

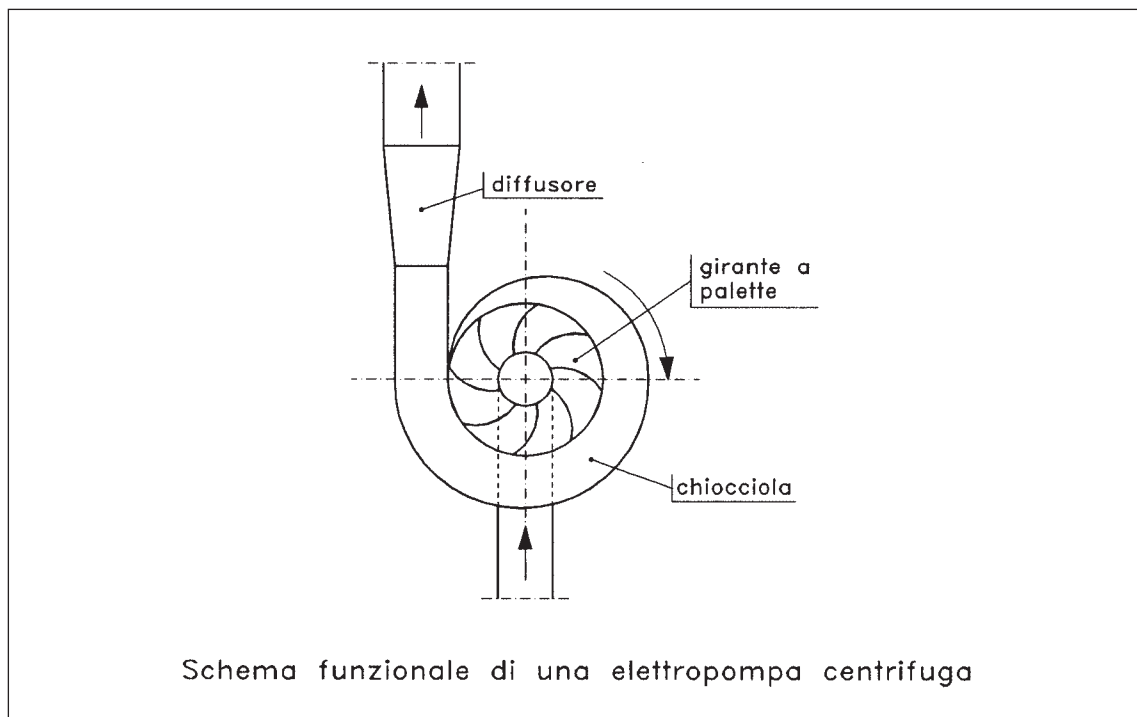
Le elettropompe sono macchine che utilizzano l'energia meccanica fornita da un motore elettrico per sollevare un liquido, oppure per farlo circolare in una tubazione.

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

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

Le parti principali di una elettropompa centrifuga sono:

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

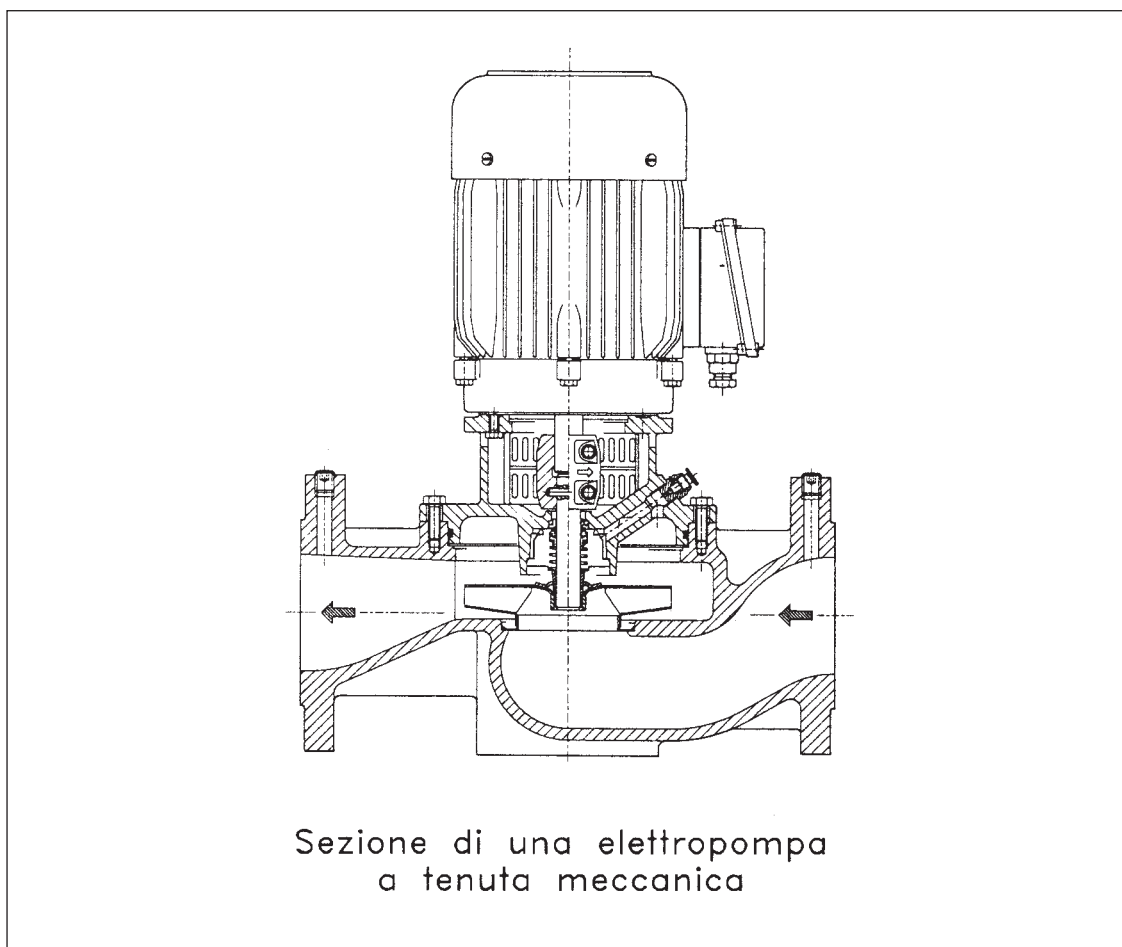


## ELETTROPOMPE A TENUTA MECCANICA

Nel linguaggio tecnico, spesso, sono chiamate semplicemente “elettropompe”, senza altra specificazione.

Sono costituite da due parti ben differenziate fra loro: il motore elettrico e il corpo della pompa.

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



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

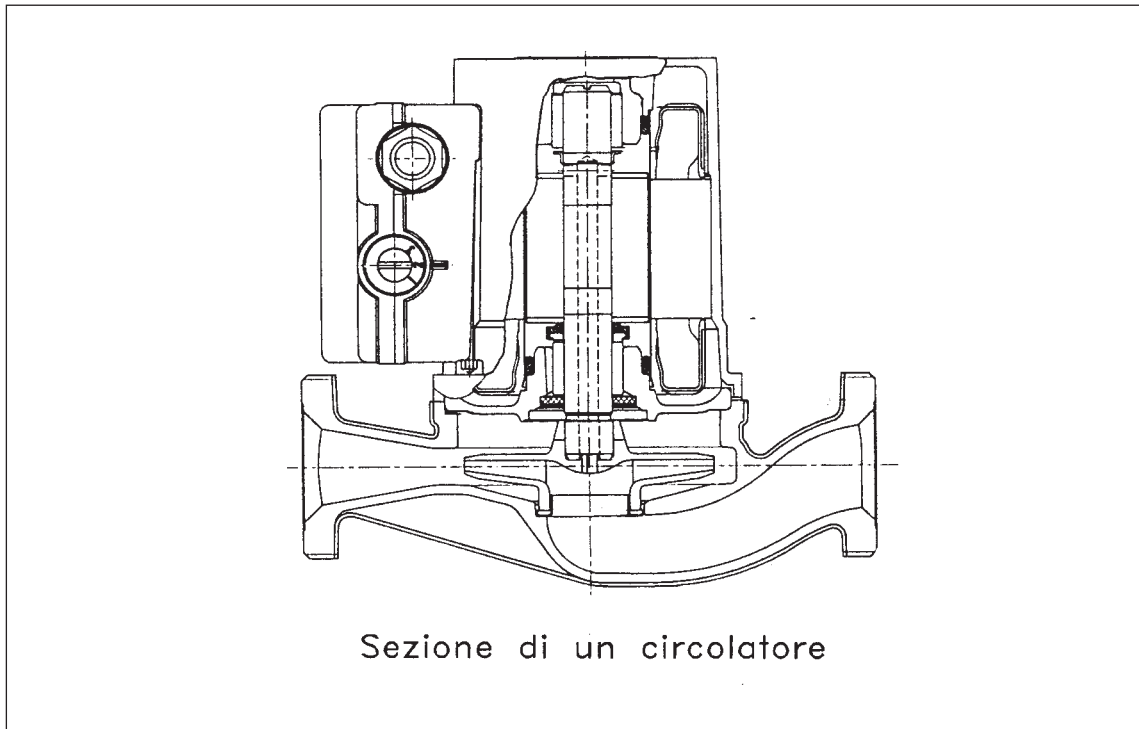
Queste pompe possono funzionare in un vasto campo di prevalenze e di portate. Per prevalenze elevate si usano elettropompe con più giranti montate sullo stesso albero e disposte in modo da essere percorse in serie dal liquido pompato.

## CIRCOLATORI

La caratteristica principale di queste elettropompe è che in esse il motore viene alloggiato nel corpo della pompa.

In particolare la parte mobile del motore (**il rotore**) risulta immersa direttamente nel liquido da pompare; non sono pertanto richiesti organi di tenuta idraulica su parti in movimento.

Per questa loro caratteristica, i circolatori sono chiamati anche “**pompe a rotore bagnato**”.



I circolatori vengono utilizzati soprattutto in impianti di riscaldamento e di ricircolo dell'acqua calda.

