

# Formule utili e terminologia

## Formule base di calcolo

### Determinazione della serie S

$$S = \frac{d_n - e}{2e}$$

### Determinazione dello spessore e

$$e = \frac{PN \cdot d_n}{20\sigma + PN}$$

### Determinazione dello Standard Dimension Ratio SDR

$$SDR = \frac{d_n}{e} = 2S + 1$$

### Determinazione della pressione nominale PN

$$PN = \frac{20\sigma \cdot e}{d_e - e} = \frac{10\sigma}{S}$$

### Determinazione della pressione critica di deformazione Pk

$$Pk = \frac{10E}{4(1 - \mu^2)} \cdot \left(\frac{e}{r_m}\right)^3$$

### Determinazione del sigma critico $\sigma_k$

$$\sigma_k = Pk \cdot \frac{r_m}{e}$$

### Determinazione del momento d'inerzia I per un tubo a parete piena

$$I = \frac{e^3}{12}$$

### Determinazione della rigidità anulare nominale SN

$$SN = \frac{E \cdot I}{(2 r_m)^3}$$

### Determinazione della variazione termica lineare $\Delta L$

$$\Delta L = 0,07 \cdot L_m \cdot \Delta T$$

## Terminologia

e	spessore	mm
PN	pressione nominale	bar
d <sub>n</sub>	diametro esterno nominale	mm σ''
σ	sforzo circonferenziale (sigma di progetto)	N/mm <sup>2</sup>
S	serie	σ/PN
SDR	Standard Dimension Ratio	d <sub>n</sub> /e
L	lunghezza barra	mm
L <sub>m</sub>	lunghezza tratto condotta	m
P <sub>k</sub>	pressione critica di deform.	bar
E	modulo di elasticità	N/mm <sup>2</sup>
μ	modulo di Poisson	0,4
r <sub>m</sub>	raggio medio	mm
σ <sub>k</sub>	sigma critico	N/mm <sup>2</sup>
d <sub>i</sub>	diametro interno	mm
SN	rigidità anulare nominale	KN/m <sup>2</sup>
I	momento d'inerzia	mm <sup>3</sup>
ΔL	variazione termica lineare	mm
ΔT	variazione termica	°C o °K

## Variazione delle pressioni nominali di esercizio in funzione della temperatura

Le materie plastiche soggette a sollecitazioni meccaniche permanenti manifestano una "tendenza a scorrere", fenomeno definito "fluage o creep", in modo simile al comportamento dei metalli sottoposti a temperature elevate.

Per tale effetto la norma UNI-EN 1452-2 prescrive le riduzioni delle pressioni massime di esercizio (la pressione nominale PN è definita come la pressione massima di esercizio con fluido a 20°C) in funzione delle temperature di esercizio dei fluidi convogliati a mezzo di specifici coefficienti (fig. 12).

