

Impianti di riscaldamento

Prof. Ing. P. Romagnoni
Università IUAV di Venezia
Dorsoduro 2206
Venezia

Sono i sistemi più utilizzati nell'edilizia residenziale dove spesso sono di solo riscaldamento, ma possono anche essere di raffrescamento.

Vantaggi:

- basso costo e semplicità di installazione;
- limitato ingombro delle apparecchiature: non si ha la centrale di trattamento dell'aria e limitate dimensioni delle tubature;
- permettono di fornire calore in prossimità delle pareti perimetrali esterne;
- rapida risposta alle variazioni di carico;
- permettono di seguire con grande flessibilità i vincoli architettonici;
- permettono di sfruttare la grande capacità di trasporto del calore dell'acqua.

Svantaggi:

- non permettono il controllo dell'umidità e della qualità dell'aria;

Gli elementi fondamentali di un impianto ad acqua

Gli elementi fondamentali che costituiscono un impianto ad acqua sono i seguenti:

- **un generatore di calore**
- **(un generatore di freddo)**
- **le tubazioni di collegamento**
- **i terminali (scambiatori di calore acqua-aria)**
- **la pompa di movimentazione dell'acqua**
- **il vaso di espansione**
- **una valvola di sicurezza**

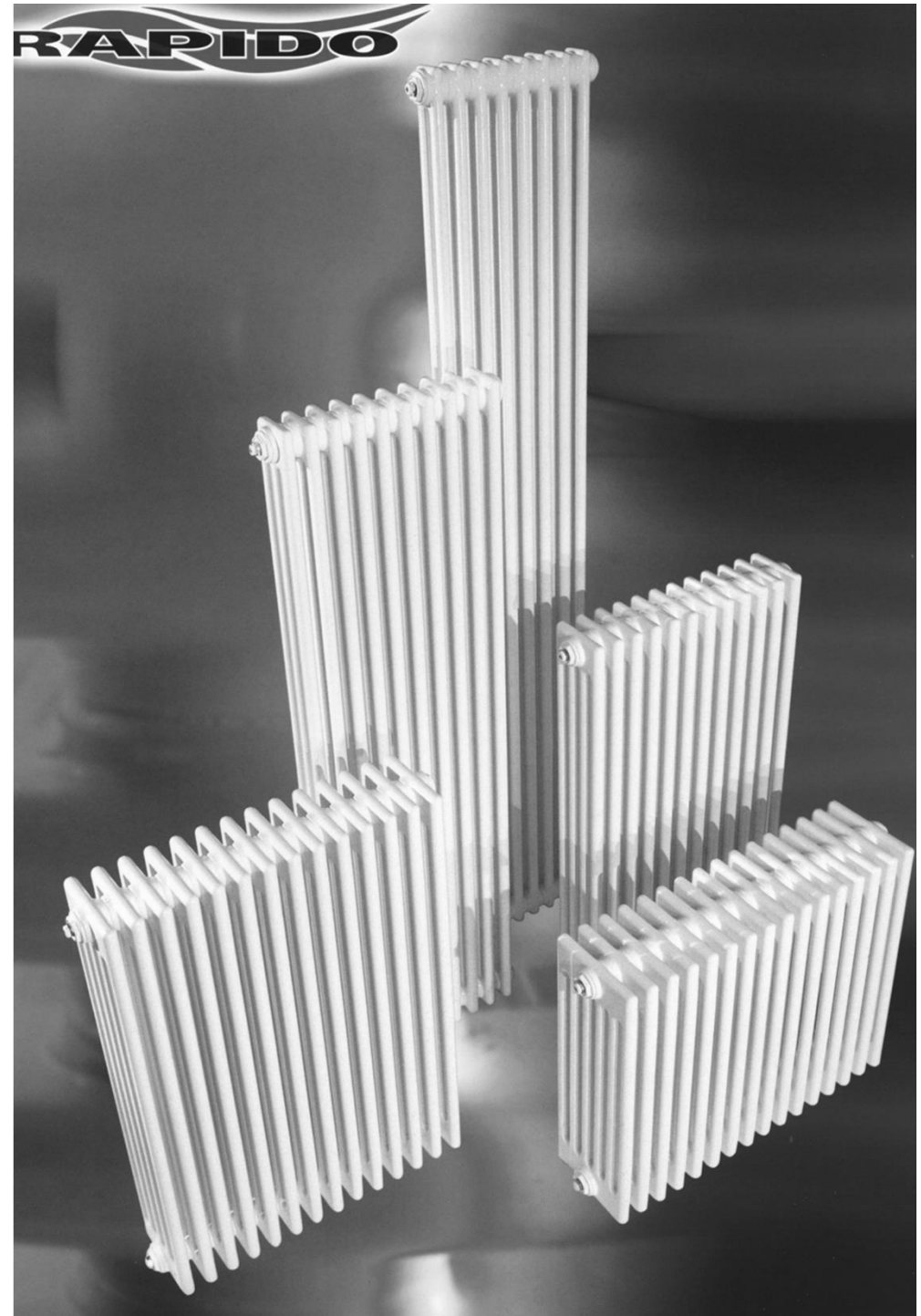
I corpi scaldanti

Essenzialmente si hanno a disposizione tre tipologie di scambiatore di calore acqua-aria per fornire il calore desiderato agli ambienti:

- **termosifoni - scambio parzialmente radiativo e soprattutto convettivo in regime di convezione naturale;**
- **pannelli radianti - grande superficie di scambio e trasmissione del calore soprattutto per via radiativa e in parte convettiva;**
- **ventilconvettori - scambio essenzialmente convettivo in regime di convezione forzata**

