (3 + 22,7) =$	26 min.
Fase 6: $(1,5 \times S) = (1,5 \times 22,7) = 34$ min	34 min.
TOTALE	73 min.



PE100 con SPESSORI > 20 MM : PROCEDIMENTO SECONDO UNI 10967



FASE1: ACCOSTAMENTO E PRERISCALDAMENTO

$$L_{\text{cordolo}} = (0,5 + 0,1 \times S) \text{ (mm)}$$

$$P1 = (0,15 \times 10 \times A_s / A_c + P_t) \text{ (bar)}$$

A_s = Area tubo, A_c = Area cilindri di spinta

- Effettuare i controlli preliminari
- Verificare che $0^\circ < T < +40^\circ\text{C}$
- Impostare la $T_{\text{piastra}} = 230^\circ + 10^\circ/-5^\circ\text{C}$

FASE 2 : RISCALDAMENTO

$$P2 = (0,02 \times 10 \times A_s / A_c) \text{ (bar)}$$

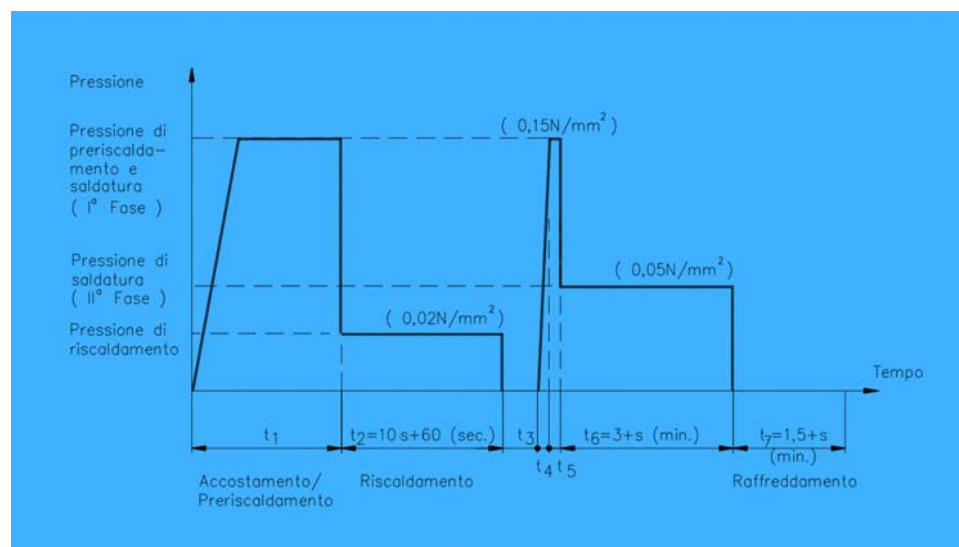
$$t_2 = 10 \times S + 60 \text{ (sec)}$$

FASE3: RIMOZIONE DEL TERMOLEMENTO

$$P3 = 0$$

$$t_{3\text{max}} = 10 \text{ sec per } De < 630 \text{ mm}$$

$$t_{3\text{max}} = 15 \text{ sec per } De > 630 \text{ mm}$$



FASE 4: RAMPA DI SALITA IN PRESSIONE

$t_{4\max} = 10$ sec.

P4 = variabile tra 0 e P5

FASE 5 :SALDATURA A P5

$P5 = (0,15 \times 10 \times A_s / A_c + P_t)$ (bar)

$t_5 = 10$ sec.

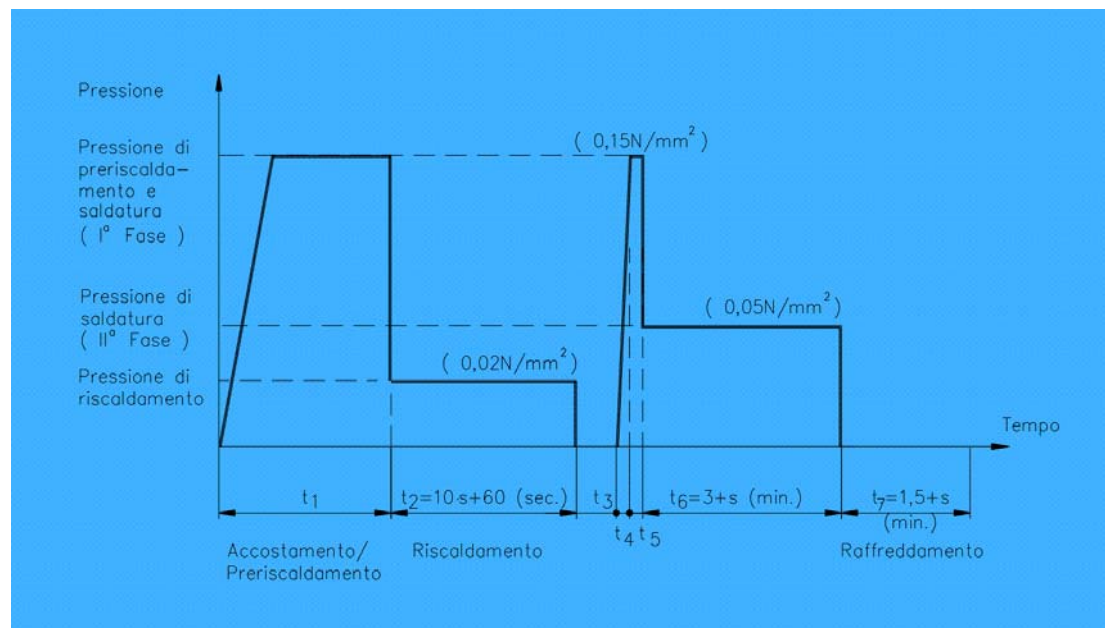
FASE 6 : SALDATURA A P6

$P6 = (0,05 \times 10 \times A_s / A_c)$ (bar)

$t_6 = (3 + S)$ (minuti)

FASE 7 : RAFFREDDAMENTO

$t_{7\min} = (1,5 \times S)$ (minuti)





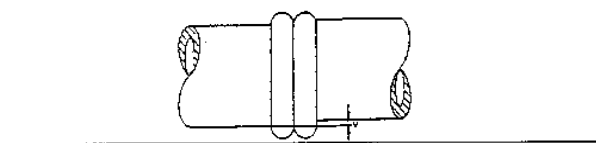
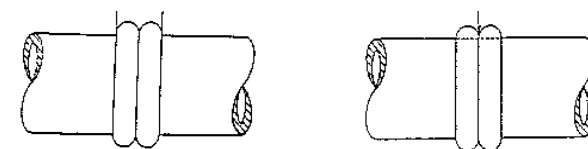
Controlli non distruttivi

- Esame visivo ed a raggi X
- Esame dimensionale
- Esame tramite asportazione del cordolo

Controlli distruttivi

- Prove a lungo termine
- Prove a breve termine

- Valuto solo i difetti esterni e non interni al cordolo
- Il cordolo deve risultare uniforme su tutta la circonferenza del giunto
- L'intaglio al centro deve rimanere sopra il D_e delle testate del giunto
- Non devono evidenziarsi porosità ed inclusioni di polvere
- Non devono evidenziarsi rotture superficiali
- La superficie del cordolo non deve essere eccessivamente lucida (indice di surriscaldamento)
- Il disassamento delle testate saldate <10% del loro spessore