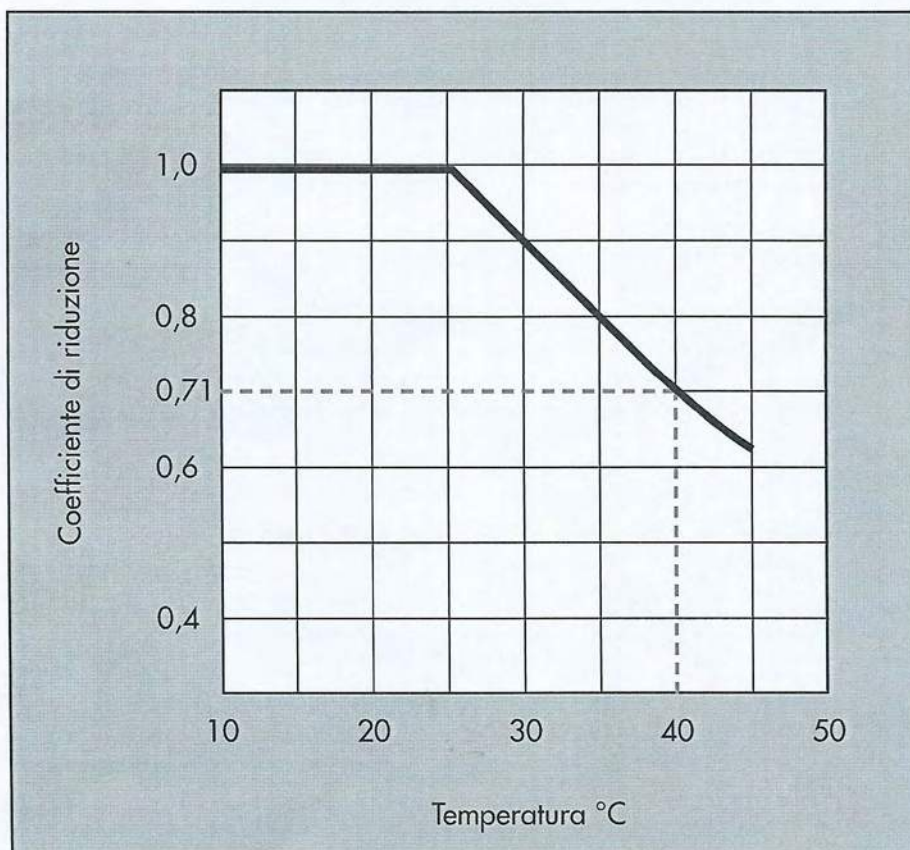


Fig. 12 - Coefficiente di riduzione della pressione ammissibile in funzione della temperatura.

### Esempio

Si consideri un tubo PN 10 impiegato per convogliare acqua a 40°C.

Il coefficiente di riduzione corrispondente a 40°C sulla figura è 0,71.

La pressione max di esercizio sarà pari a:  
 $0,71 \cdot 10 \text{ bar} = 7,1 \text{ bar}$ .

### Variazione termica lineare

Il tubo di PVC-U, come gli altri materiali, subisce dilatazioni o contrazioni longitudinali in funzione delle temperature dei fluidi convogliati.

### Esempio di interpolazione grafica dei valori sull'abaco di fig. 13

Dati noti:

lunghezza del tratto condotta ( $L$ ) = 40 m;

differenza di temperatura ( $\Delta t$ ) = 20°C;

coefficiente di variazione

termica lineare = 0,07 (mm/m)/°C

Risultati:

La variazione della lunghezza ( $\Delta L$ ) sarà ~ 56 mm.