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

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

## CONFRONTO FRA POMPE A TENUTA MECCANICA E CIRCOLATORI

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

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

Per contro i circolatori possono assicurare le seguenti migliori prestazioni:

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

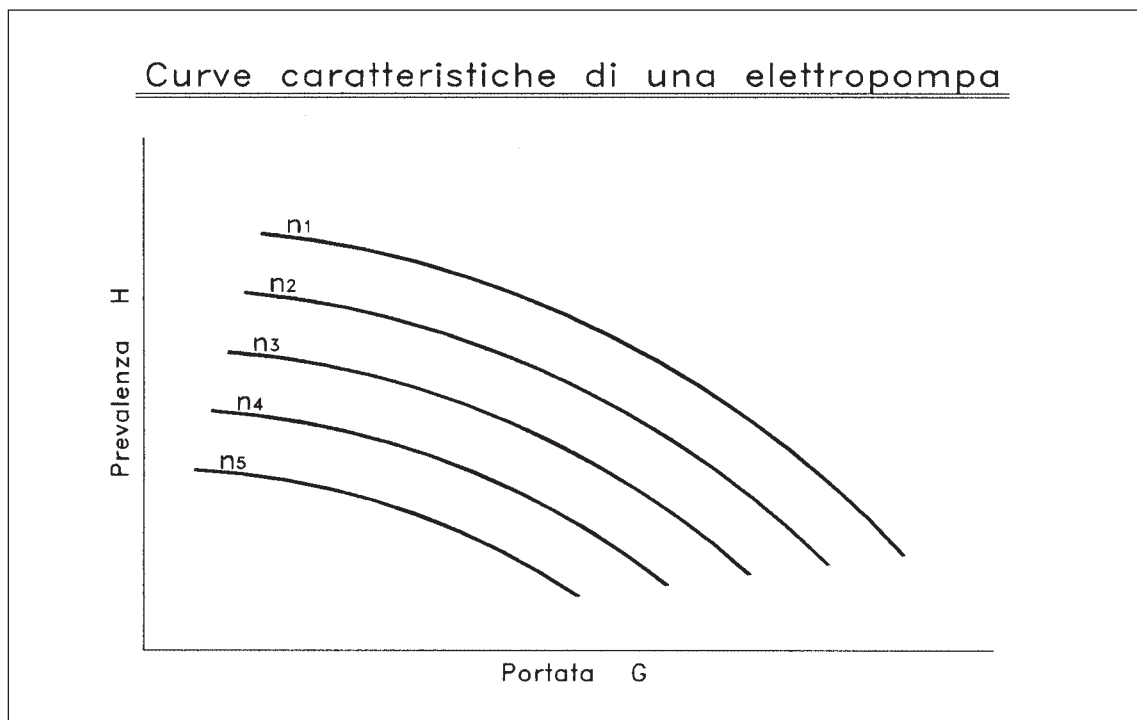
## CURVA CARATTERISTICA DI UNA ELETTROPOMPA CENTRIFUGA

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

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

Variando il numero di giri di una elettropompa centrifuga, varia anche la sua curva caratteristica; la nuova curva risulta più alta o più bassa della primitiva a seconda che il numero di giri sia aumentato o diminuito.

Le varie curve caratteristiche di una elettropompa centrifuga risultano, inoltre, congruenti fra loro, cioè si possono ottenere l'una dall'altra per semplice traslazione.

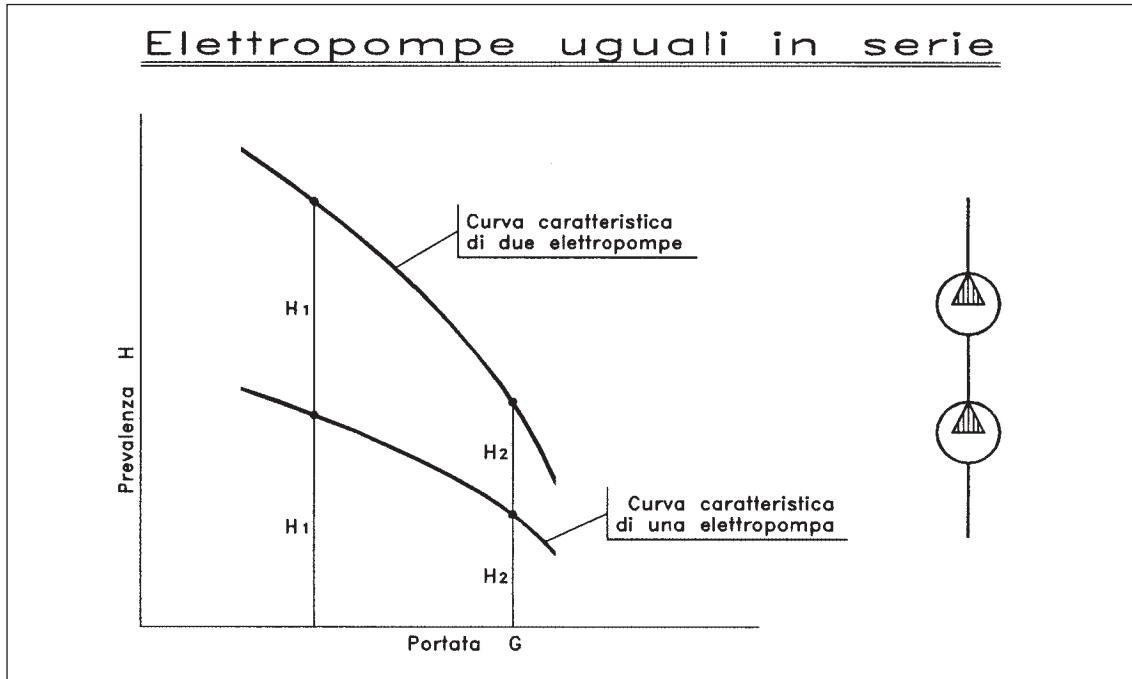


Quando le curve caratteristiche delle elettropompe disponibili non corrispondono ai valori richiesti è possibile ricorrere all'accoppiamento di due o più elettropompe uguali.

In relazione alle caratteristiche richieste, l'accoppiamento può farsi in serie o in parallelo.

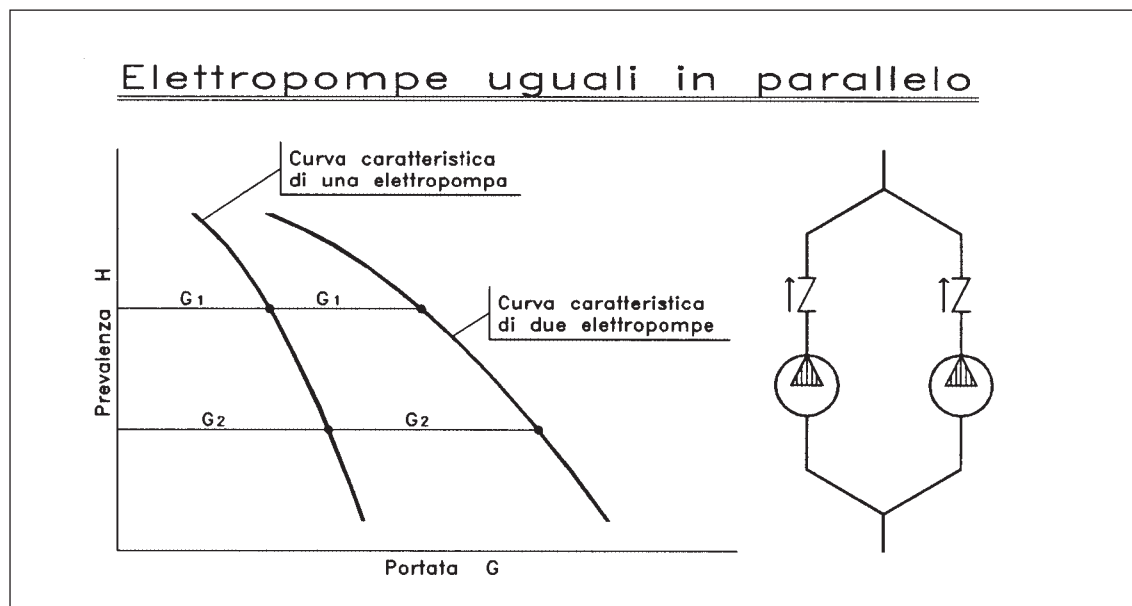
## CURVA CARATTERISTICA DELLE ELETTROPOMPE IN SERIE

Le prevalenze si sommano, mentre la portata rimane costante.



## CURVA CARATTERISTICA DELLE ELETTROPOMPE IN PARALLELO

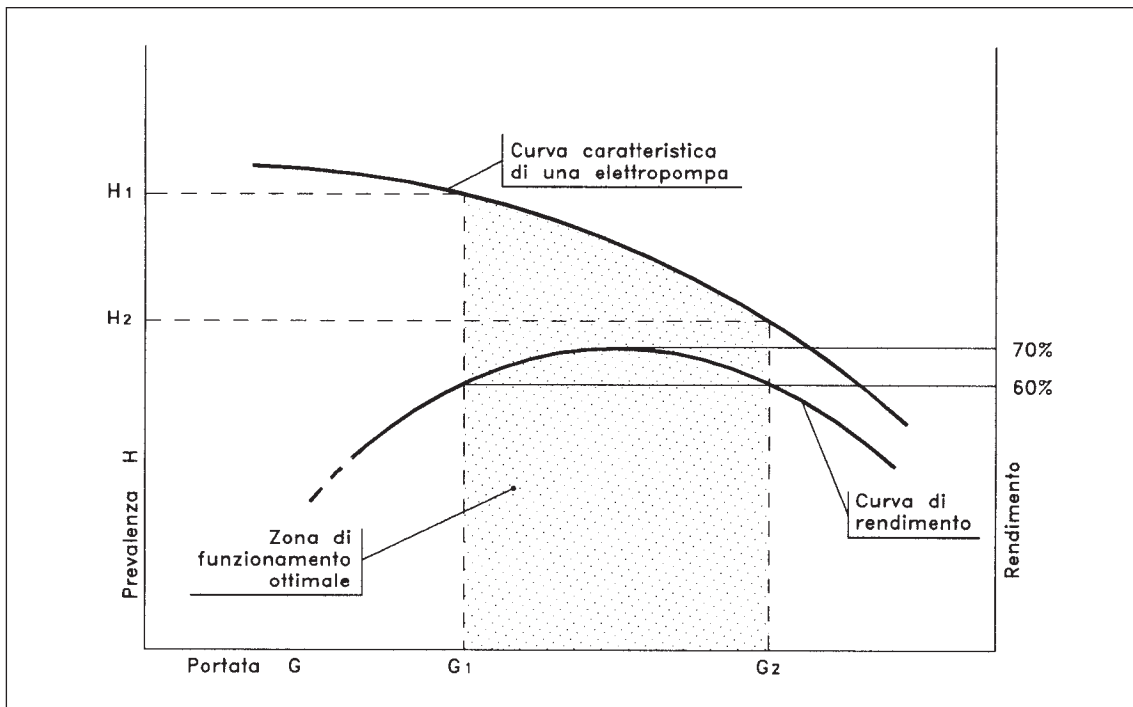
Le portate si sommano, mentre la prevalenza rimane costante.