DISASSAMENTO

Difetto riscontrato

Andamento irregolare del cordolo lungo la circonferenza del giunto

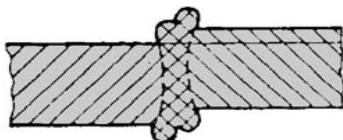
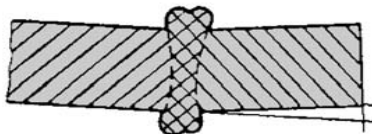
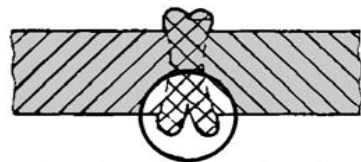
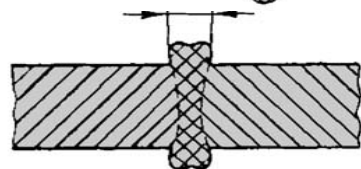
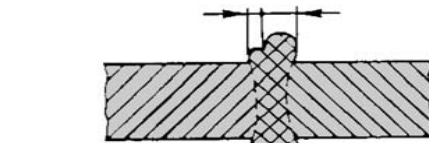
Larghezza del cordolo non conforme al valore previsto

Intaglio al centro del cordolo di profondità eccessiva

Contaminazione sulla superficie del cordolo

Lucentezza eccessiva della superficie del cordolo

Disassamento superiore al 10% dello spessore del giunto (tubo/raccordo)



Causa probabile

Preparazione poco accurata delle testate, distribuzione non uniforme del calore

Errata applicazione di uno o più parametri di saldatura (temperatura, pressione, tempi)

Valori di temperatura o di pressione di saldatura inferiori a quelli previsti

Pulizia non adeguata delle superfici da saldare

Surriscaldamento in fase di riscaldamento

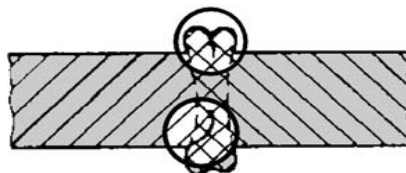
Eccessiva ovalizzazione delle testate da saldare o disassamento delle stesse o problemi strutturali saldatrice

Difetto riscontrato

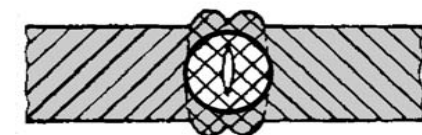
Mancanza di fusione



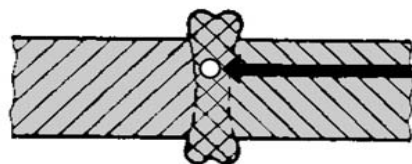
Rottura del cordolo



Cavità da ritiro in zona fusa



Porosità /
Inclusioni



Causa probabile

Temperatura del termoelemento troppo bassa, tempo di riscaldamento limitato, pressione troppo elevata che ha comportato un'eccessiva fuoriuscita di materiale

Surrisaldamento ed applicazione di un carico prima del completo raffreddamento

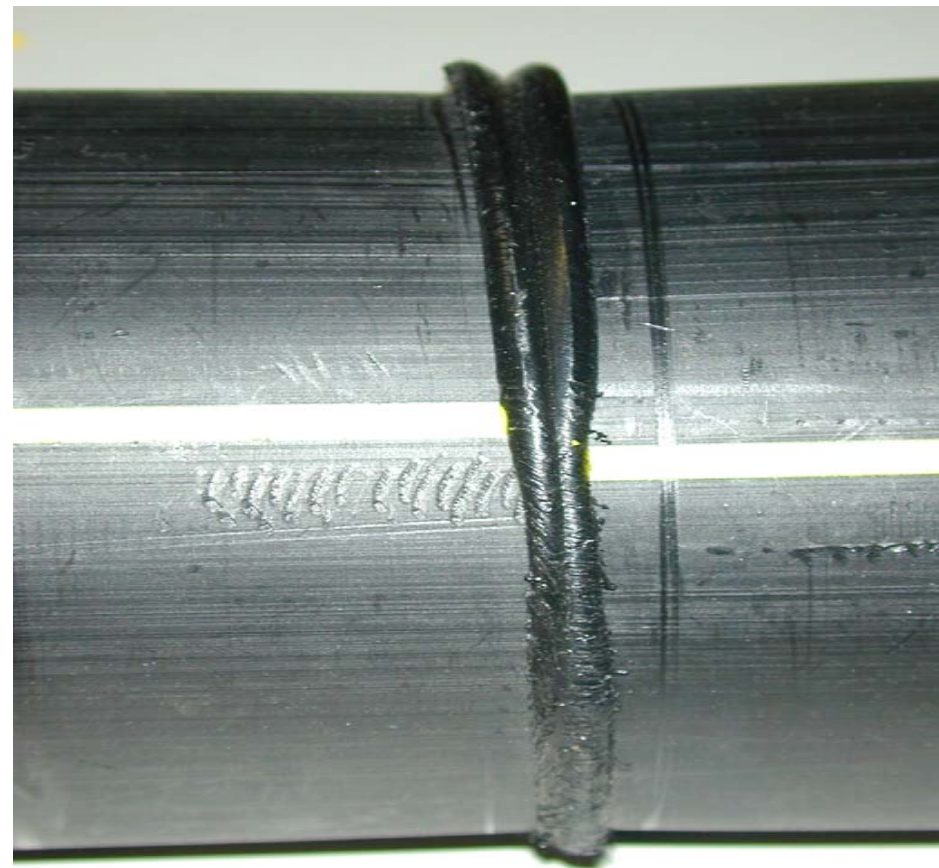
Insufficiente pressione di contatto o tempo di applicazione della stessa troppo limitato

Pulizia non adeguata delle superfici da saldare

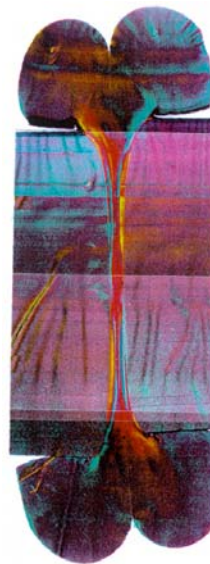
Cordolo uniforme



Cordolo non uniforme



Disassamento



Eccessiva pressione di saldatura, attacco termico



Sezione conforme, pressione di saldatura corretta

1. La larghezza del cordolo deve risultare:

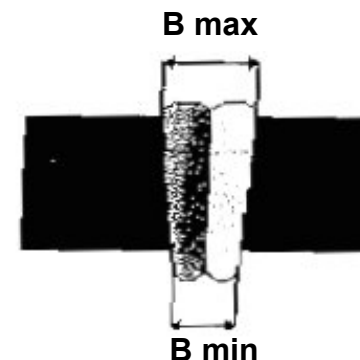
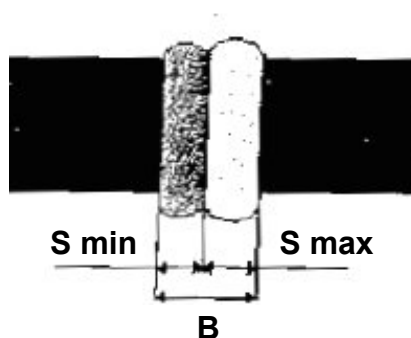
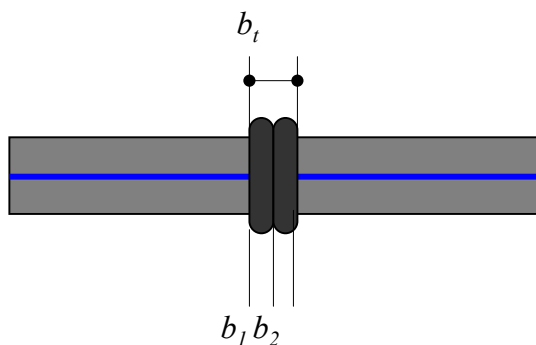
$(B_m - 10\% B_m) < B_i < (B_m + 10\% B_m)$ dove

$B_m = (B_{max} + B_{min})/2$ B_m = larghezza media del cordolo

2. La differenza algebrica dei cordoni del cordolo S1 ed S2 deve essere:

$|S1 - S2| < 10\% B$ per saldatura tubo/tubo

$|S1 - S2| < 20\% B$ per saldatura tubo/raccordo o raccordo/raccordo



Processo di saldatura T/T

Esame dimensionale del cordolo

L'esame dimensionale deve accertare la regolarità e la uniformità del cordolo.