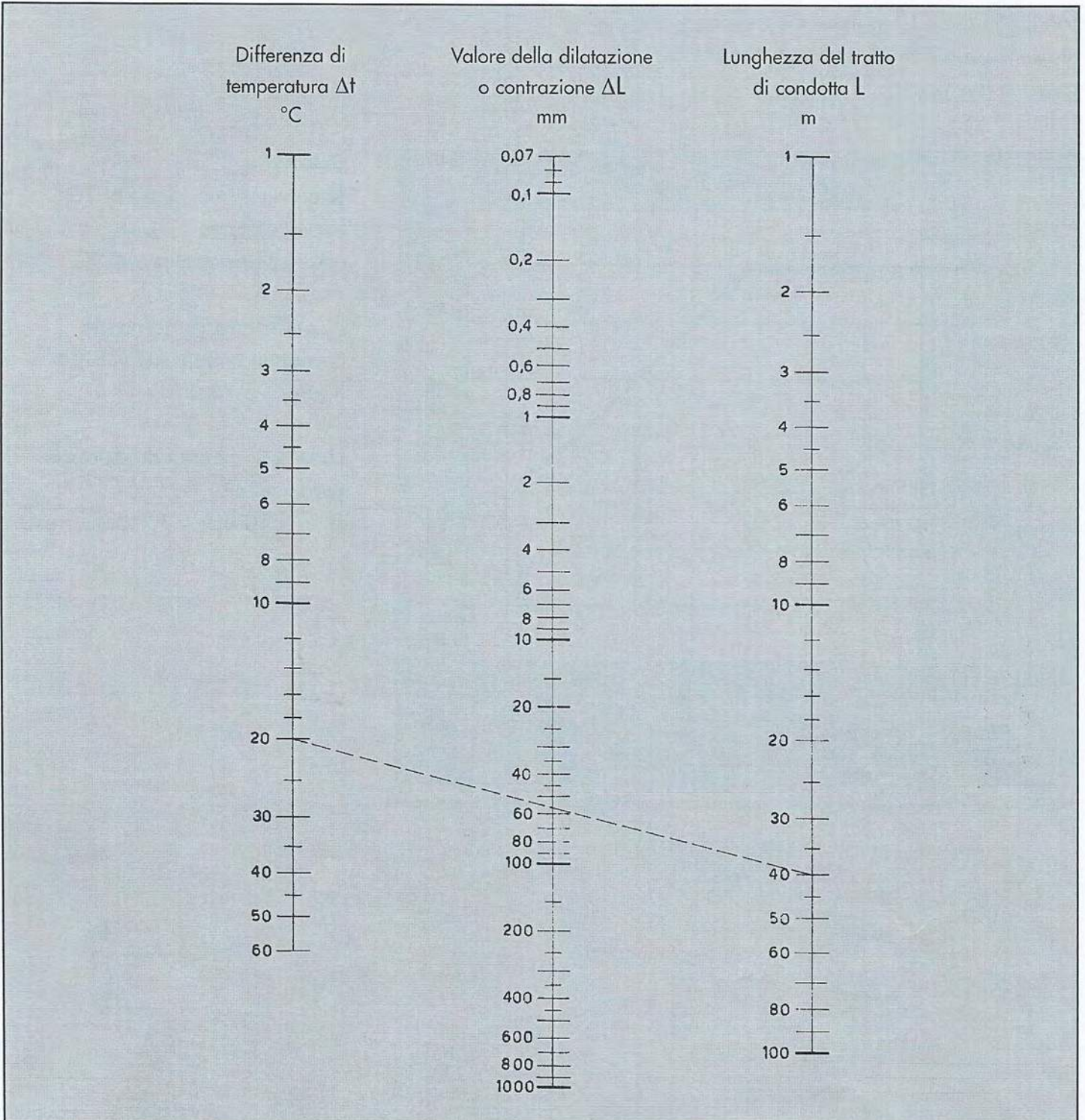


Fig. 13 - Abaco delle variazioni termiche lineari.

## Curvabilità dei tubi con giunzione ad incollaggio

I tubi in PVC-U possono essere curvati in presenza di temperatura ambiente  $T \geq 5^{\circ}\text{C}$ .

Nel caso in cui la condotta venga realizzata con giunzioni ad incollaggio, le frecce massime ammissibili sono quelle indicate nella tabella 6.

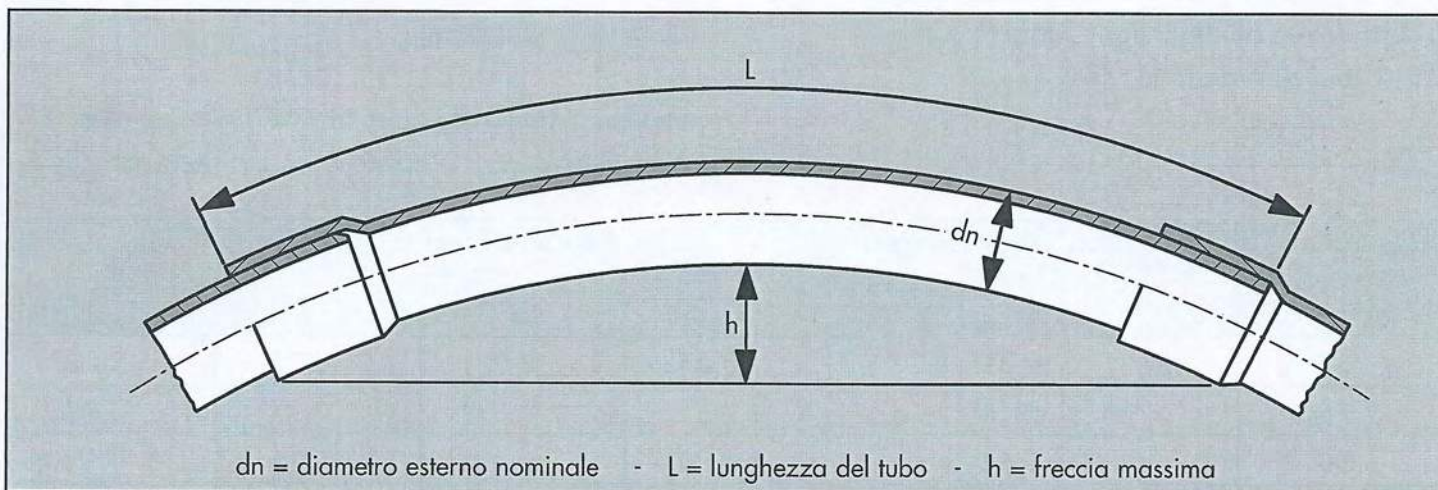


Fig. 14 - Condotta con giunzioni ad incollaggio

Diametro esterno nominale dn (mm)	Freccia massima con L = 6 m h (mm)
32	400
40	300
50	250
63	200
75	165
90	140
110	135
125	125
140	110
160	100
180	85
200	80
225	70
250	60
280	55
315	50
355	45
400	40
500	35
630	30

Tab. 6 - Freccie massime ammissibili nel caso di condotte con giunzione ad incollaggio.