## RENDIMENTO DI UNA ELETTROPOMPA CENTRIFUGA

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

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



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

**TAB. 1 - Rendimento medio delle elettropompe a tenuta meccanica**

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

**TAB. 2 - Rendimento medio dei circolatori**

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

## POTENZA ASSORBITA DA UNA ELETTROPOMPA

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

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

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

dove: P = potenza assorbita dalla pompa, kW  
 ρ = massa volumica del fluido, kg/dm<sup>3</sup>  
 G = portata, m<sup>3</sup>/h  
 H = prevalenza, m c.a.  
 η = rendimento, adimensionale

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

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

## NPSH

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

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

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



## PUNTO DI FUNZIONAMENTO ELETTROPOMPA-CIRCUITO

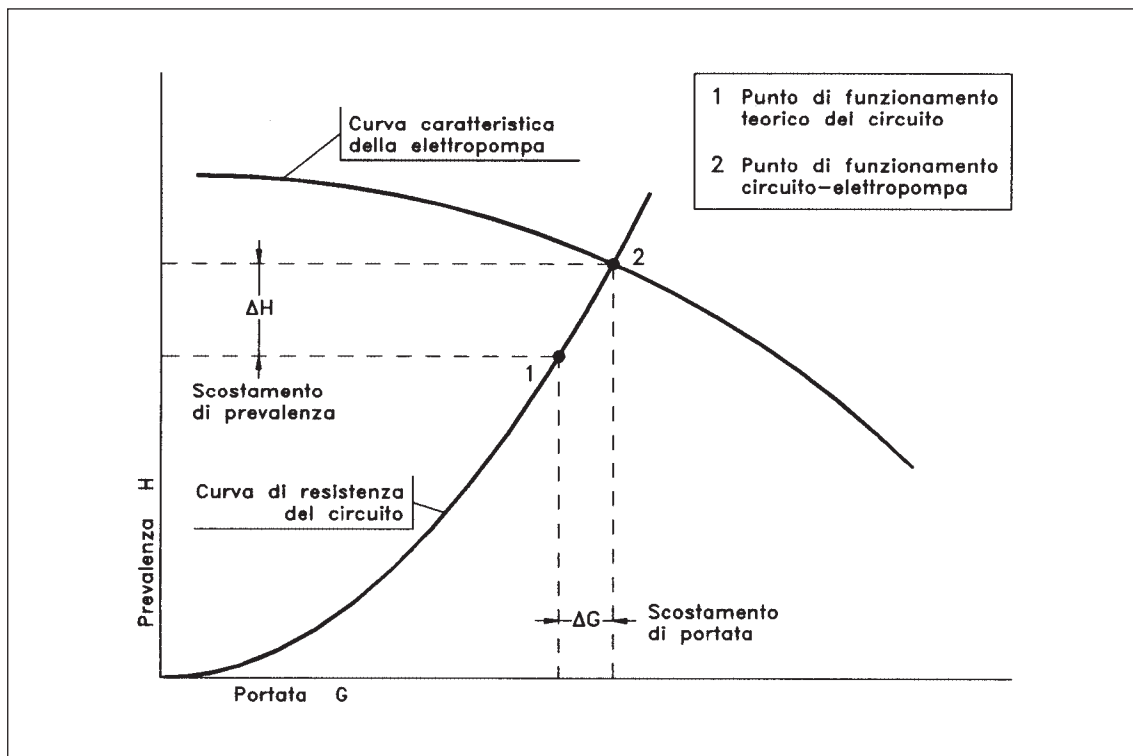
Il punto di funzionamento (o di lavoro) di una elettropompa applicata ad un circuito è dato dalla intersezione tra la curva caratteristica della pompa e la curva di resistenza del circuito.

La curva caratteristica di una elettropompa è fornita dal costruttore.

La curva di resistenza del circuito è, invece, rappresentabile (in coordinate portata-prevalenza) mediante una parabola.

In un circuito chiuso, tale parabola ha vertice nell'origine e passa per il punto teorico di funzionamento del circuito, cioè per il punto che rappresenta la portata e la prevalenza di calcolo del circuito stesso.

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



## SCELTA DI UNA ELETTROPOMPA

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

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

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

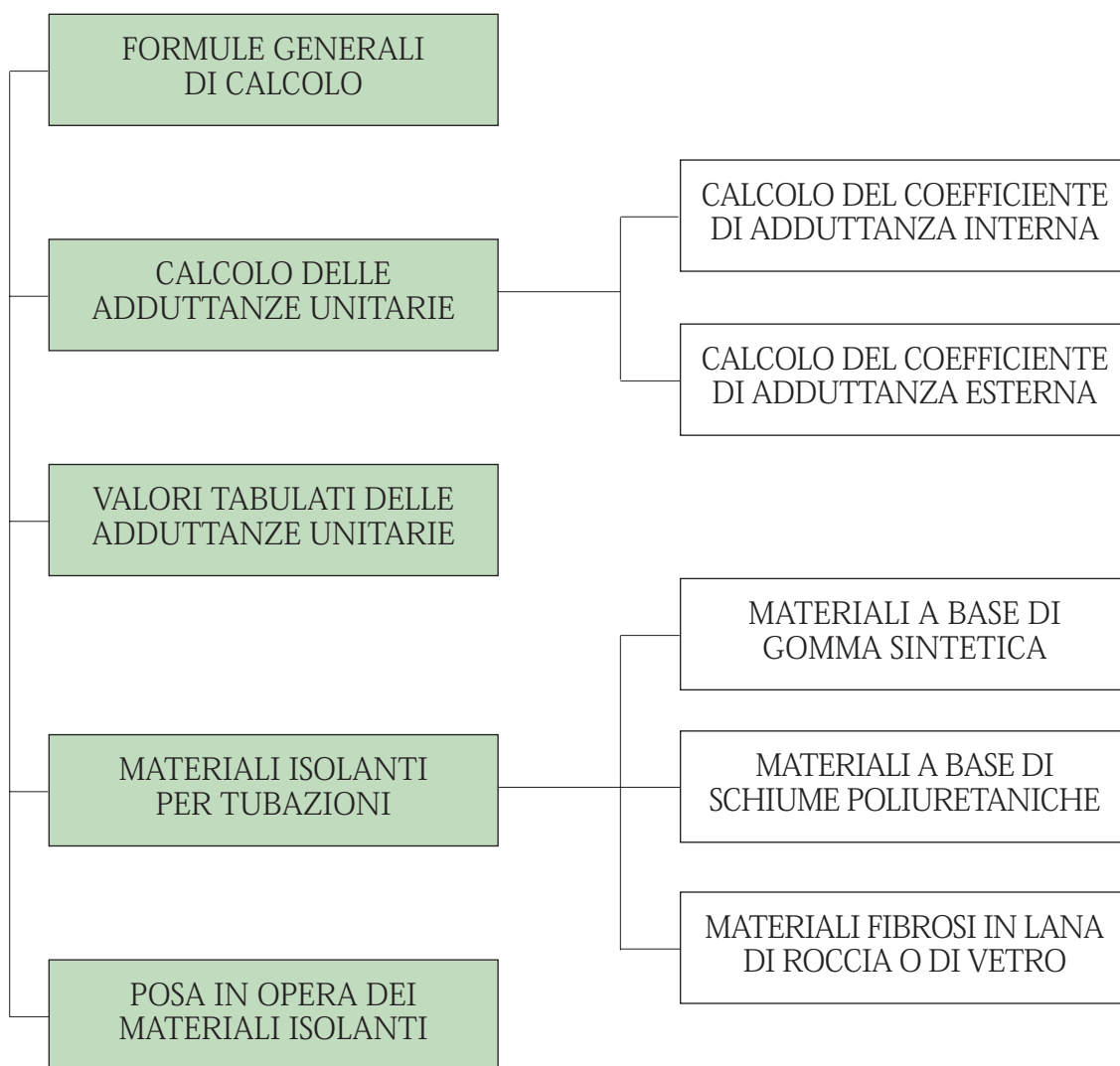
- **il livello di rumorosità**, in particolar quando la pompa è installata vicino ad ambienti per cui sono richiesti bassi valori del livello sonoro;
- **la resistenza alla condensa**, per i circuiti che convogliano acqua fredda o refrigerata;
- **la resistenza ai liquidi antigelo**, specie quando si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

## MESSA IN OPERA DELLE ELETTROPOMPE

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

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

## ISOLAMENTO TERMICO DELLE TUBAZIONI



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

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

## FORMULE GENERALI DI CALCOLO

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

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

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

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

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

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

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

$\alpha_1$  = adduttanza unitaria della superficie interna, kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

$\alpha_2$  = adduttanza unitaria della superficie esterna, kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

$\lambda_1$  = conduttività del materiale costituente il tubo, kcal/(h · m · °C)

$\lambda_2$  = conduttività del materiale isolante, kcal/(h · m · °C)

$t_1$  = temperatura del fluido interno, °C

$t_2$  = temperatura del fluido esterno, °C

$t_s$  = temperatura della superficie esterna, °C

$d_1$  = diametro interno del tubo, m

$d_2$  = diametro esterno del tubo, m

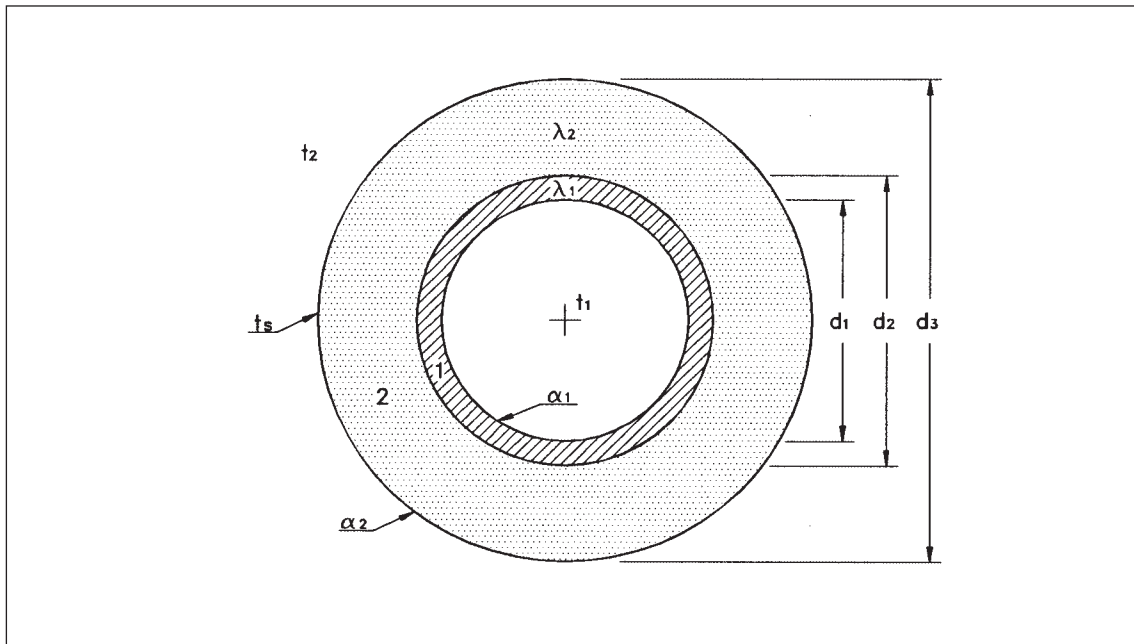
$d_3$  = diametro esterno del tubo isolato, m

$d_e$  = diametro dello strato superficiale esterno

$d_e = d_2$  per tubo nudo

$d_e = d_3$  per tubo isolato

$\ln$  = logaritmo naturale



Nelle formule (1), (2) e (3), sono presenti due fattori (il coefficiente di adduttanza interna  $\alpha_1$  e il coefficiente di adduttanza esterna  $\alpha_2$ ) che dipendono da complessi fenomeni di convezione e di irraggiamento. Il loro valore si può determinare con formule, con tabelle o con grafici tridimensionali.