3. In qualsiasi punto del cordolo di saldatura la larghezza B deve risultare compresa nei valori di tabella.

Spessore elementi saldati	Larghezza del cordolo	Spessore elementi saldati	Larghezza del cordolo
3	4-6	22	13-18
4	4-7	24	14-19
5	5-8	27	15-20
6	6-9	30	16-21
8	7-10	34	17-22
9	8-11	40	18-23
11	9-12	45	20-25
13	10-14	50	22-27
16	11-15	55	24-30
18	12-16	60	26-32
19	14-18	65	28-36

Processo di saldatura T/T

Esame con asportazione del cordolo

Esaminando visivamente la parte interna del cordolo asportato e piegandolo più volte si possono trarre utili indicazioni sulla qualità del giunto saldato.

- Separazione dei cordoli : mancanza di fusione
- Vertici dei cordoli troppo stretti: pressione eccessiva
tempi di riscaldamento limitati



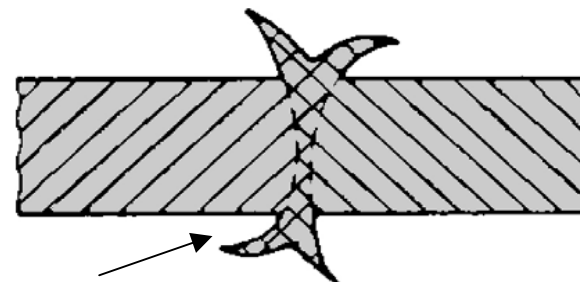
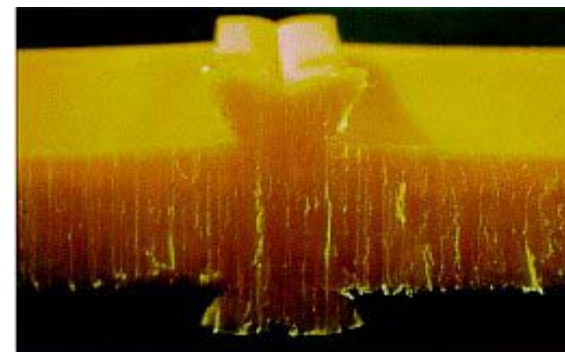
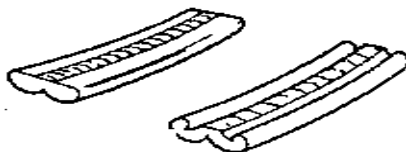
a)



b)



c)

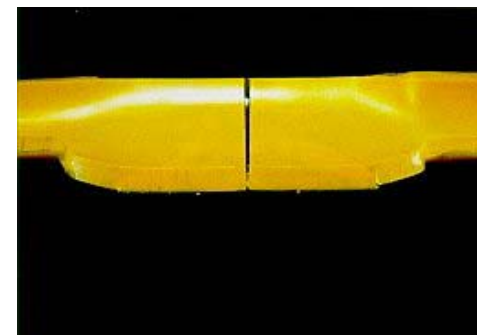


Configurazione ad “ali di gabbiano”

CONTROLLI A LUNGO TERMINE

- Prova a pressione o trazione a 80°C
(per accelerare il processo di scorrimento viscoso)

Richiedono tempi e costi elevati

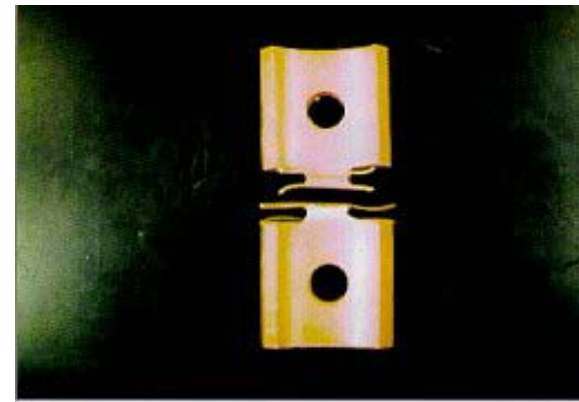


CONTROLLI A BREVE TERMINE

- Prova di trazione trasversale (UNI 10520)
- Prova di piegamento in saldatura (UNI 10520)
- Prova di sfilamento a trazione (UNI 9736)