**I corpi scaldanti:
termosifoni**

Termosifoni in ghisa





**I corpi scaldanti:
termosifoni**

Termosifoni in acciaio



**I corpi scaldanti:
termosifoni**

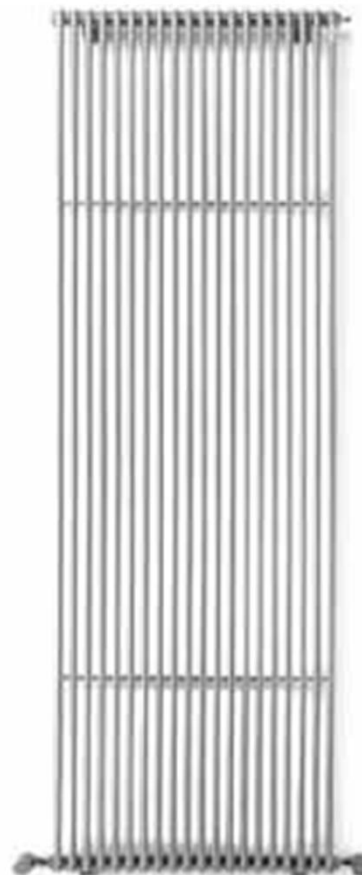


Termosifoni in alluminio

I corpi scaldanti

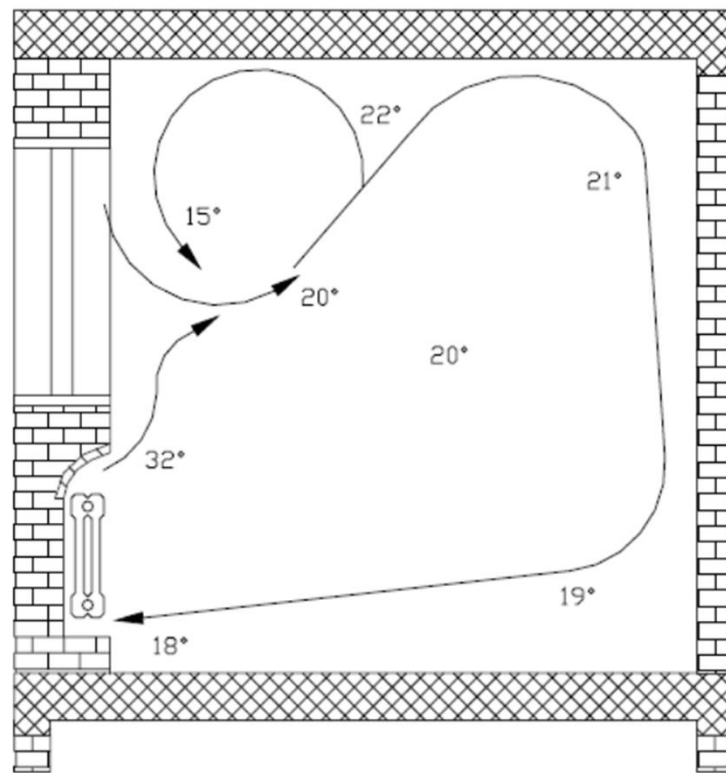
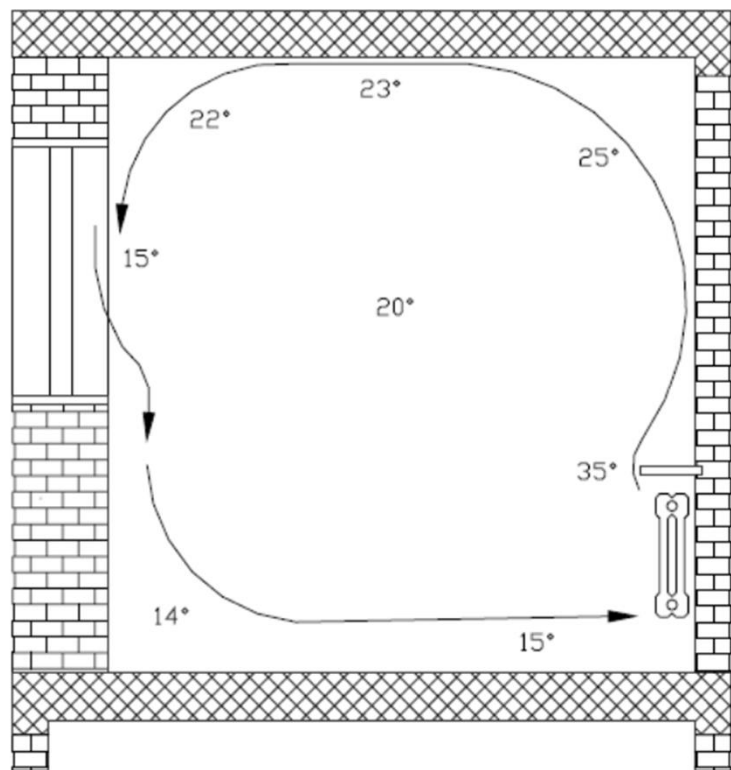


Termosifoni in acciaio

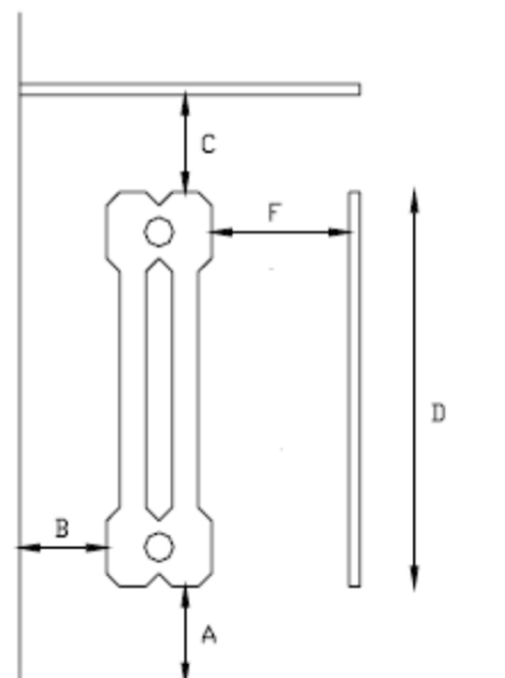
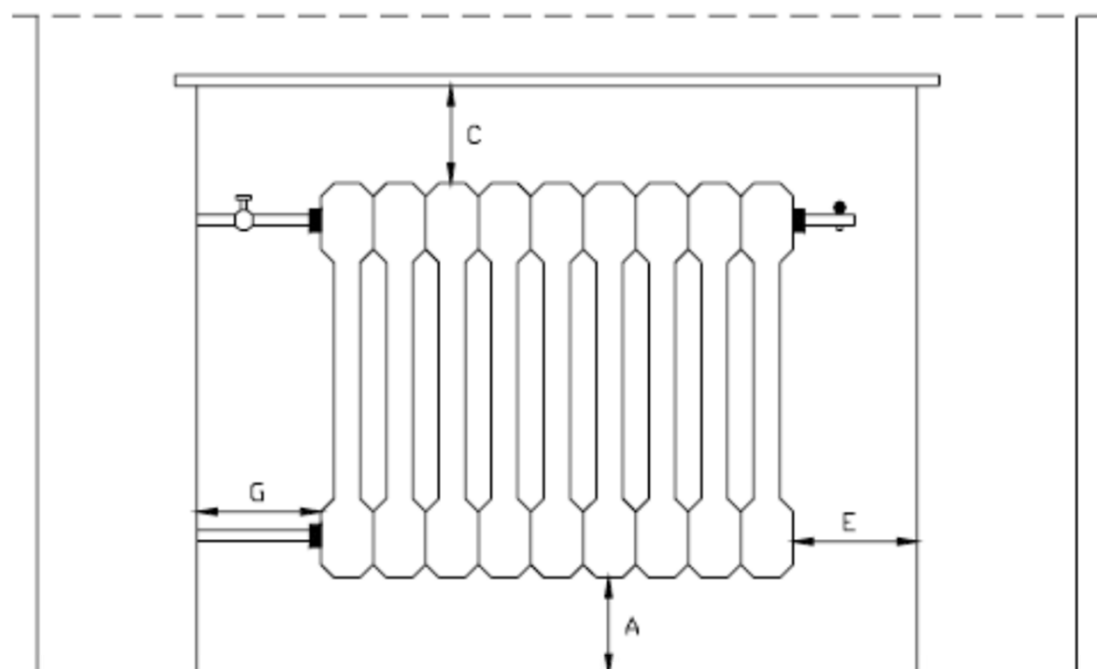


Il corretto posizionamento dei radiatori in ambiente dipende da molteplici aspetti, tra i quali:

- geometria del locale (planimetria ed altezza);
- rapporto tra le superfici vetrate ed opache;
- temperatura minima esterna;
- scelta della rete distributiva del calore (due tubi, monotubo);
- esigenze architettoniche e di arredo;
- fabbricato nuovo o esistente.



Effetto del posizionamento del radiatore sulla temperatura dell'aria ambiente



RADIATORI:

A: MIN. 70mm - CONSIGLIATO 100-120mm

B: MIN. 25mm - CONSIGLIATO 50mm

C: MIN. 70mm - CONSIGLIATO 100mm

D: >= ALTEZZA RADIATORE

E: SENZA ATTACCHI TUBAZIONI: 80mm
 CON ATTACCHI TUBAZIONI: 160mm

F: CONSIGLIATO 10-40mm

G: 200mm

Resa termica dei corpi scaldanti

$$q_R = C (\theta_{ma} - \theta_a)^n$$

C = costante caratteristica;

n = 1,25 ÷ 1,3;

θ_{ma} = temperatura media dell'acqua calda
(70°C ÷ 80°C);

θ_a = temperatura dell'aria (~ 20°C)

DIMENSIONAMENTO

Dai cataloghi tecnici delle case costruttrici il valore della potenza termica q fornita da ciascun elemento, si può facilmente determinare il numero N di elementi necessari a bilanciare il carico termico Q :

$$N = Q/q$$

Se il rapporto Q/q assume un valore decimale è opportuno arrotondare per eccesso.

Per N maggiore di $15 \div 20$ elementi, è consigliabile assemblare gli elementi in due radiatori separati.

La presenza di più di un radiatore in uno stesso locale può risultare necessaria anche per esigenze architettoniche o per ottenere una maggiore uniformità di temperatura in locali ampi.