La determinazione di questi fattori con formule - anche se semplificate - è in pratica da riservarsi solo allo sviluppo di programmi per calcolatori. Il valore di  $\alpha_2$  dipende, infatti, dalla temperatura superficiale esterna  $t_s$  e si può quindi determinare soltanto con procedimenti di calcolo ad approssimazioni successive.

## CALCOLO DELLE ADDUTTANZE UNITARIE

Di seguito sono riportate alcune formule semplificate che consentono di determinare, con buona approssimazione, i valori dei coefficienti di adduttanza unitaria  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$ .

### CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ADDUTTANZA INTERNA

Il valore di  $\alpha_1$  dipende dagli scambi termici di natura convettiva che si realizzano fra il fluido e la parete interna del tubo. Esso varia in relazione al tipo di moto del fluido (vedere voce PERDITE DI CARICO LINEARI) e può essere determinato mediante le seguenti formule:

- 1° caso - fluido fermo o in moto laminare

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

- 2° caso - fluido in moto transitorio o turbolento

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

dove:  $v_1$  = velocità del fluido interno al tubo, m/s

$d_1$  = diametro interno del tubo, m

$t_1$  = temperatura del fluido interno, °C

$M$  = costante caratteristica del fluido interno:

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

### CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI ADDUTTANZA ESTERNA

Il valore di  $\alpha_2$  dipende da scambi termici dovuti all'irraggiamento e alla convezione.

Dato che questi fenomeni di trasmissione del calore sono in pratica indipendenti fra loro,  $\alpha_2$  risulta calcolabile mediante la somma dei coefficienti di adduzione unitaria che tengono conto separatamente sia dell'irraggiamento, sia della convezione. Cioè risulta calcolabile mediante la somma dei coefficienti:

- $\alpha_{2r}$  = coefficiente di adduzione unitaria della superficie esterna, dovuto all'irraggiamento, kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)
- $\alpha_{2c}$  = coefficiente di adduzione unitaria della superficie esterna, dovuto alla convezione, kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

### Determinazione di $\alpha_{2r}$

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

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

dove:  $T_2$  = temperatura assoluta del fluido esterno, K

$T_s$  = temperatura assoluta della superficie esterna, K

$t_2$  = temperatura del fluido esterno, °C

$t_s$  = temperatura della superficie esterna, °C

### Determinazione di $\alpha_{2c}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## VALORI TABULATI DELLE ADDUTTANZE UNITARIE

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

### Coefficiente di adduttanza interna

Con acqua come fluido interno, il coefficiente di adduttanza interna  $\alpha_1$  è variabile da 900 a 1.000 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C).

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

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

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

### Coefficiente di adduttanza esterna

Di seguito sono riportati i valori del coefficiente di adduttanza esterna  $\alpha_2$  validi per tubazioni che convogliano acqua in ambienti con aria in quiete.

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

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

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 14,7 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 7,4 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)



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

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

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 13,7 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 7,3 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

TAB. 3 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)  
TEMPERATURA ACQUA = 80°C

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

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 11,8 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,9 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

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

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

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 10,7 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,7 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

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

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

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 9,6 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,3 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

TAB. 6 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)  
TEMPERATURA ACQUA = 10°C

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

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 8,4 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,5 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

TAB. 7 - Adduttanza unitaria esterna (aria in quiete), kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)  
TEMPERATURA ACQUA GLICOLATA = 0°C

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

Adduttanza unitaria esterna: *tubi nudi verticali* = 8,8 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

Adduttanza unitaria esterna: *tubi isolati verticali* = 6,7 kcal/(h · m<sup>2</sup> · °C)

**Esempio:**

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

Dati di riferimento: temperatura acqua = 80°C, temperatura aria = 20°C;

tubo da 4", posto in opera orizzontalmente e lungo 1 m;

diametro interno = 104,9 mm, diametro esterno = 113 mm;

conduttività acciaio = 41 kcal/(h · m · °C);

conduttività lana minerale = 0,04 kcal/(h · m · °C).

**Soluzione:**

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

— I valori della adduttanza unitaria esterna  $\alpha_2$  sono derivati dalla (TAB. 3).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## MATERIALI ISOLANTI PER TUBAZIONI

Un buon materiale isolante deve possedere le seguenti caratteristiche:

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

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

### MATERIALI A BASE DI GOMMA SINTETICA

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

Vengono prodotti sia a cellule aperte che a cellule chiuse.

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

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

## MATERIALI A BASE DI SCHIUME POLIURETANICHE

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

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

## MATERIALI FIBROSI IN LANA DI ROCCIA O DI VETRO

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

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

## POSA IN OPERA DEI MATERIALI ISOLANTI

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

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

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

#### Tabelle allegate:

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

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

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

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

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



---

## LIQUIDI ANTIGELO

---

Sono liquidi che, aggiunti all'acqua, possono abbassarne sensibilmente il punto di congelamento.

Miscele di acqua e liquidi antigelo sono, ad esempio, utilizzate nei circuiti di refrigerazione, nelle reti dei collettori solari e negli impianti di riscaldamento a funzionamento discontinuo (scuole, uffici, case di fine settimana, ecc...).

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

Le soluzioni antigelo hanno densità e viscosità sensibilmente superiori a quelle dell'acqua. Pertanto esse richiedono, a parità di portata, una maggior spinta da parte della pompa di circolazione.

Tale aumento di spinta, o di prevalenza, può essere determinato mediante apposite tabelle.

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

---

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

---

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

---

---

## M A S S A   V O L U M I C A

---

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

Nei liquidi e nei solidi la massa volumica varia solo leggermente in funzione della temperatura e non risente, in modo apprezzabile, delle variazioni di pressione.

Nei gas, invece, essa dipende sensibilmente sia dalla temperatura, sia dalla pressione: diminuisce se aumenta la temperatura, cresce se aumenta la pressione.

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

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

dove:  $\rho$  = massa volumica,  $\text{kg/m}^3$ ;  $t$  = temperatura dell'acqua,  $^{\circ}\text{C}$

---

TAB. 1 - Massa volumica dell'acqua ( $\text{kg/m}^3$ ) in relazione al variare della temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

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

---

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

---

TAB. 2 - Massa volumica ( $\text{kg/m}^3$ ) dei materiali per tubazioni

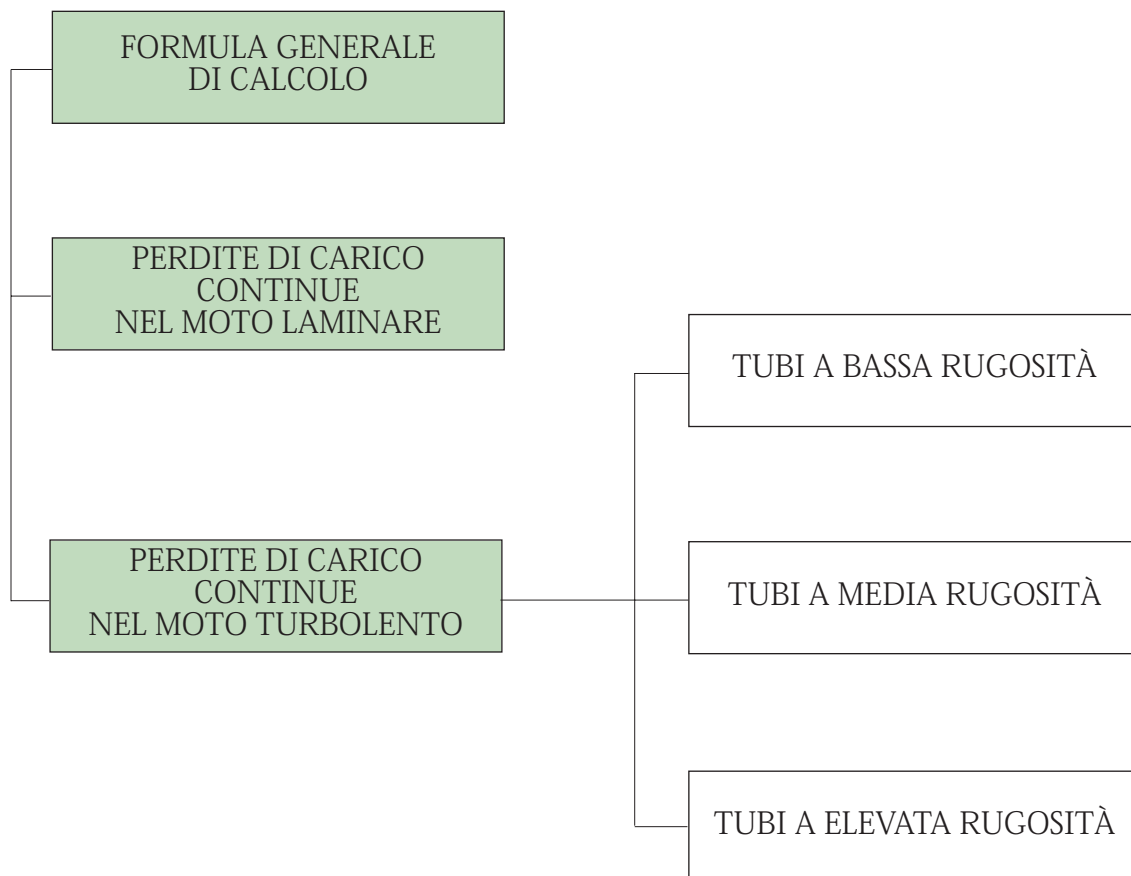
Acciaio	7.850
Ghisa	7.250
Rame	8.930
Polietilene reticolato	940
Polietilene ad alta densità	954

---

---

## PERDITE DI CARICO CONTINUE

---



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

Le perdite di carico continue si possono esprimere sia in unità di pressione (pascal o bar), sia in altezza di fluido (metri o millimetri di colonna d'acqua).