## Blocchi di ancoraggio

I sistemi di giunzione a bicchiere con guarnizione elastomerica essendo del tipo elastico oltre a garantire perfettamente la pressione interna sono in grado di assorbire allungamenti o ritiri dovuti all'escursione termica o alle variazioni di pressione.

Non sono però in grado di contrastare lo sforzo assiale generato dalla pressione interna.

Queste forze devono essere annullate con blocchi di ancoraggio adatti.

Lo sforzo generato nelle testate, nelle curve e nelle derivazioni è quello indicato nella tabella 7.

Diametro nominale dn (mm)	Spinta sull'estremità cieca kN/bar*	Spinta radiale sulle curve a vari angoli kN/bar*			
		90°	45°	22,5°	11,25°
63	0,31	0,44	0,24	0,12	0,06
75	0,44	0,62	0,34	0,17	0,09
90	0,64	0,90	0,49	0,25	0,12
110	0,95	1,34	0,73	0,37	0,19
125	1,23	1,74	0,94	0,48	0,24
140	1,54	2,18	1,18	0,60	0,30
160	2,01	2,84	1,54	0,78	0,39
180	2,54	3,60	1,95	0,99	0,50
200	3,14	4,44	2,40	1,23	0,62
225	3,98	5,62	3,04	1,55	0,78
250	4,91	6,94	3,76	1,92	0,96
280	6,16	8,71	4,71	2,40	1,21
315	7,79	11,02	5,96	3,04	1,53
355	9,90	14,00	7,58	3,86	1,94
400	12,57	17,77	9,62	4,90	2,46
450	15,90	22,49	12,71	6,21	3,12
500	19,63	27,77	15,03	7,66	3,85
560	24,63	34,83	18,85	9,61	4,83
630	31,17	44,08	23,86	12,16	6,11

\* Le cifre nel prospetto sono per bar di pressione interna. 1 bar = 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup> = 0,1 MPa.

Tab. 7 - Forze di spinta per estremità cieche e curve.

### Nota

Le forze di spinta sulle riduzioni devono essere considerate solamente dove la diminuzione del diametro è grande (per esempio 315 x 90).

In tali casi la spinta è il prodotto della pressione di prova e l'area dell'anello come dato nella seguente equazione:

$$F = 0,2 p \cdot \pi \frac{d_i^2 - d_e^2}{4}$$

dove:

F = forza di spinta in newton;

p = pressione di prova in bar;

d<sub>i</sub> = diametro interno del tubo più grande in mm;

d<sub>e</sub> = diametro esterno del tubo più piccolo in mm.

## Curvabilità dei tubi con giunzione a bicchiere con guarnizione elastomerica

Nella tabella 8 sono indicate le deviazioni ammesse per curvature a freddo di barre di 6 metri di lunghezza.

La deviazione angolare della giunzione si raccomanda non sia superiore a  $1^\circ$ .

Nel caso di curvature a freddo di interi tratti di condotta, il raggio di curvatura ammesso deve

essere superiore a 300 volte il diametro esterno nominale del tubo.

Per ottenere curvature sulle condotte di  $dn \geq 180$  mm si raccomanda l'uso di apposite curve pre-formate reperibili sul mercato.