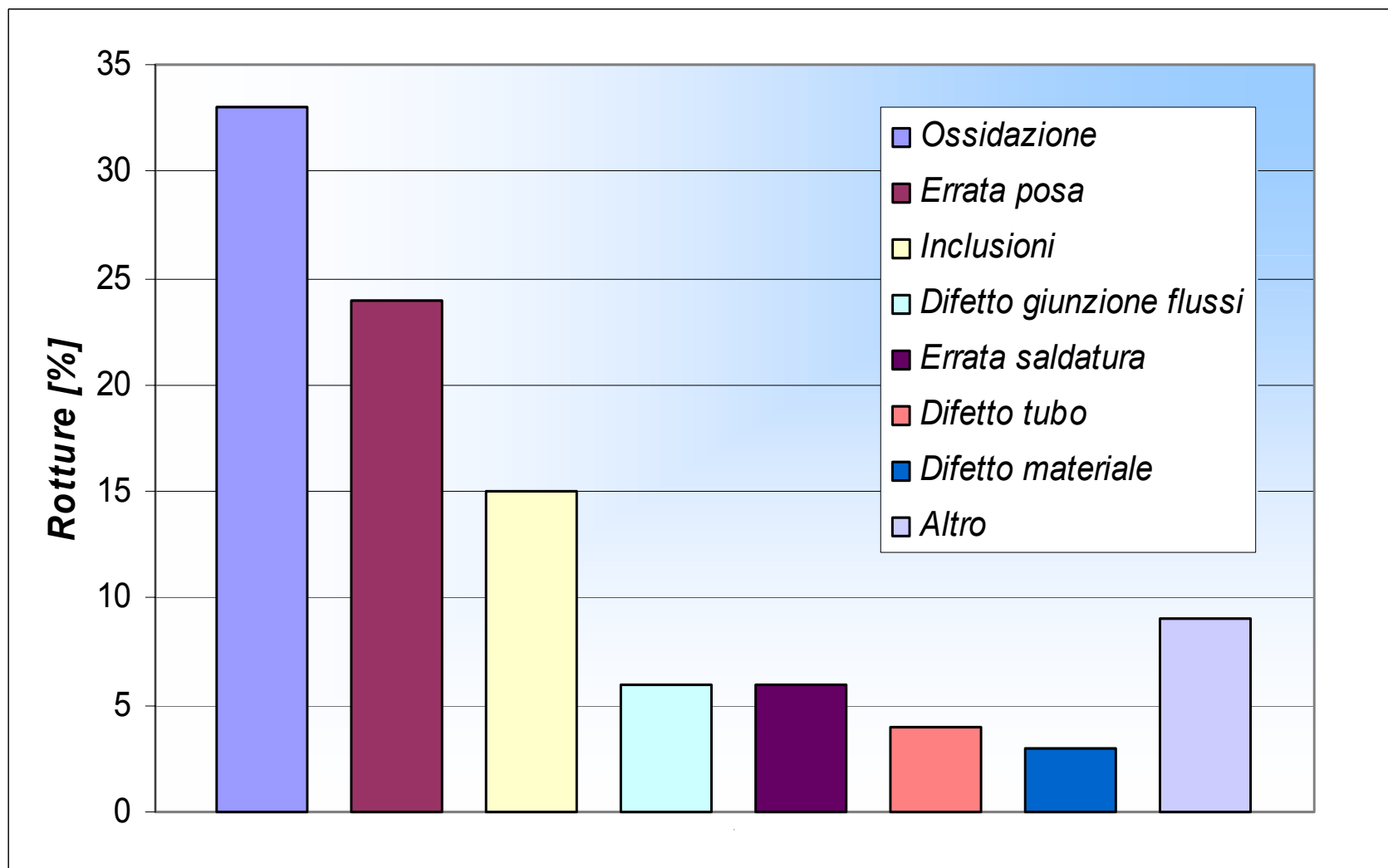
PE A : 19 Mpa

PE B : 15 Mpa



Processo di saldatura T/T

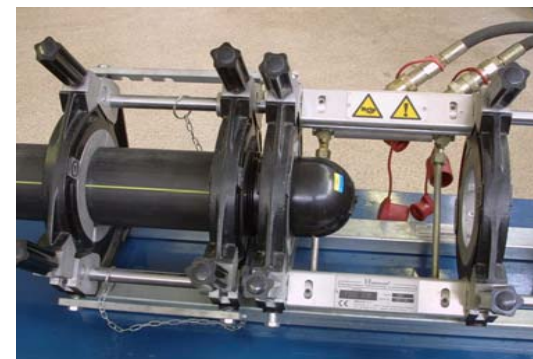
Principali cause di errore



Fonte: Politecnico MI anno 2004

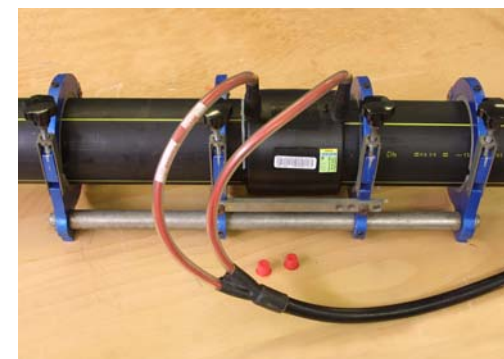
Saldatura T/T

- usata per $De > 90$ mm , competitiva per $De \geq 180$ mm
- adatta per lunghe tratte rettilinee
- adatta per tubi in barre e non in rotoli
- risparmio dei raccordi



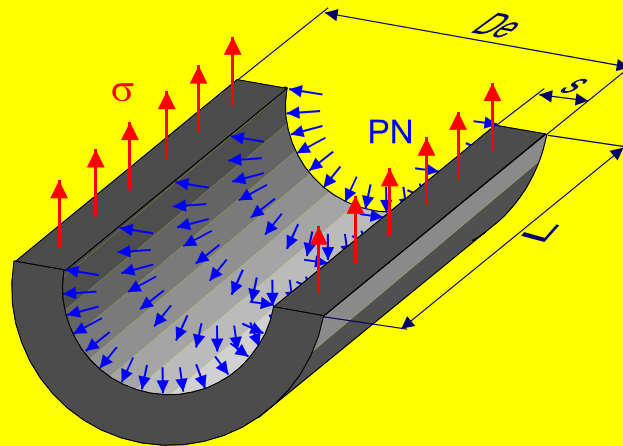
Saldatura E/F

- sistema più semplice e veloce
- attrezzature più economiche e facilmente trasportabili
- adatta per raccordi con SDR diversi (PE80-PE100)
- adatta per ingombri limitati e tratte in pendenza
- necessaria per realizzare derivazioni e riparazioni
- nel punto di giunzione ho lo spessore del raccordo
- minor incidenza dell'abilità dell'operatore



In generale comunque non è possibile stabilire quale sia in assoluto il processo migliore ed eseguire una rete completa con un solo sistema di saldatura

Dimensionamento idraulico



- ✓ **Aspetti idraulici:** erogazione del fluido
- ✓ **Aspetti meccanici:** resistenza alle sollecitazioni esterne

Calcolo idraulico:

Condotte dimensionate per soddisfare le massime portate richieste dalle varie sezioni di impianto

- **Requisiti:** soddisfacimento delle portate, delle velocità e delle pressioni

- ✓ **Bassa scabrezza (tubi PE tecnicamente lisci)**
- ✓ **Assenza di incrostazioni**
- ✓ **Flessibilità e basso modulo di elasticità a breve termine**



attenuazione effetti di colpo d'ariete



elevata deformabilità (verifica meccanica)

Grandezze da considerare:

- Diametro interno del tubo	d_i	
- Scabrezza della superficie interna del tubo	ε	($D < 200$: $\varepsilon = 0,01$ mm e $D > 200$: $\varepsilon = 0,05$ mm)
- Lunghezza condotta	L	
- Differenza di quota estremità condotta	Δz	
- Differenza di pressione estremità condotta	Δp_h	
- Velocità dell'acqua in condotta	V	($v = 0,5 - 2,5$ m/sec)
- Portata volumetrica	Q	

Perdite di carico totali:

Distribuite ($H=J \cdot L$) + Localizzate ($H_1 + \dots + H_n$)

$$H_{\text{tot}} = H + H_1 + \dots + H_n$$

- ✓ Resistenza al moto per attrito interno del fluido
- ✓ Resistenza al moto per attrito contro le pareti del tubo

Equazione di *Darcy-Weisbach*

$$H = J \cdot L = \frac{8 \cdot \lambda \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d_i^5} \cdot L$$

Il coefficiente di attrito λ dipende da:

- Scabrezza ε e diametro interno del tubo d_i
- Regime di moto (per tubi in PE: Hp di moto turbolento perfettamente lecita)
- Proprietà fisiche del fluido (viscosità cinematica ν)

Equazione di Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71 \cdot d_i} \right)$$

Il numero di Reynolds Re è definito da:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot d_i}{\nu}$$

La viscosità cinematica ν dell'acqua è f(temperatura)

Temperatura °C	Viscosità cinematica m ² /s
0	1,79 10 ⁻⁶
4	1,52 10 ⁻⁶
10	1,31 10 ⁻⁶
15	1,14 10 ⁻⁶
20	1,01 10 ⁻⁶
30	0,80 10 ⁻⁶
40	0,65 10 ⁻⁶

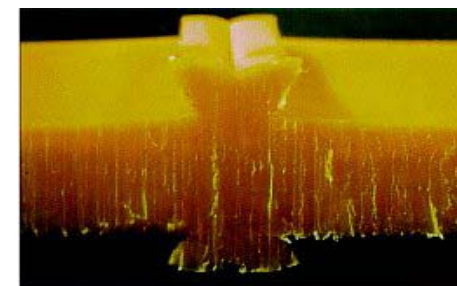
Si verificano in presenza di raccordi o valvole

$$H_i = k_i \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Tipo di raccordo	Valore K_i
Gomito 90°	1.00
Gomito 45°	0.40
Curva 90°	0.20
Curva 45°	0.10
Tee (flusso in linea)	0.35
Tee (derivazione)	1.20
Valvola regolatrice	
Aperta	0.12
1/4 chiusa	1.00
1/2 chiusa	6.00
3/4 chiusa	24.00
Valvola a farfalla aperta	0.30
Valvola a sfera aperta	5.60
Riduzione in allargamento	
d/D - 1/4	0.53
d/D - 1/2	0.35
d/D - 3/4	0.13
Riduzione restringimento	
d/D - 1/4	0.27
d/D - 1/2	0.20
d/D - 3/4	0.13

Saldature TT : presenza di cordoli interni

- Perdite trascurabili per $D > 110$ mm e/o saldature poco frequenti
- $H = 1,02 \cdot J \cdot L$ ovvero incremento del 2% sulle $H_{\text{distribuite}}$
per $D < 110$ mm e/o più di una saldatura ogni 2 m



- Si impongono le condizioni di funzionamento desiderate:

$$Q, \Delta p_h, L, \Delta z$$

- Si determina il diametro interno del tubo d_i
- In funzione della portata Q , si verifica la velocità V