Risulta, inoltre, conveniente esprimere il loro valore facendo riferimento ad una lunghezza unitaria di condotto.

Ad esempio nella progettazione degli impianti idrici e di climatizzazione si utilizzano valori delle perdite di carico continue riferiti ad un metro di tubo. Mentre nella progettazione delle reti estese (acquedotti, gasdotti, ecc...) si utilizzano valori riferiti ad un chilometro di condotto.

## FORMULA GENERALE DI CALCOLO

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

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

dove:  $r$  = perdita di carico unitaria, Pa/m  
 $F_a$  = fattore di attrito, adimensionale  
 $D$  = diametro interno del condotto, m  
 $\rho$  = massa volumica del fluido, kg/m<sup>3</sup>  
 $v$  = velocità media del fluido, m/s

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

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

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

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

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

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

dove:  $D$  = diametro interno del condotto, m  
 $v$  = velocità media del flusso, m/s  
 $\nu$  = viscosità cinematica del fluido, m<sup>2</sup>/s

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

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

**laminare** per **Re** minore di **2.000**

**transitorio** per **Re** compreso fra **2.000** e **2.500**

**turbolento** per **Re** maggiore di **2.500**

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

## PERDITE DI CARICO CONTINUE NEL MOTO LAMINARE

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

$$F_a = \frac{64}{Re} = \frac{64 \cdot v}{v \cdot D} \quad (3)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:  $r$  (mm c.a./m);  $v$  (m<sup>2</sup>/s);  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>);  $G$  (l/h);  $D$  (mm)

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

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

**Esempio:**

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

**Soluzione:**

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

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

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

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

**Note:**

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

## PERDITE DI CARICO CONTINUE NEL MOTO TURBOLENTO

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

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

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

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

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

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

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

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

## TUBI A BASSA RUGOSITA'

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

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

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

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

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

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

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

dove:  $r$  (mm c.a./m);  $v$  (m<sup>2</sup>/s);  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>);  $G$  (l/h);  $D$  (mm)

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

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

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



**Esempio:**

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

**Soluzione:**

Le perdite di carico lineari continue in un tubo di rame (tubo a bassa rugosità) possono essere calcolate con la formula (9.2).

I valori di viscosità e della massa volumica dell'acqua sono ricavabili dalle tabelle riportate alle voci VISCOSITA' e MASSA VOLUMICA.

a) per temperatura acqua = 80°C risulta:  $v = 0,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\rho = 971,1 \text{ kg/m}^3$

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

1. fattore viscosità =  $(0,39 \cdot 10^{-6})^{0,25} = 0,024990$

2. fattore massa volumica = 971,1

3. fattore portata-diametro =  $800^{1,75} / 20^{4,75} = 0,079523$

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

b) per temperatura acqua = 10°C risulta:  $v = 1,30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\rho = 999,6 \text{ kg/m}^3$

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

1. fattore viscosità =  $(1,30 \cdot 10^{-6})^{0,25} = 0,033766$

2. fattore massa volumica = 999,6

3. fattore portata-diametro =  $800^{1,75} / 20^{4,75} = 0,079523$

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

**Osservazioni:**

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

Tale incremento è generalizzabile a tutti i tubi con bassa rugosità; infatti, il suo valore dipende solo dal variare del fattore viscosità e del fattore massa volumica.

In particolare, come risulta dai valori sopra riportati, il fattore viscosità determina una maggiorazione di circa il 36%, mentre il fattore massa volumica causa un aumento di circa il 3%.

## TUBI A MEDIA RUGOSITA'

Nell'intervallo di rugosità che va da 0,02 mm fino a 0,09 mm, sono generalmente compresi tutti i tubi commerciali in acciaio, cioè i tubi in acciaio nero, zincato e dolce.

In tale intervallo il coefficiente d'attrito  $F_a$  può essere espresso mediante la seguente relazione

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

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

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

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

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

dove:  $r$  (mm c.a./m);  $v$  (m<sup>2</sup>/s);  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>);  $G$  (l/h);  $D$  (mm)

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

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

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

**Esempio:**

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

**Soluzione:**

Le perdite di carico lineari continue in un tubo di acciaio (tubo a media rugosità) possono essere calcolate con la formula (11.2).

I valori di viscosità e della massa volumica dell'acqua sono ricavabili dalle tabelle riportate alle voci VISCOSITA' e MASSA VOLUMICA.

a) per temperatura acqua = 80°C risulta:  $v = 0,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\rho = 971,1 \text{ kg/m}^3$

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

$$1. \text{ fattore viscosità} = (0,39 \cdot 10^{-6})^{0,13} = 0,146838$$

$$2. \text{ fattore massa volumica} = 971,1$$

$$3. \text{ fattore portata-diametro} = 800^{1,87} / 20^{5,01} = 0,081399$$

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

b) per temperatura acqua = 10°C risulta:  $v = 1,30 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\rho = 999,6 \text{ kg/m}^3$

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

$$1. \text{ fattore viscosità} = (1,30 \cdot 10^{-6})^{0,13} = 0,171717$$

$$2. \text{ fattore massa volumica} = 999,6$$

$$3. \text{ fattore portata-diametro} = 800^{1,87} / 20^{5,01} = 0,081399$$

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

**Osservazioni:**

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

Tale incremento è generalizzabile a tutti i tubi con rugosità media; infatti, il suo valore dipende solo dal variare del fattore viscosità e del fattore massa volumica.

In particolare, come risulta dai valori sopra riportati, **il fattore viscosità determina una maggiorazione di circa il 17%**, mentre il fattore massa volumica causa un aumento di circa il 3%.

## TUBI A ELEVATA RUGOSITA'

Sono compresi in questo intervallo di rugosità, che va da 0,2 fino a 1 mm, i tubi metallici con superfici interne incrostate o corrose.

Tubi con simili caratteristiche si possono trovare facilmente negli impianti realizzati senza le necessarie protezioni contro la corrosione e contro il deposito di calcare.

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

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

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

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

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

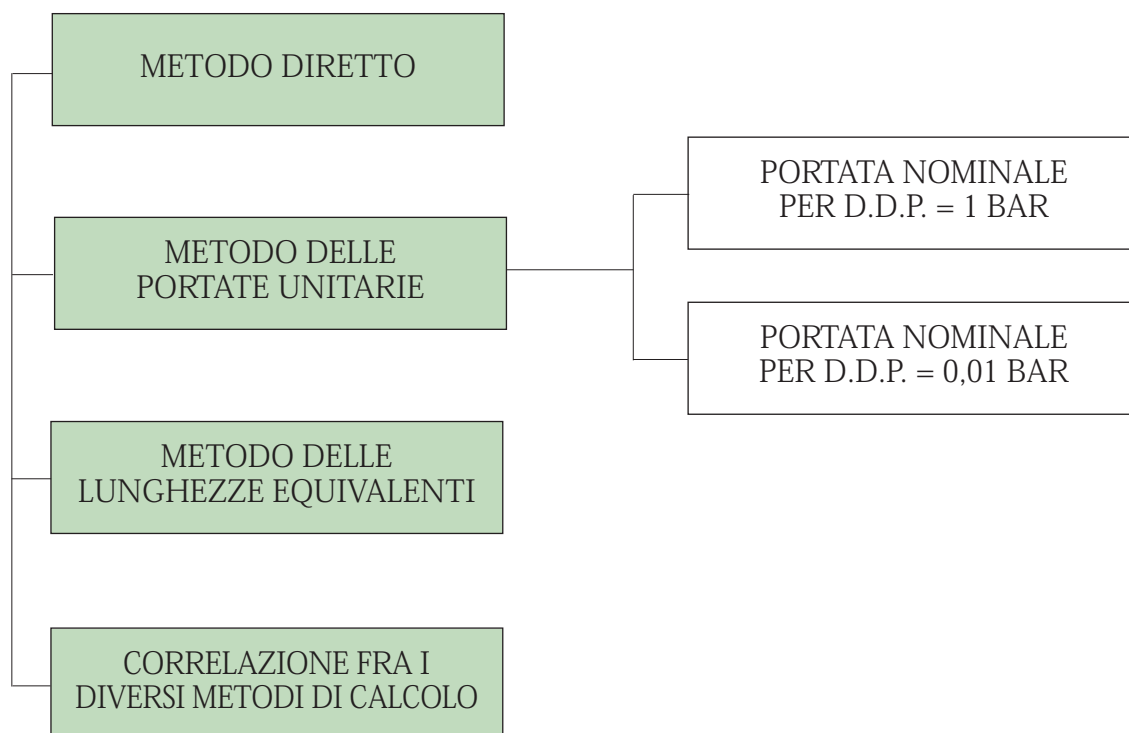
**TAB. 1 - Fattori di correzione per tubazioni ad elevata rugosità**

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

---

## PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE

---



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

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

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

## METODO DIRETTO

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

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

dove:  $z$  = perdita di carico localizzata, Pa

$\xi$  = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale

$\rho$  = massa volumica del fluido, kg/m<sup>3</sup>

$v$  = velocità media del flusso, m/s

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

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

Il coefficiente  $\xi$  risulta dipendere soprattutto dalla forma della resistenza localizzata ed è, con buona approssimazione, indipendente da altri fattori, quali: il peso specifico, la viscosità e la velocità del fluido.

Il suo valore può essere determinato sia con formule (in casi a geometria semplice), sia sperimentalmente.

Le tabelle di seguito riportate consentono di determinare i coefficienti  $\xi$  delle principali resistenze localizzate, e i valori delle perdite di carico  $z$ , in funzione di  $\xi$  e  $v$ .