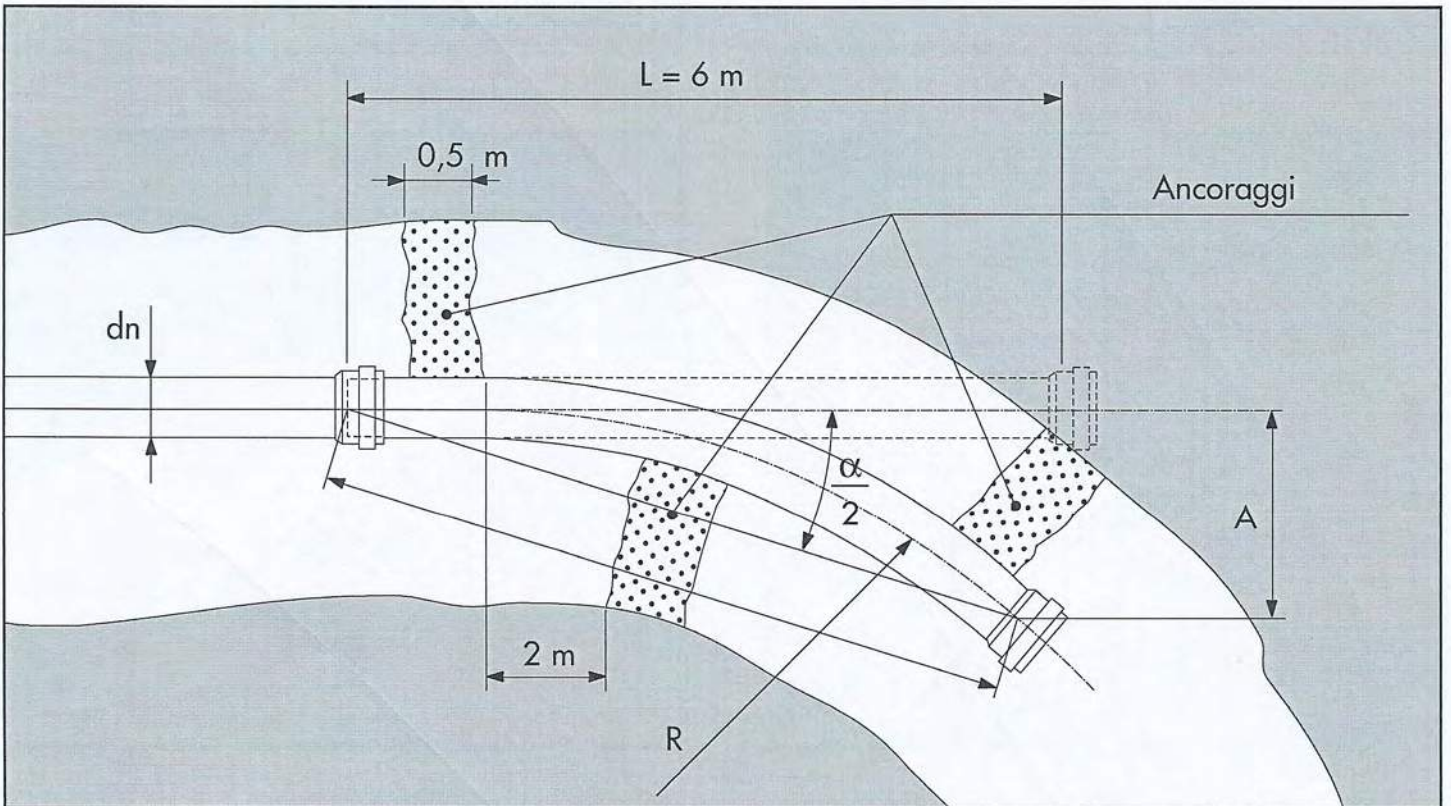


Fig. 16 - Schema deviazioni ammesse.

Diametro nominale esterno $dn$ (mm)	Raggio minimo $R$ (m)	Angolo $\alpha/2$ (gradi)	Corda $S^*$ (m)	Deflessione $A^*$ (m)
<b>63</b>	12,6	13,64	5,94	1,40
<b>75</b>	15,0	11,50	5,98	1,19
<b>90</b>	18,0	9,55	5,97	0,99
<b>110</b>	22,0	7,81	5,98	0,81
<b>125</b>	25,0	6,87	5,98	0,72
<b>140</b>	28,0	6,14	5,99	0,64
<b>160</b>	32,0	6,37	5,99	0,56

\* Le cifre nelle colonne "S" e "A" si applicano solamente ai tubi di lunghezza effettiva di 6 metri.

Tab. 8 - Raggio minimo di curvatura "R" per la curvatura a freddo in cantiere.

## Comportamento statico

Le tubazioni in PVC rigido, sottoposte a carichi esterni (dove applicabili) si deformano.