Esempio di tabella caratteristiche

Tipo	Dimensioni				Filettatura giunzioni	q _n (W)	q (ΔT=50 °C) (W)	n	c (l)
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)					
2-566	567	500	60	60	1"	71,3	56,2	1,31	0,57
2-690	690	623	60	60	1"	87,6	68,9	1,32	0,62
2-880	880	813	60	60	1"	110	86,3	1,33	0,75
3-566	567	500	60	95	1"	97,5	77,1	1,29	0,69
3-690	690	623	60	95	1"	119	94,2	1,28	0,81
3-880	880	813	60	95	1"	148	117	1,28	0,98
4-690	690	623	60	130	1"	152	119	1,32	0,92
4-880	880	813	60	130	1"	190	150	1,31	1,06
5-566	567	500	60	165	1"	154	122	1,30	0,96
5-690	690	623	60	165	1"	184	144	1,34	1,09
5-880	880	813	60	165	1"	229	179	1,34	1,32

La potenza nominale q_n , riportata in tabella, rappresenta la potenza termica fornita dall'elemento di radiatore quando risulta $\Delta\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ (UNI 6514), con

$$\Delta\theta = \theta_{\text{media}} - \theta_{\text{ambiente}} = (\theta_{\text{m,acqua}} + \theta_{\text{r,acqua}})/2 - \theta_{\text{ambiente}}$$

Ad esempio, risulta $\Delta\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ con $\theta_{\text{m,acqua}} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_{\text{r,acqua}} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\theta_{\text{ambiente}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Se $\Delta\theta \neq 60 \text{ }^\circ\text{C}$, la potenza termica $q(\Delta\theta)$ fornita da ciascun elemento di radiatore si può ricavare dalla seguente relazione:

$$q(\Delta\theta) = q_n * (\Delta\theta/60)^n$$

La potenza q aumenta al crescere del $\Delta\theta$ non linearmente, come invece sarebbe prevedibile per K costante (in realtà K aumenta al crescere del $\Delta\theta$). Per $\Delta\theta < 60 \text{ }^\circ\text{C}$, quindi per valori più bassi della temperatura media dell'acqua nel radiatore, la potenza q si riduce; in particolare, se $\Delta\theta=50 \text{ }^\circ\text{C}$ (ad esempio con $\theta_{\text{m,acqua}} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_{\text{r,acqua}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$ e $\theta_{\text{ambiente}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), la potenza termica fornita q ($\Delta\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$) è riportata in tabella.

Esempio: dimensionamento di un radiatore

Si consideri un locale in cui si vogliono installare dei radiatori e si supponga che il carico termico invernale sia pari a 1.600 W.

Si scelga un radiatore del tipo 3-880, cioè a tre ranghi e di altezza pari a 880 mm.

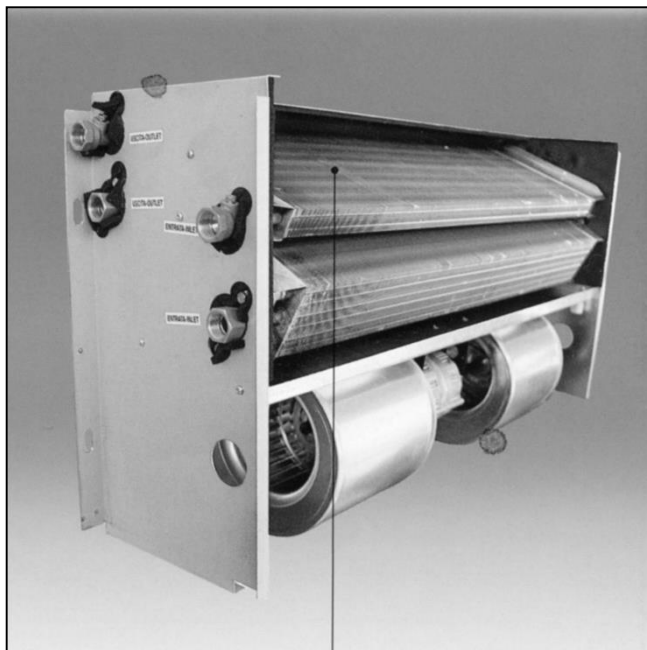
Se $\Delta\theta = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, dalla tabella si ricava la potenza termica fornita da ciascun elemento $q_n = 148 \text{ W}$, per cui:

$$N = Q/q = 1.600/148 = 10,8 \Rightarrow N = 11 \text{ elementi}$$

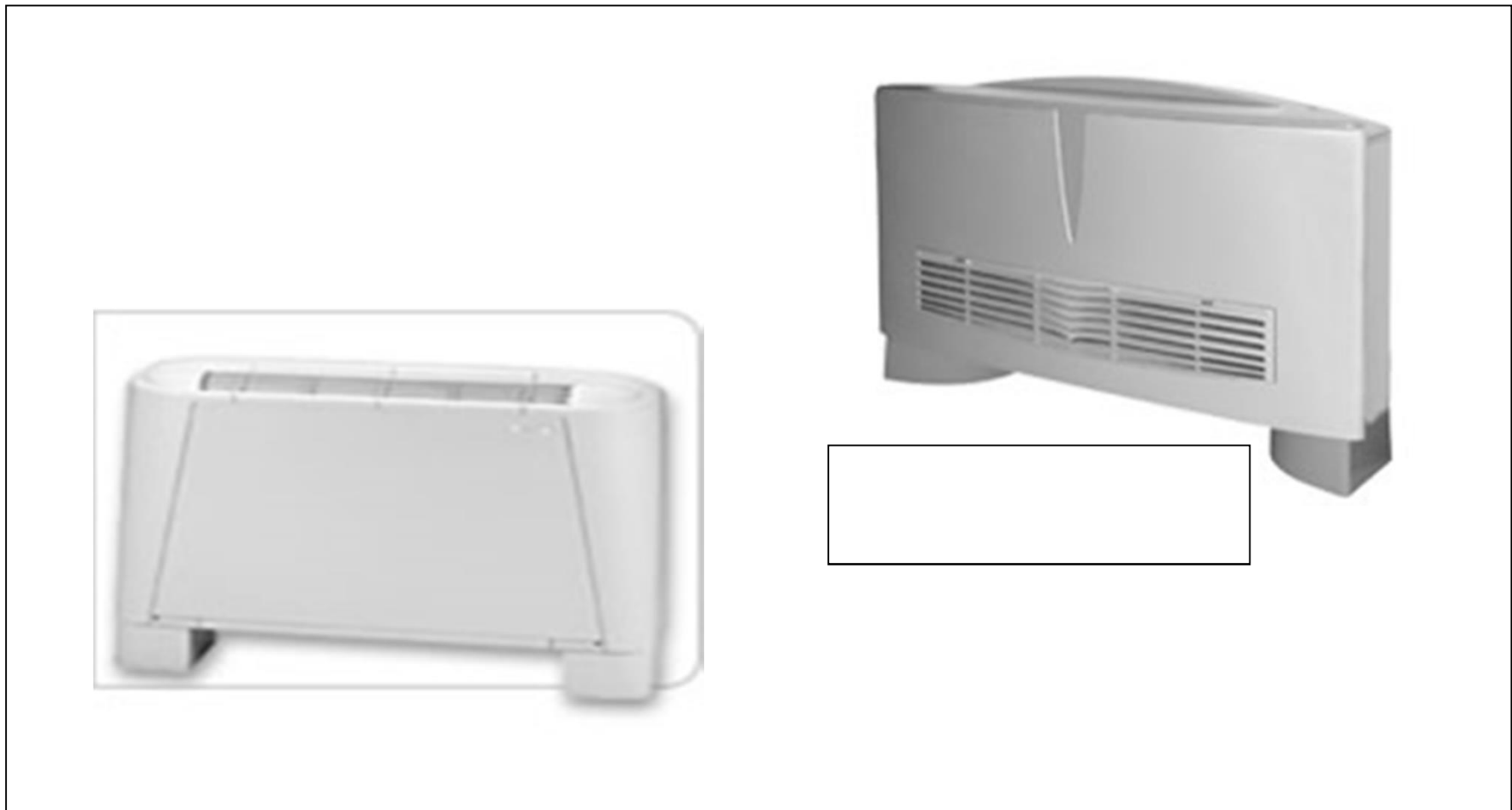
Se $\Delta\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ risulta $q (\Delta\theta = 50 \text{ }^\circ\text{C}) = 117 \text{ W}$, per cui