- Si calcola la perdita di carico massima ammissibile

$$H_{tot} = \Delta z + \frac{\Delta_{ph}}{\rho_a \cdot g}$$

- Si risolve per iterazione il seguente sistema non lineare di equazioni implicite

nelle incognite λ e d_i

Equazione di Darcy-Weisbach

Equazione di Colebrook-White

$$\left\{ \begin{array}{l} H = J \cdot L = \frac{8 \cdot \lambda \cdot Q^2}{g \cdot \pi^2 \cdot d_i^5} \cdot L \\ \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71 \cdot d_i} \right) \end{array} \right.$$

- Calcolato il d_i lo si approssima al diametro commerciale d_{ic} subito superiore (che dipende dall'SDR del dimensionamento meccanico)
- Il nuovo valore d_{ic} determina un nuovo valore di portata Q che dovrebbe essere calcolato reiterando la procedura di calcolo
- Solitamente si trascura la variazione di Q e si calcola il valore approssimato della velocità del fluido in condotta:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{ic}^2}$$

La geometria della condotta è ora assegnata:

$$d_i, L, \Delta z$$

1° caso: si fissa la variazione di pressione Δp_h e si determina la velocità V e la portata Q erogata

2° caso: è nota la velocità V e si deve calcolare la pressione in uscita P_{out}

- Si fissa la Δp_h e si assumono nulle le perdite di carico localizzate

- Si calcola la perdita di carico distribuita = perdita H totale

$$H_{tot} = \Delta z + \frac{\Delta_{ph}}{\rho_a \cdot g}$$

- Si risolve per iterazione il seguente sistema non lineare di equazioni implicite nelle incognite λ e V

Equazione di Darcy-Weisbach

Equazione di Colebrook-White

$$\begin{cases} V = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d_i \cdot H}{\lambda \cdot L}} \\ \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71 \cdot d_i} \right) \end{cases}$$

Si calcola il valore di portata Q

$$Q = \frac{\Pi \cdot v \cdot d_i^2}{4}$$

- E' nota la velocità V e si assumono nulle le perdite di carico localizzate
- Si risolve per iterazione il seguente sistema non lineare di equazioni implicite nelle incognite **H e V**

$$\begin{array}{l}
 \text{Equazione di Darcy-Weisbach} \\
 \text{Equazione di Colebrook-White}
 \end{array}
 \left\{ \begin{array}{l}
 H = \frac{\lambda \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot d_i} \cdot L \\
 \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3,71 \cdot d_i} \right)
 \end{array} \right.$$

- Si calcola il valore della pressione del fluido in uscita dalla condotta

$$P_{out} = (P_{in} + \Delta_{ph}) = P_{in} + \rho_a \cdot g \cdot (\Delta z - H)$$

Fenomeno di transitorio idraulico per fluttuazioni di pressione (apertura/chiusura saracinesca, accensione o spegnimento pompa)

Nel caso del PE è generalmente trascurabile rispetto alle tubazioni rigide tradizionali

Il D.M. 12.12.85 fissa delle sovrappressioni massime indipendentemente dal tipo di materiale utilizzato

Pressione del fluido trasportato (Mpa)	Sovrapressione massima consentita (Mpa)
0,6	0,3
0,6 - 1	0,3 - 0,4
1 - 2	0,4 - 0,5
2 - 3	0,5 - 0,6

t_r = durata operazione di regolazione portata

t_c = durata critica $t_c = \frac{2 \cdot L^*}{a}$ L^* = tratto a monte del punto di manovra

a = celerità dell'onda di perturbazione $a = \frac{C_o}{\sqrt{1 + \frac{E_a}{E_s} \cdot (SDR - 2)}}$

E_a = modulo di compressibilità del fluido (2030x10⁶ N/mm² per l'acqua)

E_s = modulo di elasticità a breve termine del PE

(PE80 :800x10⁶ N/mm², PE100 1000x10⁶ N/mm²)

C_o = celerità del suono nel fluido (1425 m/s per l'acqua)

fenomeno brusco $t_r < t_c$ **Equazione di Allievi**

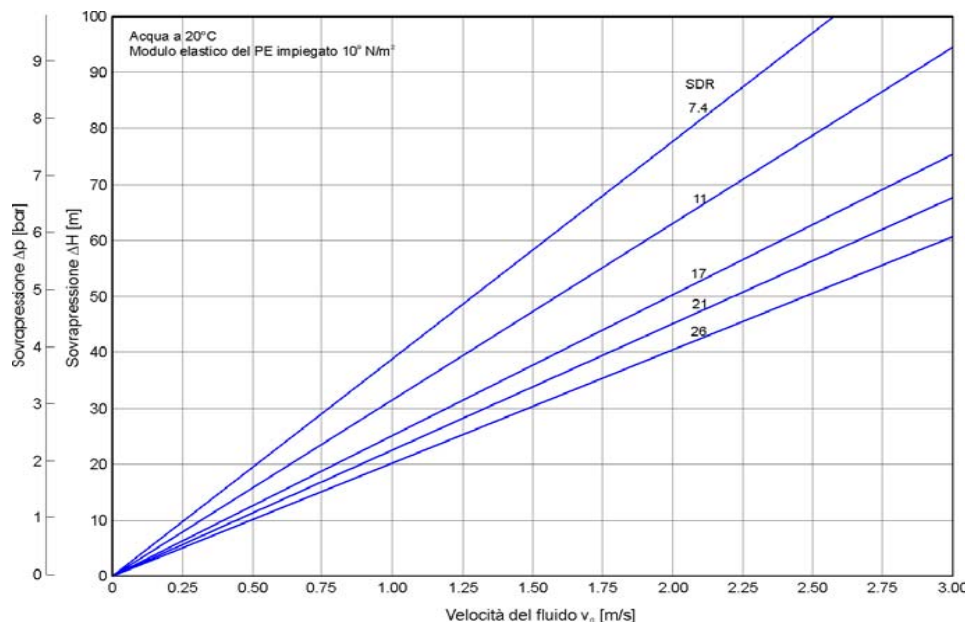
$$\Delta p_a = a \cdot v \cdot \rho_a$$

fenomeno lento $t_r > t_c$ **Equazione di Michaud**

$$\Delta p_a = \frac{2L^* \cdot v \cdot \rho_a}{t_r}$$

Il modulo di elasticità E_s del PE è \ll a quello dell'acciaio a parità di PN:

- * aumenta di circa 4 volte il T_{critico} ed aumenta la soglia per manovre brusche
- * diminuisce di circa 4 volte la sovrappressione



Valori tipici di sovrappressione
per condotte in PE100

ΔPa

CONCLUSIONI:

Con i tubi in PE si ottengono:

- significative riduzioni delle perdite di carico distribuite (bassi valori della scabrezza ε , 5-10 volte inferiore all'acciaio, 20-100 volte inferiore alla ghisa, 100-200 volte inferiore al cemento)
- significative riduzioni dei diametri, a parità di Q

Molto importante è però la **verifica di deformabilità per carichi esterni** (definizione dell'SDR, spessore tubo)

Dimensionamento meccanico dei tubi interrati e fuori terra

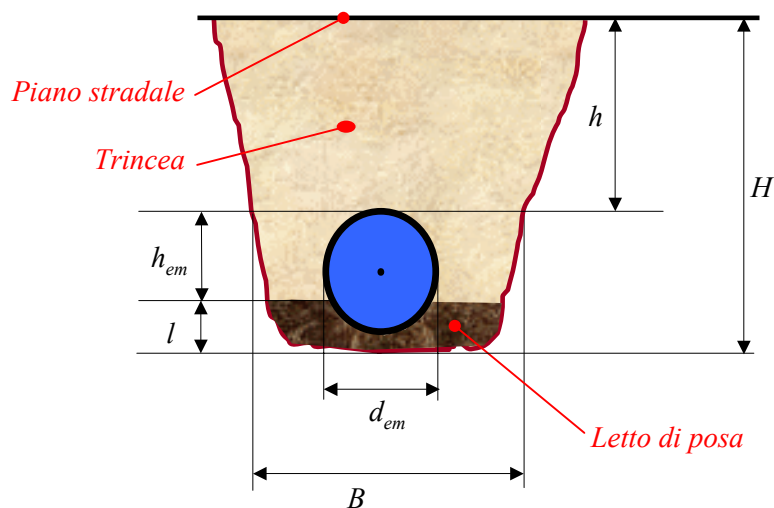


Parametri di calcolo

- **Profondità di interramento**
- **Tipologia del terreno**
- **Tipologia del materiale di riporto**
- **Grado di compattezza del materiale di riempimento**
- **Eventuale presenza di acqua di falda**
- **Intensità del traffico stradale**