La deformazione (ovalizzazione) massima deve essere inferiore ai limiti di norma (5 % a breve termine, 2,5 % a lungo termine).

Il valore della rigidità nominale  $S$  è calcolato con la formula classica (vedi formulario a pag. 18), viene inoltre riportato in tabella 9 il corrispondente valore di rigidità nominale.

Diametro nominale esterno $dn \leq 90$ (mm)				
	PN 6	PN 10	PN 16	PN 20
$S$ calcolato ( $kN/m^2$ )	7,6	31,3	125	250
SN	8	32	-	-

Diametro nominale esterno $dn \geq 90$ (mm)				
	PN 6	PN 10	PN 16	PN 20
$S$ calcolato ( $kN/m^2$ )	3,9	16	61	125
SN	4	16	-	-

Tab. 9 - Valori di rigidità nominali.

## Comportamento idraulico

Le tubazioni in PVC rigido, sottoposte a numerosi esperimenti di laboratorio, hanno dimostrato un comportamento assimilabile a quello di un tubo "estremamente liscio", conservando tali caratteristiche nel tempo per l'assenza di incrostazioni o tubercolizzazioni: ciò comporta, a parità di diametro interno, una minore perdita di carico e quindi una maggiore portata rispetto ai "materiali tradizionali".

Inoltre, il basso valore del modulo di elasticità  $E$  (~ 3.000 MPa) limita le sovrappressioni istantanee dovute all'effetto del "Colpo d'Ariete".

Tali sovrappressioni, molto inferiori rispetto a quelle che si hanno nei materiali "rigidi" tradizionali, sono facilmente assorbibili, per la capacità del PVC di resistere bene alle sollecitazioni di breve durata.

## Colpo d'ariete

La sovrappressione creata dal Colpo d'Ariete dipende dal tempo di manovra della saracinesca, dalla velocità e dalle caratteristiche del liquido trasportato ed infine dalla deformabilità elastica del tubo.

Per il calcolo della sovrappressione ( $\Delta h$ ) si fa uso della formula di Allievi:

$$\Delta h = \frac{c}{g} V_0$$

$$c = \frac{C}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon}{E} \frac{D}{s}}}$$

dove:

$c$  = velocità di propagazione della perturbazione in m/s;

$g$  = accelerazione di gravità in  $m/s^2$ ;

$V_0$  = velocità dell'acqua prima della chiusura in m/s;

$C$  = velocità del suono nell'acqua a 15°C (1420 m/s circa);

$\varepsilon$  = modulo di elasticità dell'acqua ( $2 \cdot 10^8$  kgf/m<sup>2</sup>);

$E$  = modulo di elasticità del materiale costituente il tubo in kgf/m<sup>2</sup>;

$D$  = diametro del tubo in m;

$s$  = spessore del tubo in m.

I valori del modulo di elasticità  $E$  e del rapporto  $\varepsilon/E$  sono rispettivamente:

	$E$	$\varepsilon/E$
PVC	$3 \cdot 10^8$ kgf/m <sup>2</sup>	0,7
acciaio	$210 \cdot 10^8$ kgf/m <sup>2</sup>	0,01
amianto cemento	$20 \cdot 10^8$ kgf/m <sup>2</sup>	0,1
ghisa	$105 \cdot 10^8$ kgf/m <sup>2</sup>	0,02

La sovrappressione massima si genera quando il tempo di chiusura è inferiore o uguale alla durata della fase, ossia al tempo critico,  $T_{cr}$ , di propagazione della perturbazione dalla saracinesca al serbatoio di carico e ritorno.

In questo caso la manovra è considerata brusca.

$$T_{cr} = \frac{2L}{c}$$

dove:

$T$  = tempo in secondi;

$L$  = lunghezza della condotta per il tratto considerato in mm.

Il D. M. 12.12.85 fissa dei limiti alla massima sovrappressione di colpo d'ariete, ammissibile (vedi tabella 10) in funzione della pressione idrostatica che si ha nella condotta.

Pressione idrostatica (bar)	$\leq 6$	6÷10	10÷20	20÷30
Sovrappressione Colpo d'Ariete (bar)	3	3÷4	4÷5	5÷6

Tab. 10 - Limiti alla massima sovrappressione di colpo d'ariete.

Per sovrappressioni calcolate maggiori è necessario prevedere l'installazione di dispositivi di attenuazione (casce d'aria, volani, ecc...).