$$N = Q/q = 1.600/117 = 13,7 \Rightarrow N = 14 \text{ elementi}$$

I corpi scaldanti: ventilconvettori

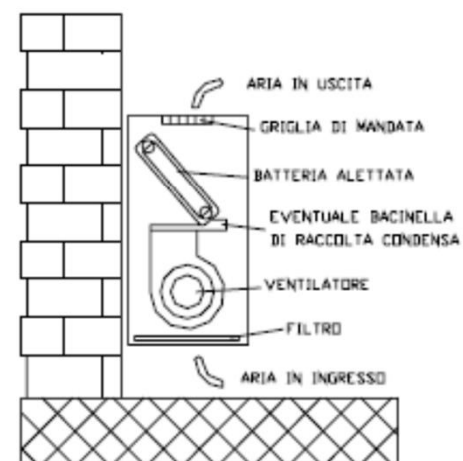
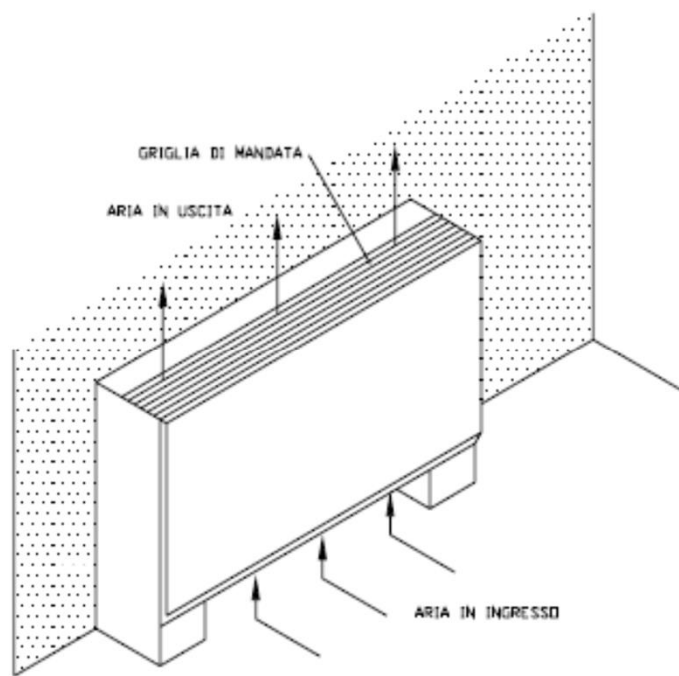
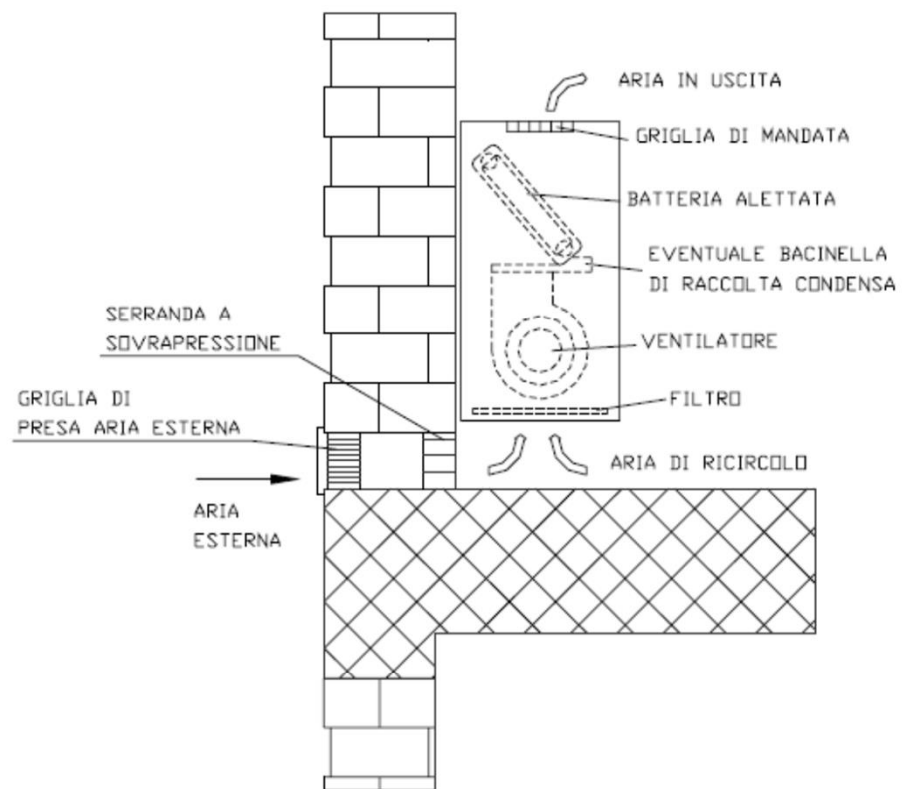


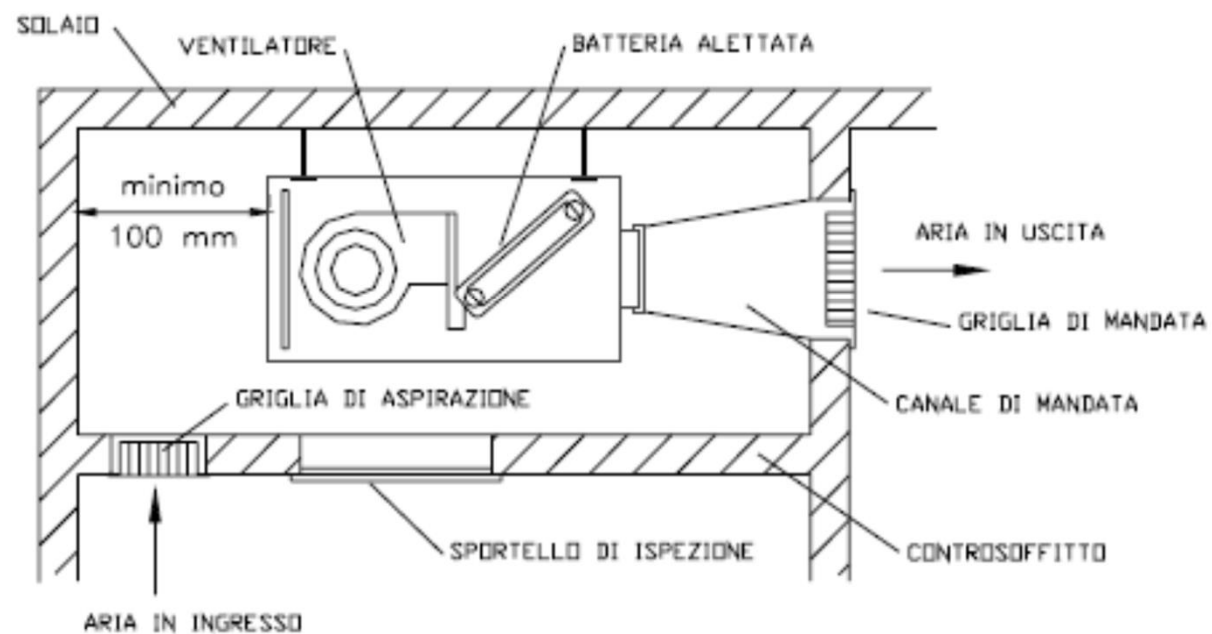
I corpi scaldanti: ventilconvettori



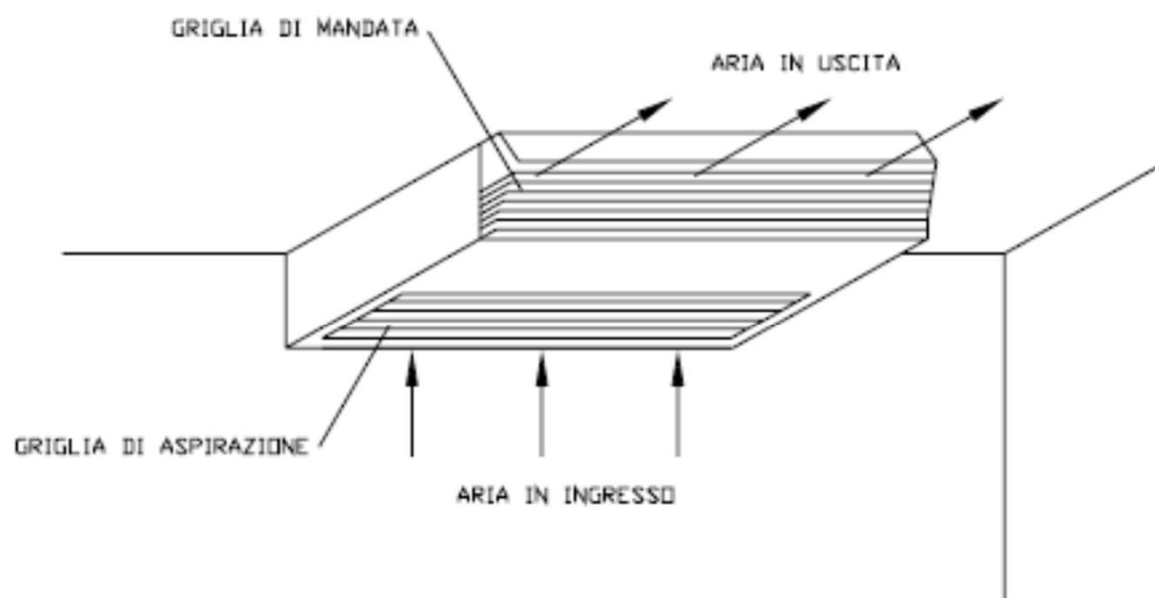
I corpi scaldanti: ventilconvettori







In
controsoffitto



A soffitto

Posizionamento

I ventilconvettori possono essere realizzati nel modello verticale (a pavimento), con o senza mobiletto, e nel modello orizzontale, con mobiletto (a soffitto) o senza (in controsoffitto).