Ipotesi di trincea stretta

$$B \ll H$$



Si ritiene valida la formula di Marston

Verifica delle sollecitazioni

$$q_t = C_d \cdot \gamma \cdot B \quad [\text{N/m}^2]$$

Larghezza scavo

Peso specifico materiale di reinterro

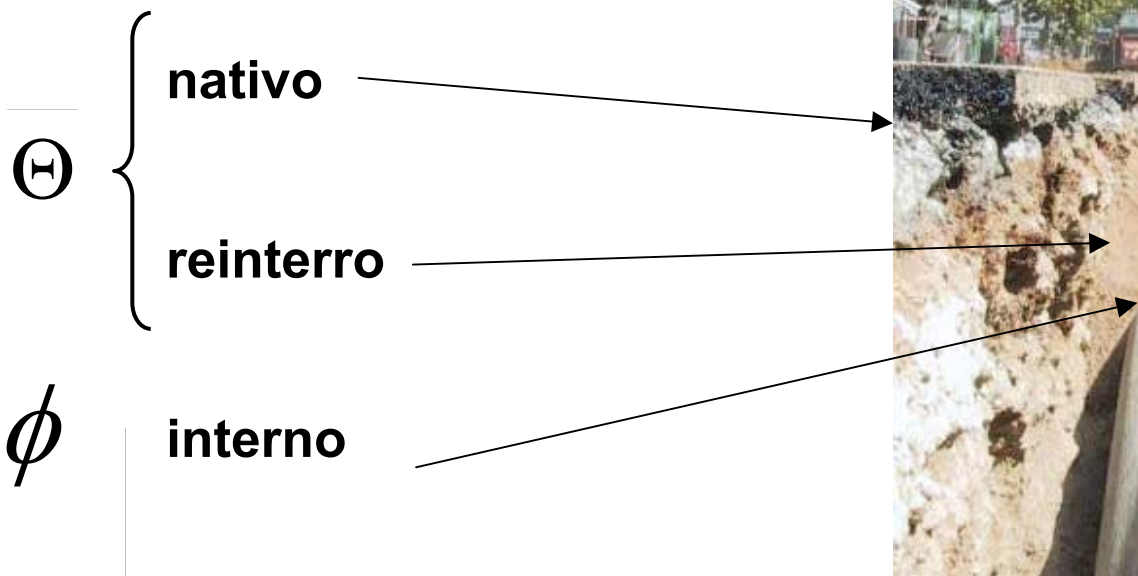
$$C_d = \frac{1 - e^{-2 \cdot K \cdot \tan \Theta \cdot H / B}}{2K \cdot \tan \Theta}$$

Coefficiente di Marston

$$K = \tan^2 \left(\frac{90^\circ - \phi}{2} \right)$$

Coefficiente adimensionale

Coefficienti di attrito



Carichi mobili: q_m

carichi stradali pesanti



carichi stradali medi

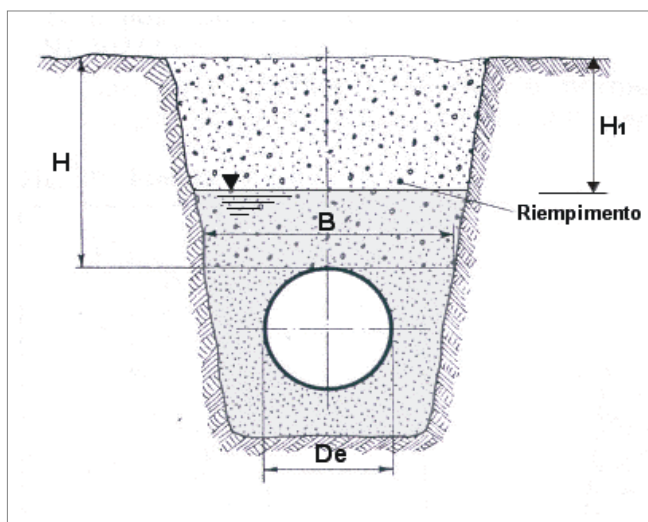


carichi stradali leggeri



Carico per acqua di falda: q_t

Trincea con acqua di falda alla profondità H_1



Modulo di reazione del terreno E_s e classe di compattazione



Terreno ghiaia e granulare



Sabbia granulare



Limo ed argilla - coesivo



Ghiaia con argilla granulare



Rigidità del tubo R_t

R_t è funzione di SDR , D_e , E_{PE}



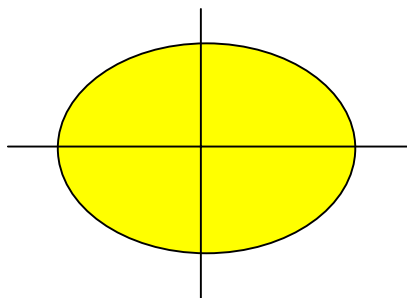
Carico compressivo Q

$Q = (Q_t + Q_m + Q_t)$ deforma il tubo verticalmente ed orizzontalmente  δ

Per la deformazione δ si fa uso della formula di Sprangler :

$$\frac{\delta}{d_e} = \frac{0,083 * Q}{8R_t + 0,061E_s}$$

Verifica: $\frac{\delta}{d_e} \leq 5\%$



Cosa dobbiamo intendere per tubo in PE fuori terra?

- **Tubazioni sospese**
- **Tubazioni inserite all'interno di cunicoli**
- **Tubazioni intubate**

- La dilatazione
- La compensazione della dilatazione con:
 - **Bracci di compensazione**
 - **Compensatori meccanici**
- Distanza dei supporti

- Dilatazione dovuta alle variazioni di temperatura

$$\Delta L_T = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_0$$

- Dilatazione per sforzo dovuto alla pressione di esercizio

$$\Delta L_p = \frac{10^5 \cdot p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{E \cdot \left(\frac{d_e^2}{d_i^2} - 1 \right)} \cdot L_0$$

■ Braccio elastico

$$L_{fless} = \sqrt{\frac{3 \cdot d_e \cdot L_0 \cdot \varepsilon \cdot E}{\sigma_{fless.amm.} \cdot 10^6}}$$

L_{fless} = braccio elastico

$\sigma_{fless.amm.}$ = sollecitazione a flessione ammessa = 15% della σ_s progetto

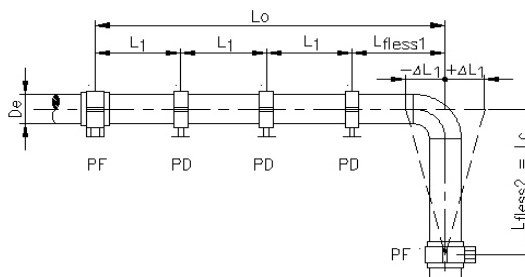
L_0 = lunghezza tratto da compensare

Deformazione a causa della variazione di temperatura e/o pressione

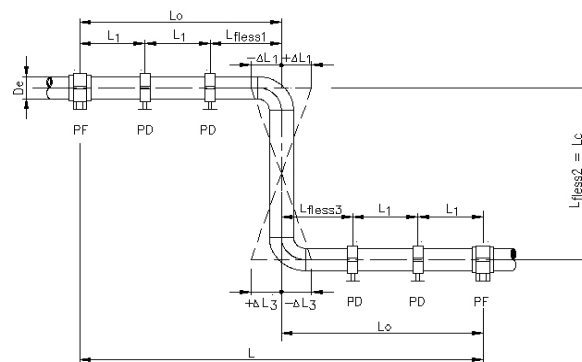
$$\varepsilon = \frac{\Delta L_T}{L_0} + \frac{\Delta L_p}{L_0}$$