### Tabelle allegate

- Nelle tabelle 1a e 1b sono riportati i coefficienti  $\xi$  delle resistenze localizzate che più frequentemente si incontrano negli impianti idro-termosanitari.  
Per numerosi altri componenti - quali ad esempio: gli scambiatori, le valvole termostatiche, i collettori, i ventilconvettori, ecc... - non è significativo fare riferimento a valori medi tabulati.  
I coefficienti  $\xi$  di questi componenti variano, infatti, sensibilmente da prodotto a prodotto. E' consigliabile, quindi, che il loro valore sia derivato direttamente dai cataloghi o dalle specifiche tecniche dei fornitori.
- Le tabelle 2a, 2b e 2c forniscono direttamente i valori di  $z$ , in funzione di  $\xi$  e  $v$ , per acqua a 80°C.
- Nella tabella 3 si riportano i fattori di conversione (da applicarsi alle tabelle 2a, 2b e 2c) per temperature dell'acqua diverse da 80°C.

**Nota:**

I fattori della tabella 3 sono da utilizzarsi solo nel caso in cui siano richiesti calcoli molto accurati.

Gli errori, che si commettono ignorando tali fattori, non sono infatti molto significativi e rientrano ampiamente nelle normali tolleranze e incertezze che caratterizzano il calcolo di qualsiasi impianto idro-termosanitario.

**Esempio:**

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

**Soluzione:**

Le perdite di carico richieste si possono calcolare direttamente con la formula (2).

Il coefficiente  $\xi$  è deducibile dalla TAB. 1, e per una curva stretta ad U (diam. 1") risulta:  $\xi = 2$ .

I valori di  $\rho$  si ricavano dalla relativa tabella riportata alla voce MASSA VOLUMICA.

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

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

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

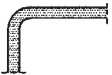
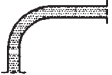














$$z = 2 \cdot 999,6 \cdot \frac{0,6^2}{2 \cdot 9,81} = 36,7 \text{ (valore di } z \text{ richiesto per temperatura acqua} = 10^\circ\text{C)}$$

**Osservazioni:**

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

















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

**TAB. 1a - Valori del coefficiente di perdita localizzata  $\xi$  (rete di distribuzione)**

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



**TAB. 1b - Valori del coefficiente di perdita localizzata  $\xi$  (componenti impianto)**

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

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

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

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

velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.60	18	36	54	71	89	107	125	143	161	178	196	214	232	250	268
0.61	18	37	55	74	92	111	129	147	166	184	203	221	240	258	277
0.62	19	38	57	76	95	114	133	152	171	190	209	229	248	267	286
0.63	20	39	59	79	98	118	138	157	177	197	216	236	256	275	295
0.64	20	41	61	81	101	122	142	162	183	203	223	244	264	284	304
0.65	21	42	63	84	105	126	147	167	188	209	230	251	272	293	314
0.66	22	43	65	86	108	129	151	173	194	216	237	259	281	302	324
0.67	22	44	67	89	111	133	156	178	200	222	245	267	289	311	334
0.68	23	46	69	92	115	137	160	183	206	229	252	275	298	321	344
0.69	24	47	71	94	118	142	165	189	212	236	259	283	307	330	354
0.70	24	49	73	97	121	146	170	194	218	243	267	291	316	340	364
0.71	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375
0.72	26	51	77	103	128	154	180	205	231	257	283	308	334	360	385
0.73	26	53	79	106	132	158	185	211	238	264	290	317	343	370	396
0.74	27	54	81	109	136	163	190	217	244	271	298	326	353	380	407
0.75	28	56	84	111	139	167	195	223	251	279	307	334	362	390	418
0.76	29	57	86	114	143	172	200	229	258	286	315	343	372	401	429
0.77	29	59	88	118	147	176	206	235	264	294	323	353	382	411	441
0.78	30	60	90	121	151	181	211	241	271	301	332	362	392	422	452
0.79	31	62	93	124	155	186	216	247	278	309	340	371	402	433	464
0.80	32	63	95	127	159	190	222	254	285	317	349	381	412	444	476
0.81	33	65	98	130	163	195	228	260	293	325	358	390	423	455	488
0.82	33	67	100	133	167	200	233	267	300	333	366	400	433	466	500
0.83	34	68	102	137	171	205	239	273	307	341	375	410	444	478	512
0.84	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	454	489	524
0.85	36	72	107	143	179	215	251	286	322	358	394	430	465	501	537
0.86	37	73	110	147	183	220	257	293	330	366	403	440	476	513	550
0.87	38	75	113	150	188	225	263	300	338	375	413	450	488	525	563
0.88	38	77	115	153	192	230	269	307	345	384	422	460	499	537	576
0.89	39	78	118	157	196	235	275	314	353	392	432	471	510	549	589
0.90	40	80	120	161	201	241	281	321	361	401	441	482	522	562	602
0.91	41	82	123	164	205	246	287	328	369	410	451	492	533	574	615
0.92	42	84	126	168	210	252	294	335	377	419	461	503	545	587	629
0.93	43	86	129	171	214	257	300	343	386	429	471	514	557	600	643
0.94	44	88	131	175	219	263	306	350	394	438	482	525	569	613	657
0.95	45	89	134	179	224	268	313	358	402	447	492	537	581	626	671
0.96	46	91	137	183	228	274	320	365	411	457	502	548	594	639	685
0.97	47	93	140	186	233	280	326	373	420	466	513	559	606	653	699
0.98	48	95	143	190	238	286	333	381	428	476	523	571	619	666	714
0.99	49	97	146	194	243	291	340	388	437	486	534	583	631	680	728
1.00	50	99	149	198	248	297	347	396	446	495	545	595	644	694	743
1.10	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	659	719	779	839	899
1.20	71	143	214	285	357	428	499	571	642	713	785	856	927	999	1.070
1.30	84	167	251	335	419	502	586	670	754	837	921	1.005	1.089	1.172	1.256
1.40	97	194	291	388	486	583	680	777	874	971	1.068	1.165	1.262	1.360	1.457
1.50	111	223	334	446	557	669	780	892	1.003	1.115	1.226	1.338	1.449	1.561	1.672
1.60	127	254	381	507	634	761	888	1.015	1.142	1.268	1.395	1.522	1.649	1.776	1.903
1.70	143	286	430	573	716	859	1.002	1.146	1.289	1.432	1.575	1.718	1.861	2.005	2.148
1.80	161	321	482	642	803	963	1.124	1.284	1.445	1.605	1.766	1.926	2.087	2.247	2.408
1.90	179	358	537	715	894	1.073	1.252	1.431	1.610	1.789	1.967	2.146	2.325	2.504	2.683
velocità m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

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

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

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

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

## METODO DELLE PORTATE NOMINALI

Questo metodo, definito anche **metodo del coefficiente di portata o della caratteristica di flusso**, si utilizza soprattutto per calcolare le perdite di carico delle valvole.

Esso si basa sulla **determinazione sperimentale della portata** che passa attraverso una resistenza localizzata quando, tra la sua sezione di entrata e quella di uscita, viene mantenuta **una differenza di pressione costante: 1 bar o 0,01 bar**.

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

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

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

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

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

dove:  $\Delta P$  = perdita di carico localizzata, bar

$Q$  = portata effettiva, m<sup>3</sup>/h

$KV$  = portata nominale (D.D.P. = 1 bar), m<sup>3</sup>/h

Per calcolare  $\Delta P$  in mm c.a., con la portata  $Q$  in l/h e  $KV$  in m<sup>3</sup>/h, si può utilizzare la relazione:

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

#### Esempio:

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

#### Soluzione:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### Esempio:

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

#### Soluzione:

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

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

## METODO DELLE LUNGHEZZE EQUIVALENTI

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

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

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

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

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

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

Dato il limitato interesse che questo metodo riveste nella progettazione degli impianti idro-termosanitari, non si è ritenuto il caso di riportare tabelle di corrispondenza fra le lunghezze equivalenti e le resistenze localizzate.

In ogni caso tale corrispondenza può essere ricavata dalle tabelle 1a e 1b, mediante le formule (20) e (21).

## CORRELAZIONE FRA I DIVERSI METODI DI CALCOLO

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

Simboli adottati:

$\xi$	coefficiente di perdita localizzata, adimensionale
KV	portata nominale (D.D.P. = 1 bar), m <sup>3</sup> /h
KV <sub>0,01</sub>	portata nominale (D.D.P. = 0,01 bar), l/h
Le	lunghezza equivalente, m
D	diametro interno del tubo, mm

**Nota:** Per esprimere  $\xi$ , KV e KV<sub>0,01</sub> in funzione di Le, si è ipotizzato:

$v = 0,7$  m/s, velocità del fluido

$T = 20^\circ\text{C}$ , temperatura di riferimento.

---


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

---


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

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

---


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



---

**Tubi a media rugosità: esempio in acciaio**

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

---

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

---

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

---

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

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

---

**Tubi a media rugosità: esempio in acciaio**

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

---

---

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

---

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

---

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

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

---

**Tubi a media rugosità:** esempio in acciaio

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

---

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

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

---

---

**Tubi a media rugosità: esempio in acciaio**

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

---

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

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

---

**Tubi a media rugosità: esempio in acciaio**

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

---

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

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

---

**Tubi a media rugosità: esempio in acciaio**

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

---

---

## PERDITE DI CARICO TOTALI

---

Sono le perdite di carico (o pressione) che un fluido, in moto attraverso un condotto, subisce a causa delle resistenze continue e localizzate.

Ad esempio, in un impianto di riscaldamento a circolazione forzata, sono le pressioni (o contropressioni) che si oppongono al lavoro delle elettropompe.

Il valore delle perdite di carico totali si determina sommando fra loro le perdite di carico continue e localizzate.

**Va evidenziato, però, che il valore così ottenuto non è un valore certo, perché risulta influenzato dall'indeterminazione con cui diversi parametri entrano nei calcoli.**

Ad esempio:

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

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

**Di norma, comunque, quando si sceglie una elettropompa, non è necessario incrementare le perdite di carico totali calcolate teoricamente.**

L'indeterminazione dei parametri sopra richiamati rientra, infatti, nelle normali tolleranze che caratterizzano il calcolo di qualsiasi impianto idro-termosanitario.

---

## PORTATA DI BILANCIAMENTO

---

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

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

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

### Nota:

Le grandezze  $G_1$  e  $G$ , così come  $H_1$  e  $H$ , devono essere espresse con unità di misura fra loro omogenee.

Se ad esempio  $G$  è dato in  $m^3/h$ , anche  $G_1$  dovrà risultare espresso nella stessa unità di misura.

La formula (1) è derivata dalla teoria generale della dinamica dei fluidi e si basa sull'ipotesi che, in un circuito idraulico, le perdite di carico totali risultino mediamente dipendenti dalla portata secondo un esponente pari a 1,9.