Nel caso di installazione a pavimento, la mandata dell'aria può avvenire lateralmente o, più frequentemente, verso l'alto, mentre la ripresa può essere effettuata lateralmente o dal basso.

La scelta della posizione degli elementi deve essere tale da evitare che le persone vengano a trovarsi in posizione troppo esposta al getto d'aria e da ottenere una distribuzione abbastanza uniforme della temperatura.

Dimensionamento

Per quanto riguarda il dimensionamento dei ventilconvettori, dopo aver scelto un modello, in base ad esigenze funzionali (anche relative alla rumorosità del modello stesso), economiche ed estetiche, ***si individua la taglia che, alla media velocità del ventilatore, garantisce una potenza termica tale da bilanciare i carichi termici nelle condizioni di funzionamento fissate.***

La scelta alla media velocità è consigliabile, poiché un ventilconvettore scelto alla massima velocità potrebbe essere rumoroso.

Contemporaneamente occorre anche verificare la portata d'aria, che deve essere tale da garantire una distribuzione uniforme della temperatura in ambiente e nel contempo non indurre velocità dell'aria troppo elevate che possono causare sensazioni sgradevoli agli occupanti.

Alcune caratteristiche degli impianti a ventilconvettori

Temperatura dell'acqua di alimentazione:

inverno: fino a 55°C

estate: 5 – 6 °C

Potenze termiche:

in riscaldamento: da 2 kW a 15 kW

in raffrescamento: da 800 W a 10 kW

variabili a seconda delle dimensioni della batteria alettata

Tubazioni di collegamento isolate

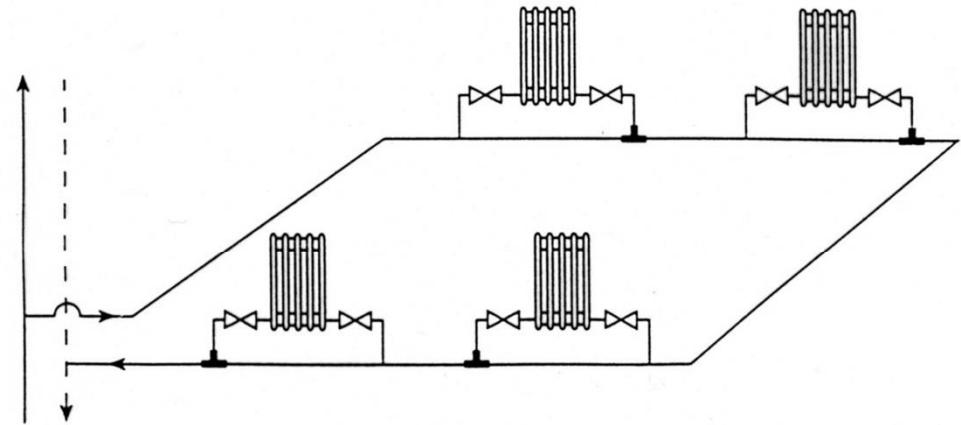
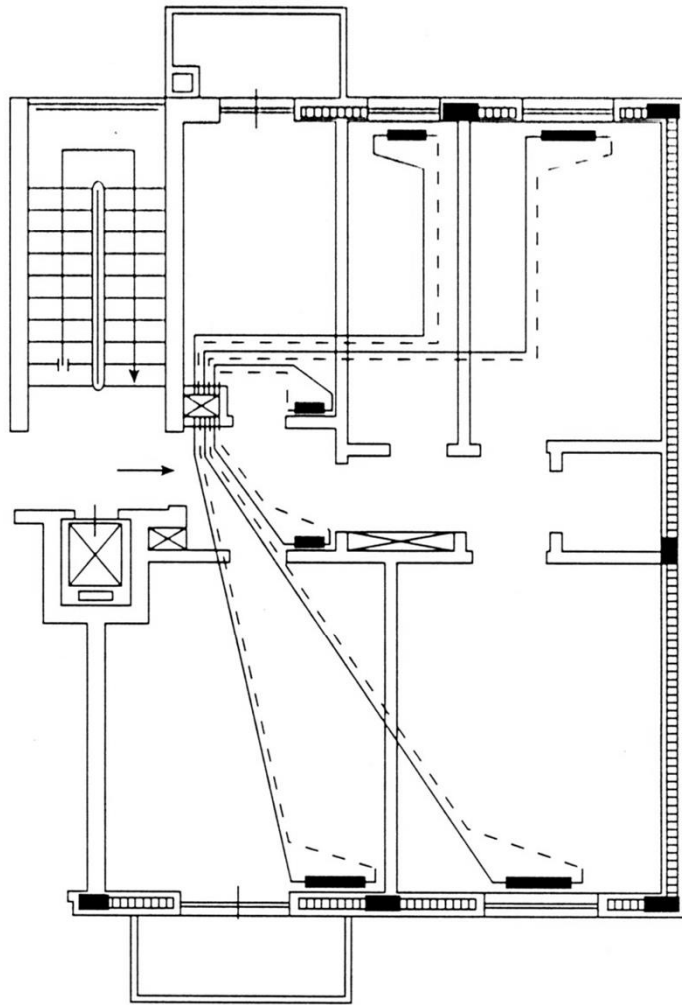
Scarico condensa: è opportuno prevederlo

I diversi sistemi di distribuzione

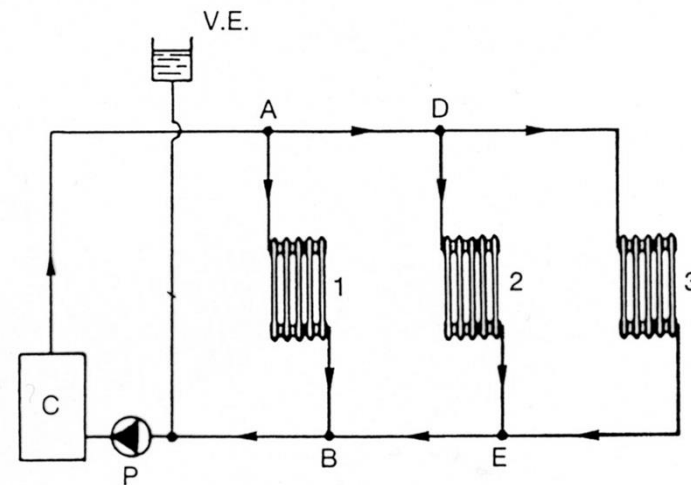
La distribuzione dell'acqua ai diversi corpi scaldanti può essere effettuata con diversi layout. I principali sono i seguenti:

- distribuzione monotubo
- distribuzione a due tubi
- distribuzione con collettori
- distribuzione a quattro tubi (con raffrescamento)