E = modulo di elasticità del polietilene

Braccio elastico a L



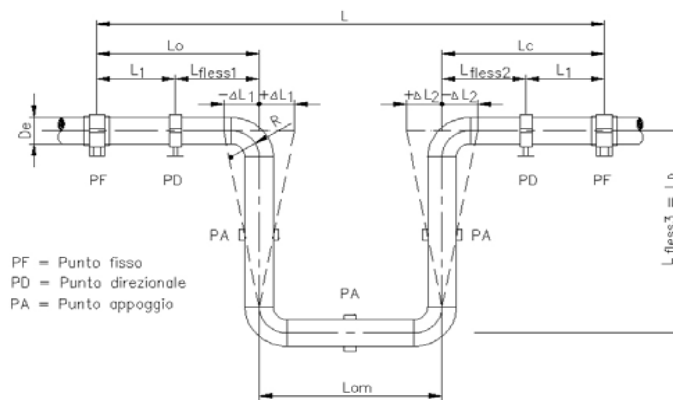
Braccio elastico a Z

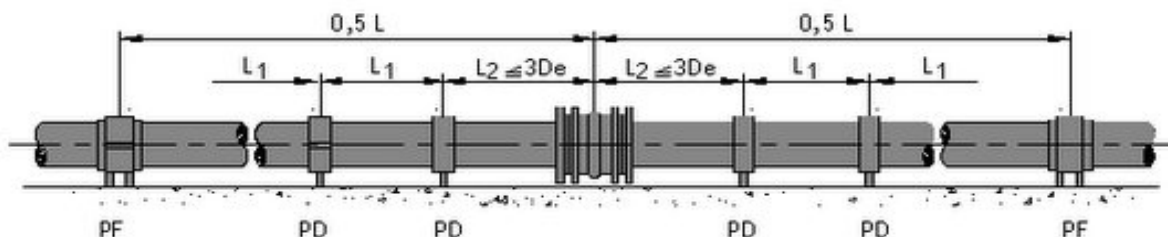


$$L_{fless} \geq (R + 2 \cdot de)$$

Braccio elastico a U

$$L_{om} \geq 2 (R + de)$$





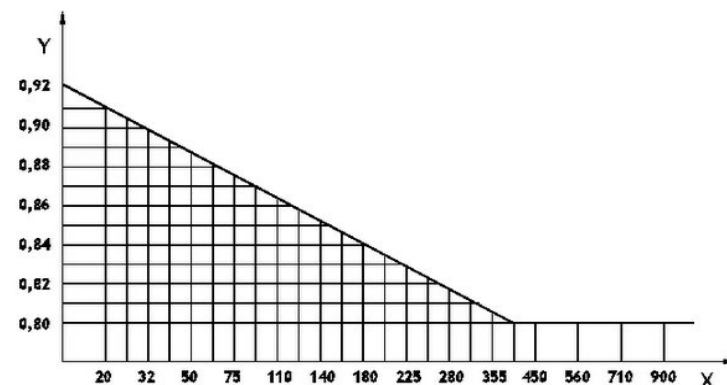
$$L_1 = C_{de} \cdot \sqrt[3]{E \cdot I \cdot q^{-1} \cdot 10^{-6}}$$

C_{de} = coefficiente correzione

E = modulo di elasticità del polietilene

$$I = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) = \text{momento geometrico di inerzia}$$

q = peso specifico della condotta per unità di lunghezza



Dimensionamento meccanico dei tubi interrati e fuori terra

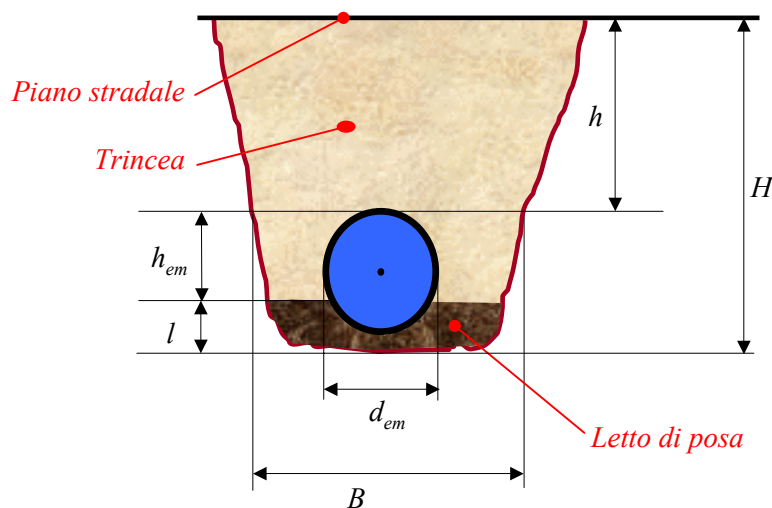


Parametri di calcolo

- **Profondità di interramento**
- **Tipologia del terreno**
- **Tipologia del materiale di riporto**
- **Grado di compattezza del materiale di riempimento**
- **Eventuale presenza di acqua di falda**
- **Intensità del traffico stradale**

Ipotesi di trincea stretta

$$B \ll H$$



Si ritiene valida la formula di Marston

Verifica delle sollecitazioni

$$q_t = C_d \cdot \gamma \cdot B \quad [\text{N/m}^2]$$

Larghezza scavo

Peso specifico materiale di reinterro

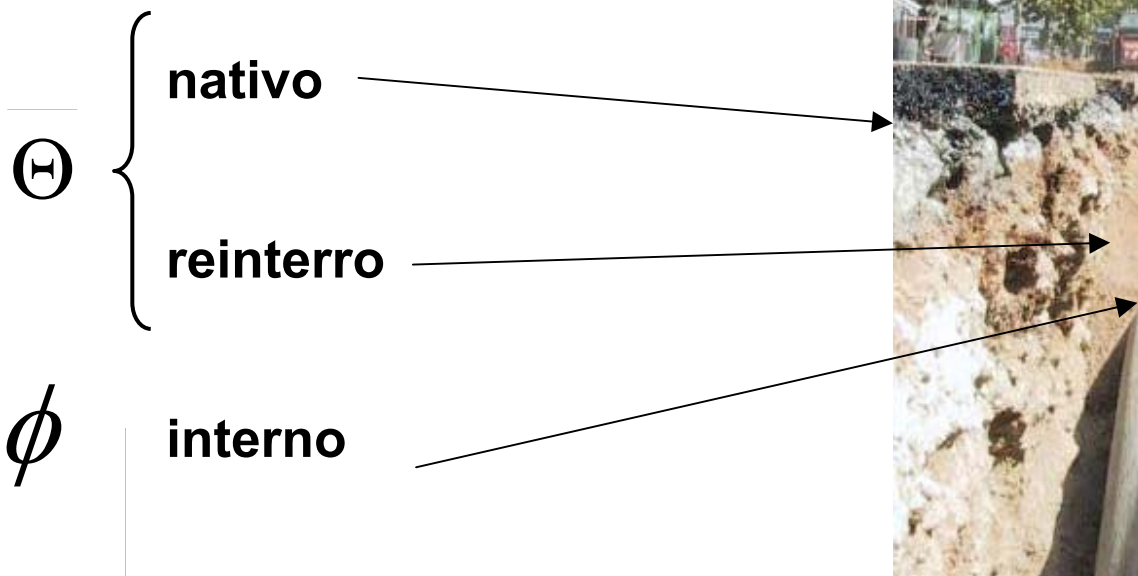
$$C_d = \frac{1 - e^{-2 \cdot K \cdot \tan \Theta \cdot H / B}}{2K \cdot \tan \Theta}$$