Tale formula è applicabile ai circuiti con tubi a bassa, media e elevata rugosità (ved. PERDITE DI CARICO CONTINUE).

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

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

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

### Esempio - Bilanciamento di circuiti tradizionali a due tubi

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

circuito A:  $H_A = 980$  mm c.a. (prevalenza)

$G_A = 550$  l/h (portata)

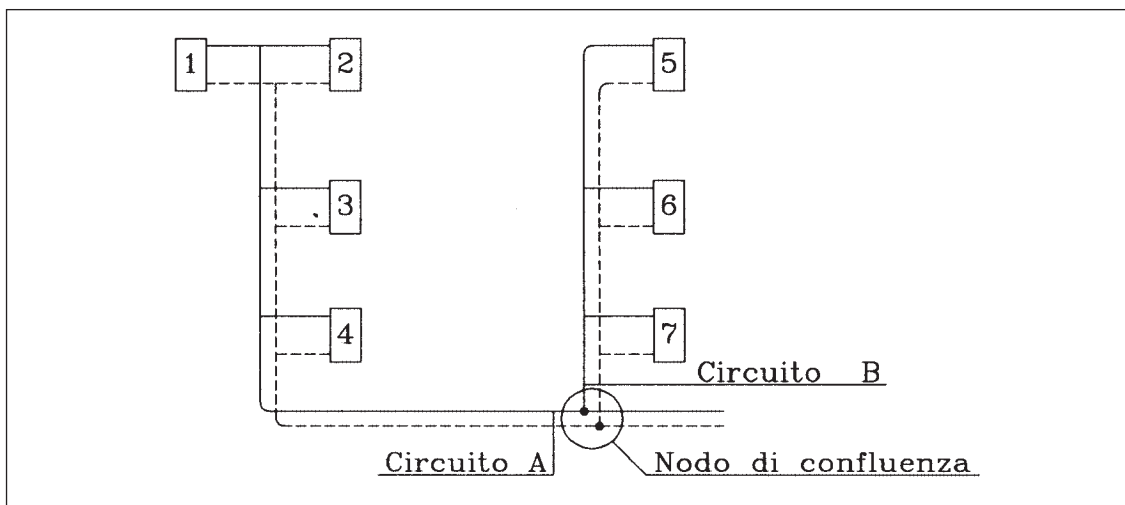
$G_1 = 160$  l/h;  $G_2 = 140$  l/h;  $G_3 = 140$  l/h;  $G_4 = 110$  l/h (portata dei corpi scaldanti)

circuito B:  $H_B = 700$  mm c.a. (prevalenza)

$G_B = 360$  l/h (portata)

$G_5 = 140$  l/h;  $G_6 = 120$  l/h;  $G_7 = 100$  l/h (portata dei corpi scaldanti)

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



### Soluzione

Nel nodo di confluenza i circuiti A e B vengono ad avere la stessa differenza di pressione (la stessa prevalenza).

In genere si assume come prevalenza al nodo (cioè come prevalenza di bilanciamento) quella che corrisponde a uno dei circuiti da bilanciare. E' possibile, però, assumere anche valori diversi.

Gli esempi numerici che seguono, servono ad evidenziare la correlazione esistente fra i valori possibili di bilanciamento e le relative variazioni di portata.

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

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

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

dalla (2) si ottiene:  $F = 429,5 / 360 = 1,193$

che serve a determinare le nuove portate dei singoli corpi scaldanti del circuito B.

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

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

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

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

dalla (2) si ottiene:  $F = 460,9 / 550 = 0,838$

che serve a determinare le nuove portate dei singoli corpi scaldanti del circuito A.

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

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

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

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

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

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

dalle (2) si ottengono:  $F_A = 507,2 / 550 = 0,922$  e  $F_B = 396,2 / 360 = 1,101$

che servono a determinare le nuove portate dei singoli corpi scaldanti dei circuiti A e B.

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

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

### Osservazioni:

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

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

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

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

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

circuito A:  $H_A = 1.500$  mm c.a. (prevalenza);

$G_A = 510$  l/h (portata)

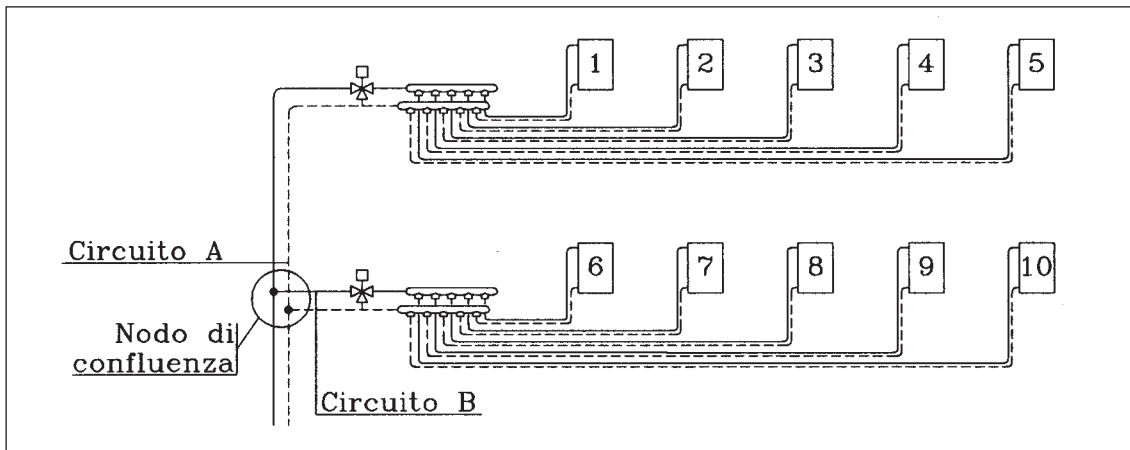
$G_1 = 100$  l/h;  $G_2 = 120$  l/h;  $G_3 = 115$  l/h;  $G_4 = 80$  l/h;  $G_5 = 95$  l/h (portata radiatori)

circuito B:  $H_B = 1.200$  mm c.a. (prevalenza);

$G_B = 470$  l/h (portata)

$G_6 = 90$  l/h;  $G_7 = 110$  l/h;  $G_8 = 105$  l/h;  $G_9 = 75$  l/h;  $G_{10} = 90$  l/h (portata radiatori)

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



### Soluzione

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



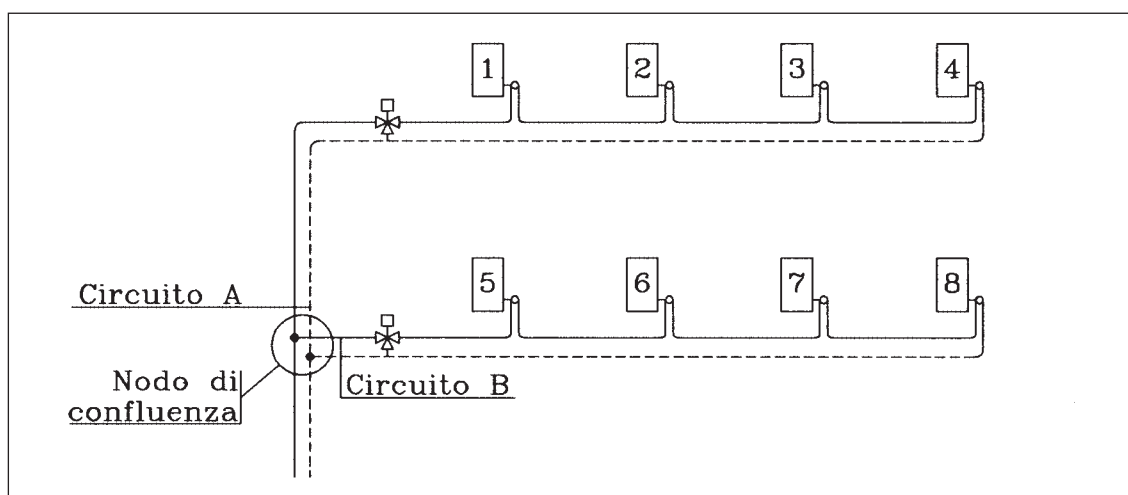
### Esempio - Bilanciamento di circuiti a zona con corpi scalanti in serie

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

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

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

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



### Soluzione

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

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

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

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

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

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

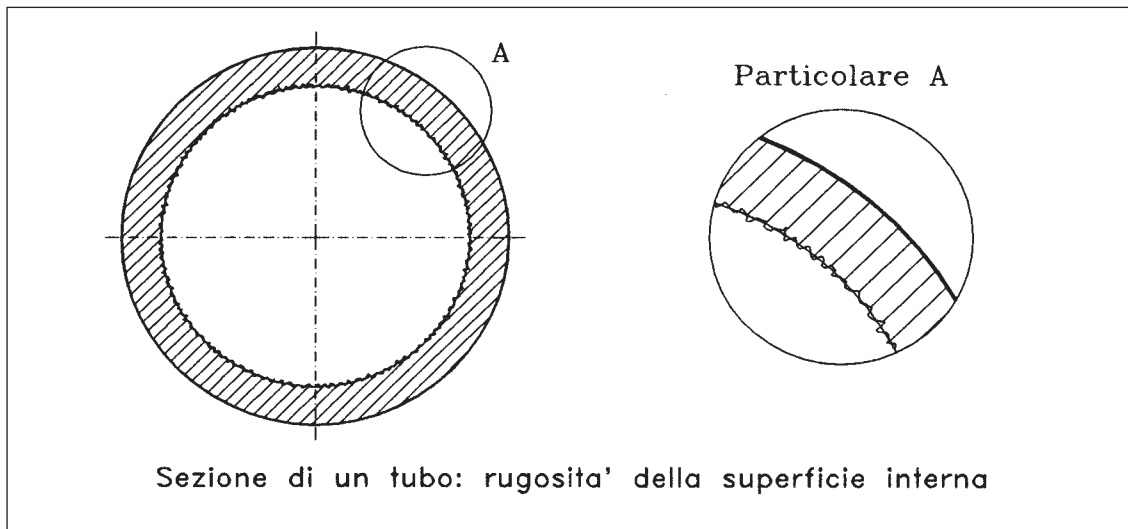
$$G_{An} = G_A \cdot \left( \frac{H_n}{H_A} \right)^{0,525} = 500 \cdot \left( \frac{1.300}{1.800} \right)^{0,525} = 421,5 \text{ l/h}$$

---

## RUGOSITÀ

---

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



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

---

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

---

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

---

---

## TUBI IN ACCIAIO

---

Sono chiamati anche impropriamente “tubi in ferro”.