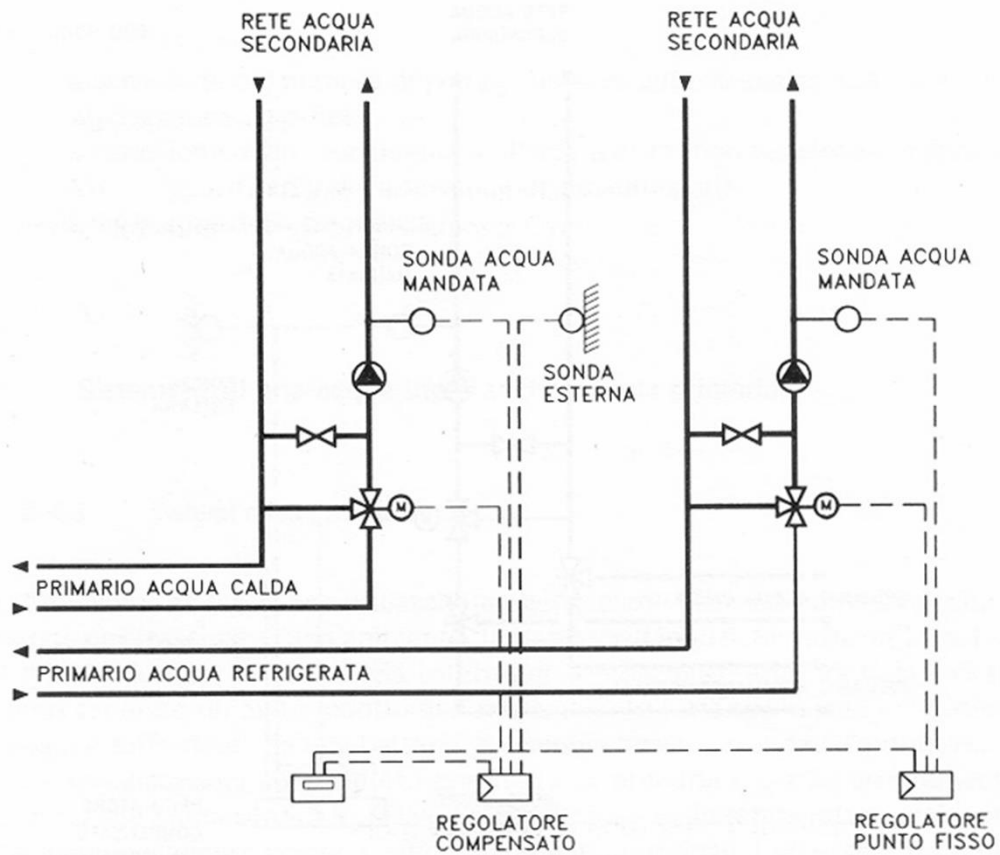
Distribuzione a 2 tubi



Distribuzione monotubo

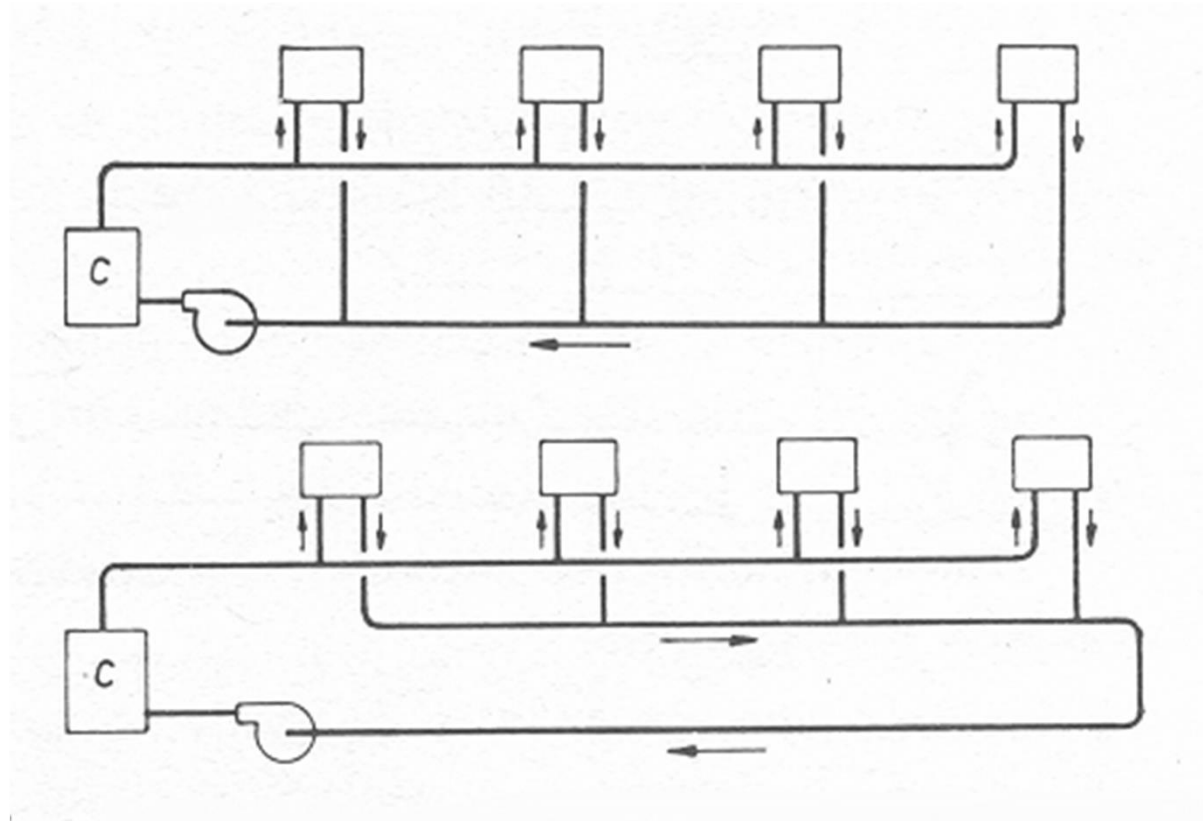


$a = D3E$; $b = AD + BE$; $c = BCA$; $d = A1B$; $e = D2E$
 P: pompe; C: caldaia; V.E.: vaso espansione



Distribuzione a 4 tubi
(riscaldamento e raffrescamento contemporaneo)

Circuito di distribuzione dell'acqua a ritorno diretto



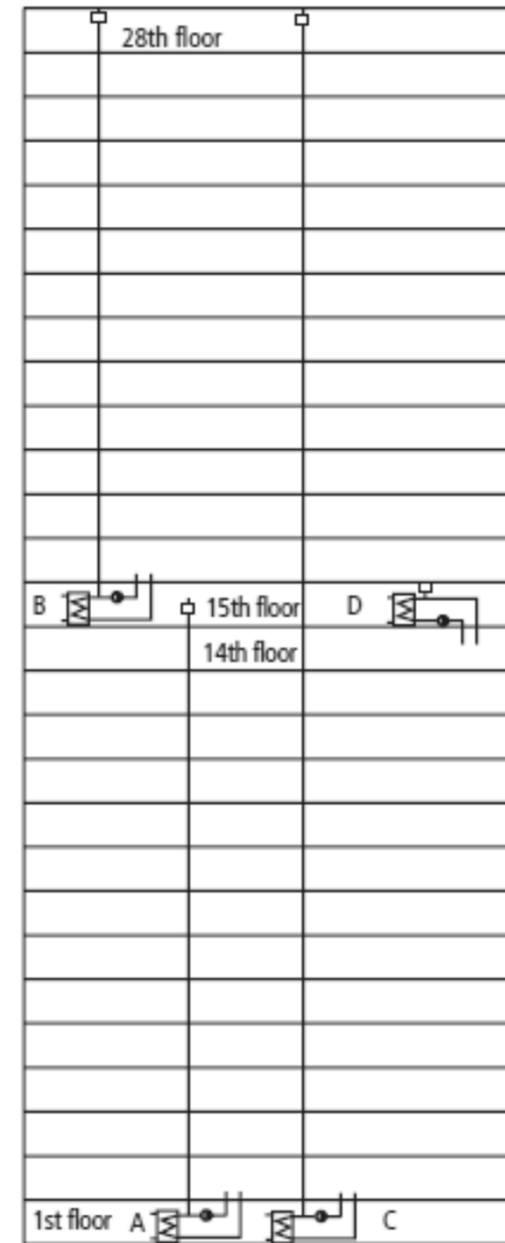
Circuito di distribuzione dell'acqua a ritorno inverso

Tutte le apparecchiature di un impianto di riscaldamento (dalle pompe alle valvole) sono progettate per lavorare ad una pressione massima di 600 kPa (6 bar)

Ogni metro di salita in verticale corrisponde a circa 10 kPa (10 m ~ 1 bar)