Coefficiente di Marston

$$K = \tan^2 \left(\frac{90^\circ - \phi}{2} \right)$$

Coefficiente adimensionale

Coefficienti di attrito



Carichi mobili: q_m

carichi stradali pesanti



carichi stradali medi

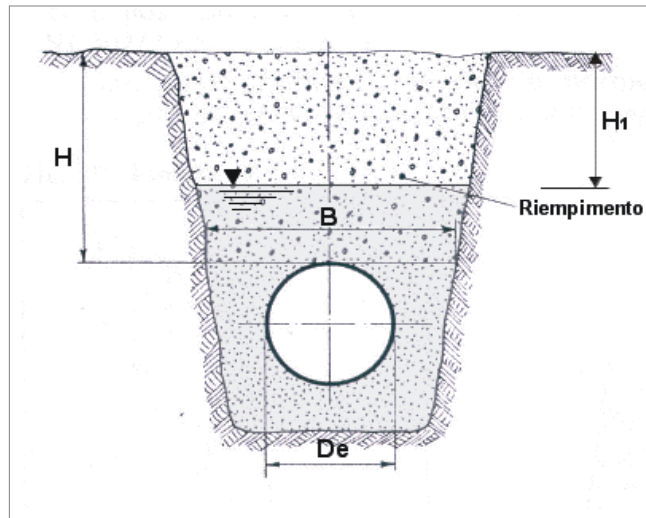


carichi stradali leggeri



Carico per acqua di falda: q_t

Trincea con acqua di falda alla profondità H_1



Modulo di reazione del terreno E_s e classe di compattazione



Terreno ghiaia e granulare



Limo ed argilla - coesivo



Sabbia granulare



Ghiaia con argilla granulare



Rigidità del tubo R_t

R_t è funzione di SDR , D_e , E_{PE}



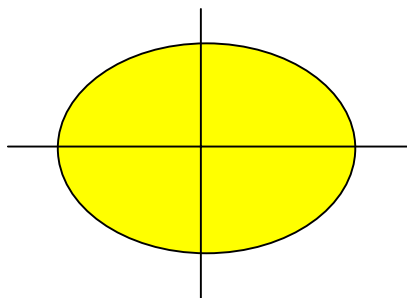
Carico compressivo Q

$Q = (Q_t + Q_m + Q_t)$ deforma il tubo verticalmente ed orizzontalmente  δ

Per la deformazione δ si fa uso della formula di Sprangler :

$$\frac{\delta}{d_e} = \frac{0,083 * Q}{8R_t + 0,061E_s}$$

Verifica: $\frac{\delta}{d_e} \leq 5\%$



Cosa dobbiamo intendere per tubo in PE fuori terra?

- **Tubazioni sospese**
- **Tubazioni inserite all'interno di cunicoli**
- **Tubazioni intubate**

- La dilatazione
- La compensazione della dilatazione con:
 - **Bracci di compensazione**
 - **Compensatori meccanici**
- Distanza dei supporti

- Dilatazione dovuta alle variazioni di temperatura

$$\Delta L_T = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_0$$

- Dilatazione per sforzo dovuto alla pressione di esercizio

$$\Delta L_p = \frac{10^5 \cdot p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{E \cdot \left(\frac{d_e^2}{d_i^2} - 1 \right)} \cdot L_0$$

■ Braccio elastico

$$L_{fless} = \sqrt{\frac{3 \cdot d_e \cdot L_0 \cdot \varepsilon \cdot E}{\sigma_{fless.amm.} \cdot 10^6}}$$

L_{fless} = braccio elastico

$\sigma_{fless.amm.}$ = sollecitazione a flessione ammessa = 15% della σ_s progetto

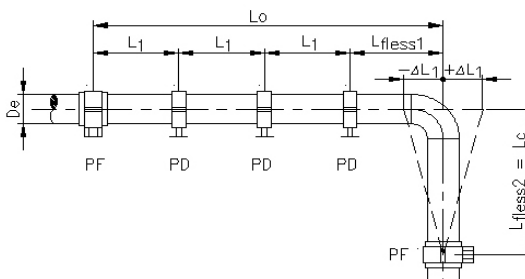
L_0 = lunghezza tratto da compensare

Deformazione a causa della variazione di temperatura e/o pressione

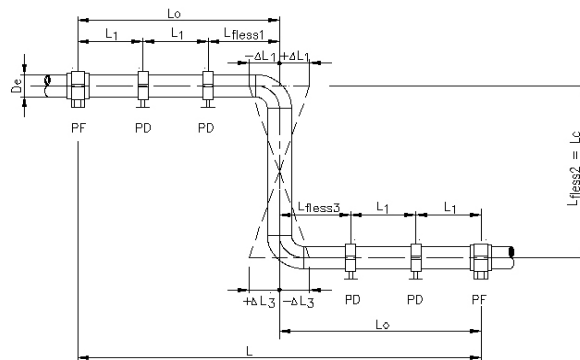
$$\varepsilon = \frac{\Delta L_T}{L_0} + \frac{\Delta L_p}{L_0}$$

E = modulo di elasticità del polietilene

Braccio elastico a L



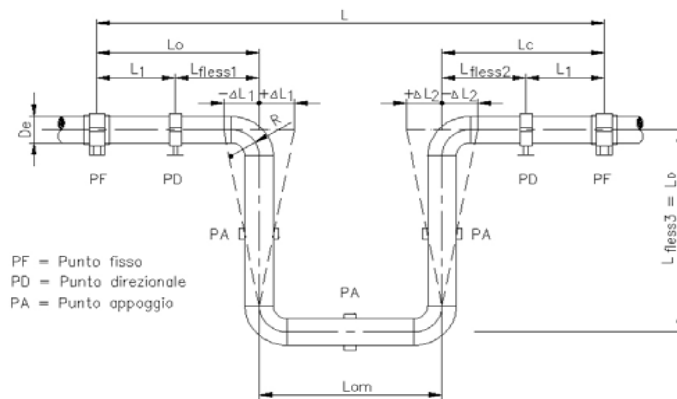
Braccio elastico a Z

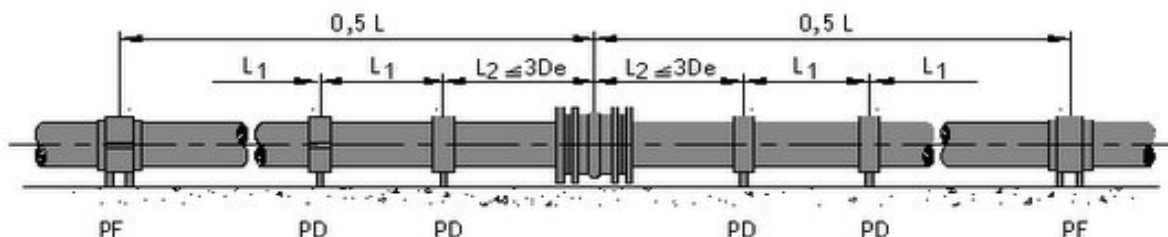


$$L_{fless} \geq (R + 2 \cdot de)$$

Braccio elastico a U

$$L_{om} \geq 2 (R + de)$$





$$L_1 = C_{de} \cdot \sqrt[3]{E \cdot I \cdot q^{-1} \cdot 10^{-6}}$$

C_{de} = coefficiente correzione

E = modulo di elasticità del polietilene

$$I = \frac{\pi}{64} (d_e^4 - d_i^4) = \text{momento geometrico di inerzia}$$

q = peso specifico della condotta per unità di lunghezza