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

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

I tubi in acciaio sono disponibili anche con protezioni contro la corrosione e con preisolamento termico.

**Le protezioni contro la corrosione** sono ottenute rivestendo le superfici dei tubi con zinco, bitume o resine.

**Il preisolamento** è realizzato, invece, con schiume di poliuretano protette all'esterno mediante tubi in polietilene nero.

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

Per il normale uso idrotermosanitario, questi tubi sono forniti dopo **prova di tenuta idraulica eseguita a freddo** (cioè a 20°C) con pressioni variabili tra 40 e 70 atmosfere.

**Per applicazioni con temperature inferiori a -10°C o superiori a 110°C, è consigliabile utilizzare tubi in acciaio speciale.** I tubi in acciaio normale risultano, infatti, fragili a temperature basse e poco resistenti a temperature elevate.

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

### TUBI SENZA SALDATURA

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

I primi tubi in acciaio senza saldatura furono realizzati, nel 1885, dai fratelli **Mannesmann** mediante uno speciale laminatoio perforatore ad asse obliquo.

Per questo, anche se attualmente vengono prodotti con tecniche diverse, **tutti i tubi in acciaio senza saldatura sono genericamente chiamati tubi “Mannesmann”.**

## TUBI SALDATI ELETTRICAMENTE

Sono derivati da nastri in acciaio sagomati a freddo.

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

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

## TUBI SALDATI FRETZ MOON

Sono fabbricati con nastri in acciaio lavorati a caldo.

Nella prima fase di lavorazione, i nastri vengono scaldati in un forno fino alla temperatura di 1300-1350°C; sono poi conformati a tubo con i lembi accostati.

Successivamente, tali lembi vengono riscaldati a fiamma (fino a circa 1450°C) e saldati fra loro mediante compressione.

Le operazioni di finitura sono realizzate con cilindri calibratori.

Questi tubi derivano il loro nome dai due inventori che, per primi (nel 1920), riuscirono a produrre tubi con nastri in acciaio lavorati in continuo e integralmente a caldo.

I FRETZ MOON sono chiamati anche tubi bollitori perchè, in metallurgia, il processo di saldatura con cui sono prodotti si chiama bollitura.

### Tabelle allegate:

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

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

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

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

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

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

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

**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s



**TAB. 5 - TUBI IN ACCIAIO (pollici)**  
**Temp. acqua = 80°C**
**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

## PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

---

## TUBI IN ACCIAIO DOLCE

---

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

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

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

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

### Tabelle allegate:

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

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

**TAB. 1 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN ACCIAIO DOLCE**

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



PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

---

## TUBI IN MATERIALE PLASTICO

---

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

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

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

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

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

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

+ impiego normale

± impiego limitato

- impiego sconsigliato

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

## TUBI IN POLIETILENE RETICOLATO

Sono realizzati con polietilene ad alta densità, trattato in modo da ottenere molecole disposte a reticolo e legate fra loro.

Tale struttura conferisce a questi tubi una buona resistenza meccanica e una specifica proprietà - chiamata "memoria termica" - che consente di riportare i tubi stessi alla loro forma originaria (mediante riscaldamento a fiamma o ad aria calda) anche nel caso di curve sbagliate o di schiacciamenti.

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

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

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

Sigle di individuazione:

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

Tabelle allegate:

- Nella **tabella 2** e **3** sono riportate le caratteristiche principali dei tubi in polietilene reticolato normalmente commercializzati:  
 TAB. 2 - pressione massima di esercizio = 10 atm; temperatura massima di esercizio = 95°C;  
 TAB. 3 - pressione massima di esercizio = 6 atm; temperatura massima di esercizio = 95°C.
- Dalla **tabella 4** alla **tabella 6** sono riportate le PERDITE DI CARICO CONTINUE (ved. relativa voce) dei tubi in polietilene reticolato, calcolate mediante le formule:  
 (6.2) per il moto laminare;  
 (9.2) per il moto turbolento.

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

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

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

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

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

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

**PERDITE DI CARICO CONTINUE**

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

## PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s



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

## PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

## TUBI IN POLIETILENE AD ALTA DENSITA'

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

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

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

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

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

Sigle di individuazione:

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

Tabelle allegate:

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

TAB. 7 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN PEad PN 6

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

TAB. 8 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN PEad PN 10

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

**TAB. 9 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN PE<sub>ad</sub> PN 16**

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





## PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

---

## TUBI IN RAME

---

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

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

Questi tubi sono disponibili anche con protezioni contro la corrosione e con preisolamento termico.

La **protezione contro la corrosione** è ottenuta mediante rivestimento dei tubi con guaine in PVC aventi superficie interna a sviluppo "stellare".

Il **preisolamento termico** è realizzato, invece, con schiume di polietilene a cellule chiuse o aperte.

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

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

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

$$P = 200 \cdot \frac{s \cdot R}{D_e \cdot K} \quad (1)$$

dove: P = pressione massima di esercizio, kgf/cm<sup>2</sup>  
 s = spessore pareti tubo, mm  
 R = carico di rottura, kgf/mm<sup>2</sup>  
 D<sub>e</sub> = diametro esterno tubo, mm  
 K = coefficiente di sicurezza, adimensionale

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



## Ricottura

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

La ricottura si ottiene riscaldando i materiali interessati fino ad una temperatura ben determinata e lasciandoli poi raffreddare lentamente in forno o in aria libera.

Possono essere sottoposti a ricottura i tubi in rame e i tubi in acciaio a parete sottile.

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

## Brasatura

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

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

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

La brasatura può essere di tipo "dolce" o di tipo "forte".

La brasatura "dolce" viene eseguita con leghe a basso punto di fusione (150-200°C) costituite essenzialmente da stagno e piombo.

La brasatura "forte" si realizza invece con leghe che fondono al di sopra dei 600°C e che hanno come componenti principali l'argento, il nichel e il fosforo.

### Tabelle allegate:

- Nella **tabella 1** sono riportate le caratteristiche principali delle tubazioni conformi alla norma: **UNI 6507** - Tubi di rame senza saldatura per la distribuzione dei fluidi.
- Dalla **tabella 2** alla **tabella 4** sono riportate le **PERDITE DI CARICO CONTINUE** (ved. relativa voce) dei tubi in rame, calcolate mediante le formule:
  - (6.2) per il moto laminare;
  - (9.2) per il moto turbolento.

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

**TAB. 1 - CARATTERISTICHE DEI TUBI IN RAME**

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

## PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

De	10	12	14	16	18	22	28	35	42
Di	8	10	12	14	16	20	25	32	39
r	G v								
2	5* 0,03	13* 0,05	28* 0,07	51* 0,09	87* 0,12	146 0,13	267 0,15	521 0,18	892 0,21
4	11* 0,06	27* 0,09	55* 0,14	82 0,15	118 0,17	216 0,19	396 0,22	775 0,27	1.326 0,31
6	16* 0,09	40* 0,14	68 0,17	104 0,19	149 0,21	273 0,24	500 0,28	977 0,34	1.671 0,39
8	22* 0,12	53* 0,19	80 0,20	122 0,22	175 0,24	322 0,28	589 0,33	1.151 0,40	1.970 0,46
10	27* 0,15	56 0,20	91 0,22	139 0,25	199 0,28	365 0,32	669 0,38	1.308 0,45	2.238 0,52
12	33* 0,18	62 0,22	101 0,25	154 0,28	221 0,31	405 0,36	743 0,42	1.452 0,50	2.483 0,58
14	38* 0,21	67 0,24	111 0,27	168 0,30	242 0,33	443 0,39	811 0,46	1.585 0,55	2.712 0,63
16	40* 0,22	73 0,26	119 0,29	181 0,33	261 0,36	478 0,42	875 0,50	1.711 0,59	2.927 0,68
18	42 0,23	78 0,28	128 0,31	194 0,35	279 0,39	511 0,45	936 0,53	1.830 0,63	3.131 0,73
20	45 0,25	83 0,29	136 0,33	206 0,37	296 0,41	543 0,48	995 0,56	1.944 0,67	3.325 0,77
22	48 0,26	87 0,31	143 0,35	218 0,39	313 0,43	573 0,51	1.050 0,59	2.052 0,71	3.511 0,82
24	50 0,28	92 0,32	151 0,37	229 0,41	329 0,45	602 0,53	1.104 0,62	2.157 0,75	3.690 0,86
26	52 0,29	96 0,34	158 0,39	239 0,43	344 0,48	631 0,56	1.155 0,65	2.258 0,78	3.863 0,90
28	55 0,30	100 0,35	164 0,40	250 0,45	359 0,50	658 0,58	1.205 0,68	2.356 0,81	4.030 0,94
30	57 0,31	104 0,37	171 0,42	260 0,47	373 0,52	684 0,60	1.254 0,71	2.450 0,85	4.192 0,97
35	62 0,34	114 0,40	187 0,46	284 0,51	408 0,56	747 0,66	1.369 0,77	2.676 0,92	4.578 1,06
40	67 0,37	123 0,43	202 0,50	306 0,55	440 0,61	806 0,71	1.478 0,84	2.888 1,00	4.941 1,15
45	72 0,40	131 0,46	216 0,53	328 0,59	471 0,65	863 0,76	1.581 0,89	3.089 1,07	5.285 1,23
50	76 0,42	140 0,49	229 0,56	348 0,63	500 0,69	916 0,81	1.679 0,95	3.281 1,13	5.613 1,31
60	85 0,47	155 0,55	254 0,62	386 0,70	555 0,77	1.017 0,90	1.863 1,05	3.641 1,26	6.230 1,45
70	92 0,51	169 0,60	278 0,68	422 0,76	606 0,84	1.110 0,98	2.035 1,15	3.977 1,37	6.803 1,58
80	100 0,55	183 0,65	300 0,74	455 0,82	654 0,90	1.198 1,06	2.196 1,24	4.292 1,48	7.343 1,71
90	107 0,59	195 0,69	320 0,79	487 0,88	700 0,97	1.282 1,13	2.349 1,33	4.591 1,59	7.854 1,83
100	113 0,63	207 0,73	340 0,84	517 0,93	743 1,03	1.361 1,20	2.495 1,41	4.876 1,68	8.341 1,94
150	143 0,79	262 0,92	429 1,05	652 1,18	937 1,29	1.716 1,52	3.145 1,78	6.147 2,12	10.516 2,45
200	168 0,93	308 1,09	506 1,24	768 1,39	1.104 1,53	2.023 1,79	3.707 2,10	7.245 2,50	12.395 2,88

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s

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

PERDITE DI CARICO CONTINUE

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

r = resistenza, mm c.a./m

G = portata, l/h

v = velocità, m/s