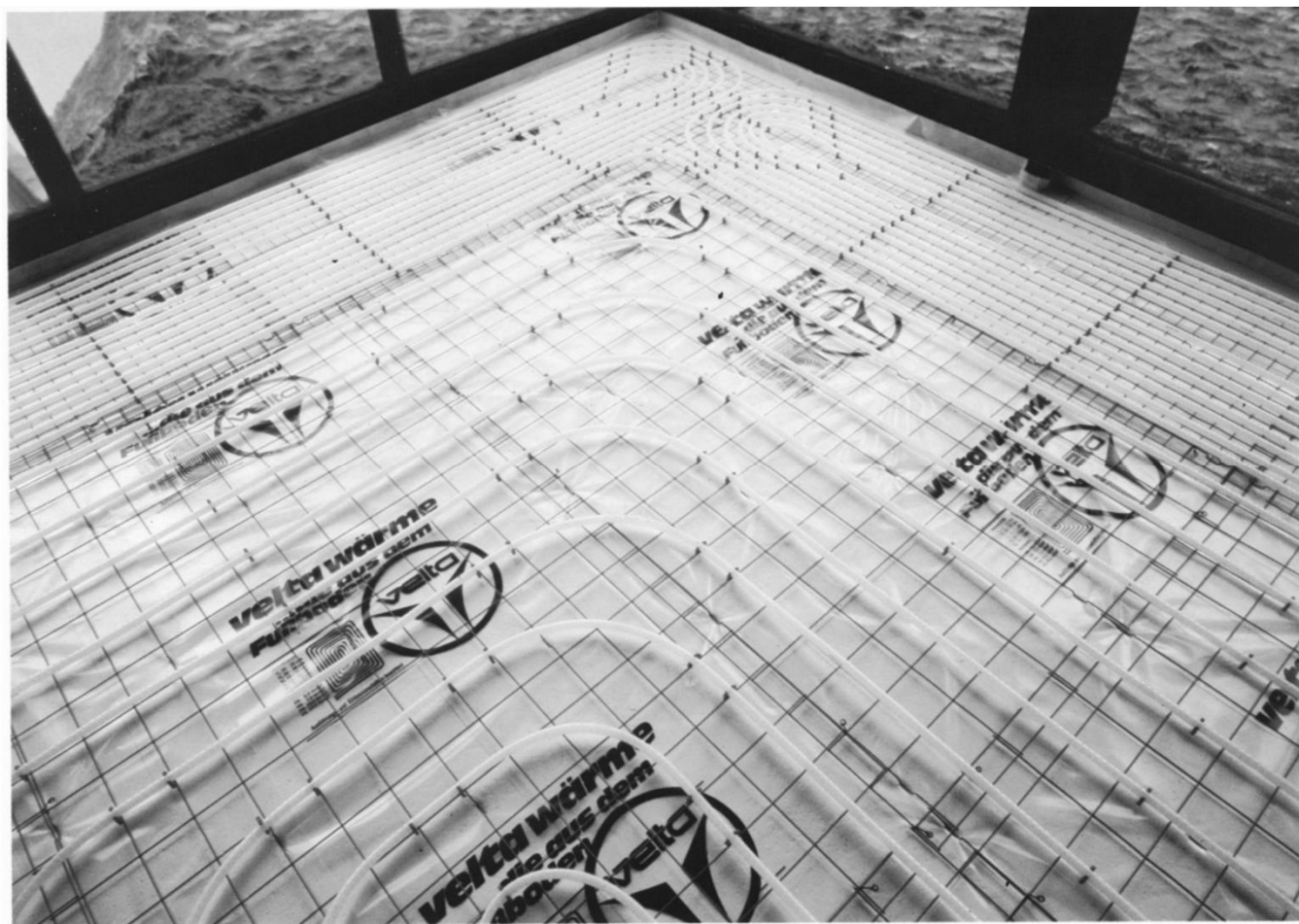
Per altezze dei locali pari a 3 m e con un vaso di espansione aperto piazzato sul tetto, è realisticamente possibile servire 19 piani (ma senza alcun margine).

18 piani sono un numero massimo più plausibile.



Sub-station in high-rise buildings.
A or D for the lower part of the building
B or C for the upper part of the building

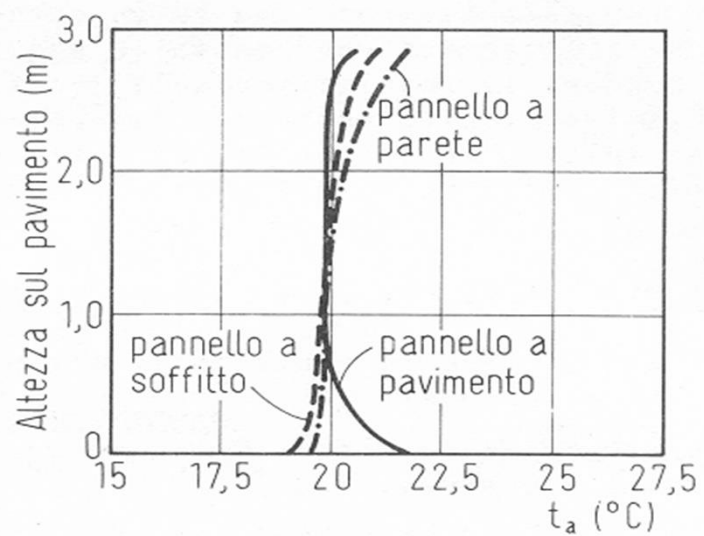
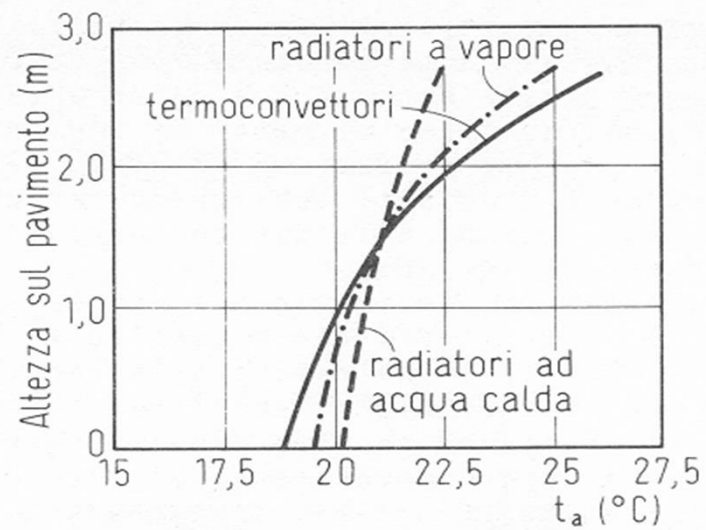
I corpi scaldanti: pannelli radianti



I corpi scaldanti: soffitto radiante



I corpi scaldanti: un confronto



Dimensionamento dei pannelli radianti ad acqua

Parametri di base

- differenza tra temperatura superficiale del pavimento e la temperatura ambiente;
- tipo, diametro ed interasse dei tubi;
- spessore e conduttività termica del massetto;
- resistenza termica del pavimento.

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T \cdot a_D \cdot a_u \cdot \Delta\theta_h$$

B = costante

a_B = fattore relativo al tipo di rivestimento;

a_T = fattore relativo all'interasse tra i tubi;

a_D = fattore relativo al diametro dei tubi;

a_u = fattore relativo allo spessore del pavimento;

$\Delta\theta_h$ = differenza di temperatura tra tubi ed ambiente

$$q = K_{eq} \cdot (\theta_{aq} - \theta_a)$$

q = flusso termico specifico per unità di superficie [W/m²];

θ_{aq} = temperatura dell'acqua nei pannelli,

θ_a = temperatura dell'aria;

K_{eq} = trasmittanza termica equivalente

La trasmittanza termica equivalente K_{eq} dipende dal pannello (tipo e passo dei tubi, conducibilità termica del materiale dei tubi) e dalle resistenze termiche della caldaia e dell'isolante sottostante il pannello.

Le ditte produttrici forniscono cure o tabelle che presentano le rese termiche in funzione della differenza di temperatura tra acqua dei pannelli ed aria; tali tabelle distinguono tra trasmittanza termica verso l'alto e verso il basso, permettendo di valutare separatamente i flussi termici.

$$q = K_{eq,alto} \cdot (\theta_{aq} - \theta_a) + K_{eq,basso} \cdot (\theta_{aq} - \theta_a)$$

La differenza $(t_{aq} - t_a)$ è di difficile determinazione: è preferibile utilizzare la media logaritmica Δt_{ml} definita come:

$$\theta_{aq} - \theta_a \approx \Delta \theta_{ml} = \frac{(\theta_{aqi} - \theta_a) - (\theta_{aqu} - \theta_a)}{\ln \frac{(\theta_{aqi} - \theta_a)}{(\theta_{aqu} - \theta_a)}}$$

in cui θ_{aqi} = temperatura acqua all'ingresso dei tubi;
 θ_{aqu} = temperatura dell'acqua all'uscita dei tubi

Ora, al fine di mantenere le condizioni di comfort interne, la temperatura dell'acqua in ingresso è circa $\theta_{aqi} = 38 - 40^\circ\text{C}$, mentre la differenza $(\theta_{aqi} - \theta_{aqu}) = 5 \div 6 \text{ K}$.

La temperatura dell'aria interna è pari a circa 20°C .

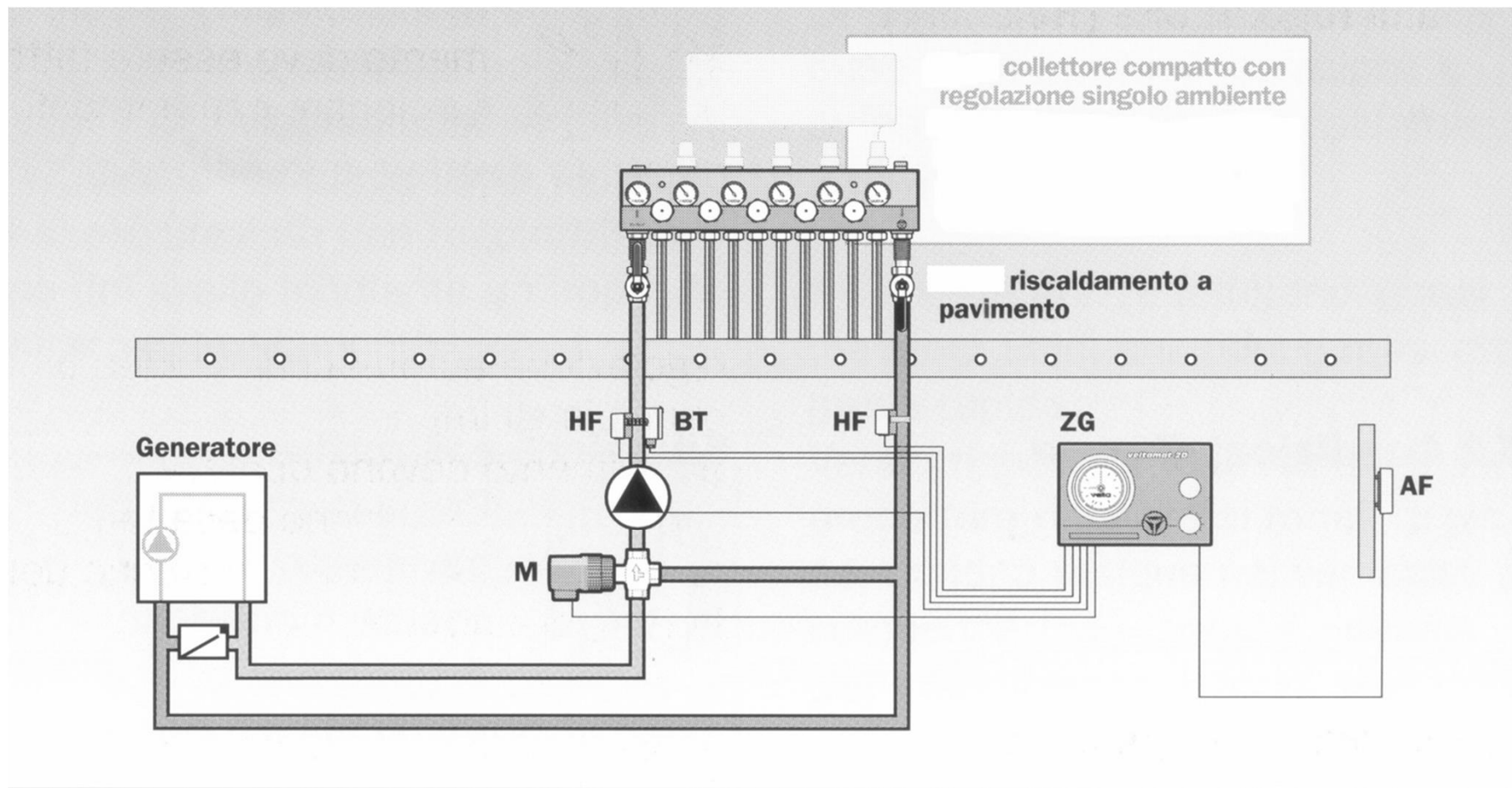
Passo [cm]	10	15	20	30	40	60
Spessore [cm]	Tubi in polietilene reticolato 18 x 14 mm					
6	5,86 0,84	5,11 0,74	4,43 0,64	3,35 0,48	2,62 0,38	1,78 0,26
8	5,36 0,86	4,73 0,75	4,15 0,66	3,22 0,51	2,56 0,41	1,76 0,28
10	4,95 0,86	4,40 0,77	3,89 0,68	3,07 0,54	2,47 0,43	1,72 0,30

Trasmittanze equivalenti [W/(m² K)] verso l'alto (riga superiore) e verso il basso (riga inferiore) per pannelli con spessore dell'isolante pari a s = 2 cm e conducibilità termica della caldana $\lambda = 1,3$ W/(m K)

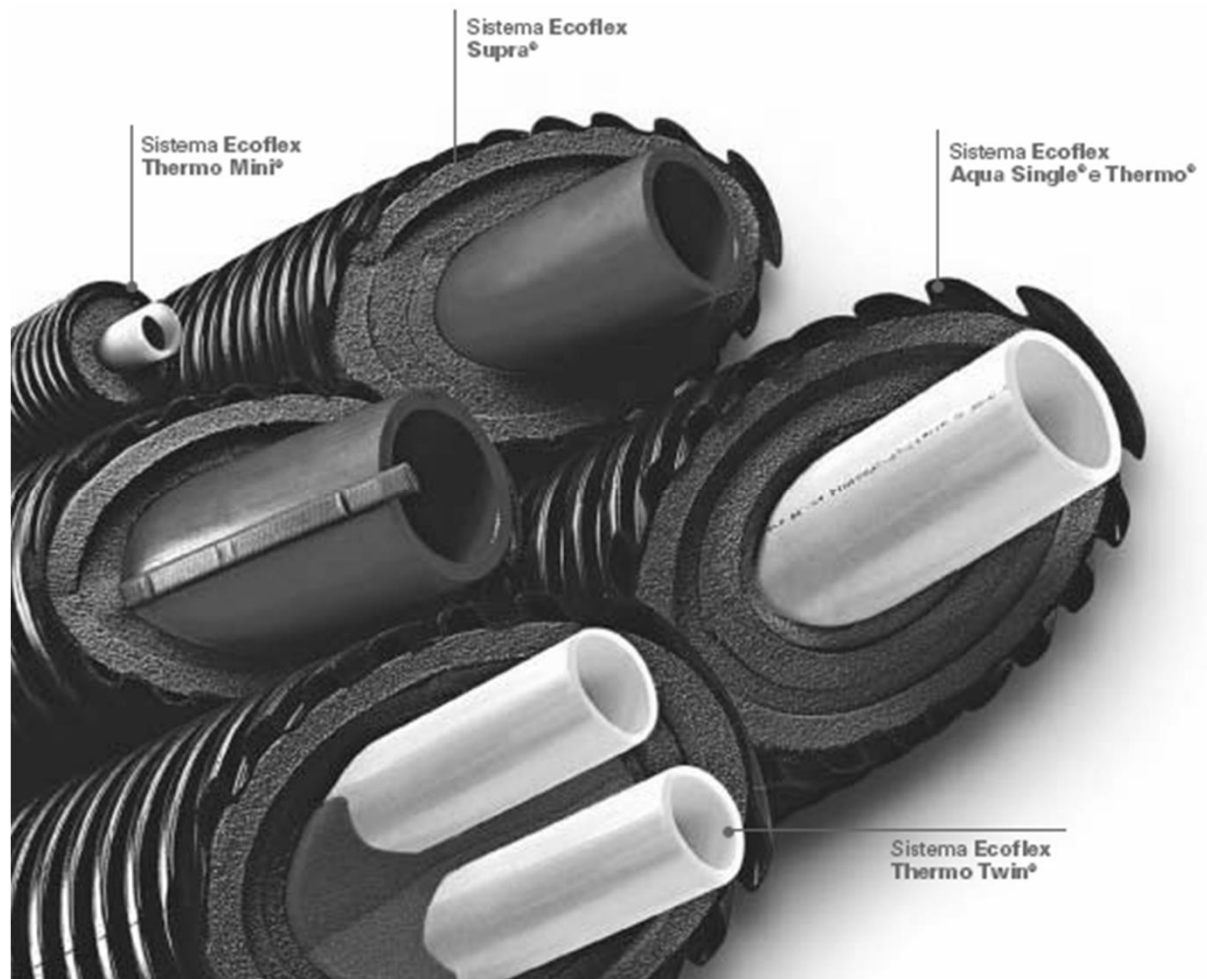
Passo [cm]	10	15	20	30	40	60
Spessore [cm]	Tubi in rame 14 x 12,5 mm					
6	6,13 0,60	5,44 0,53	4,77 0,47	3,67 0,36	2,89 0,28	1,97 0,19
8	5,59 0,60	5,02 0,54	4,46 0,48	3,51 0,38	2,81 0,30	1,95 0,21
10	5,15 0,61	4,66 0,55	4,17 0,49	3,34 0,40	2,71 0,32	1,90 0,22

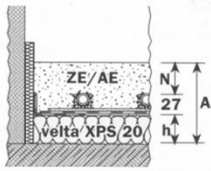
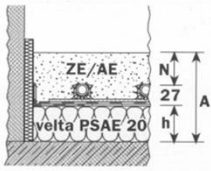
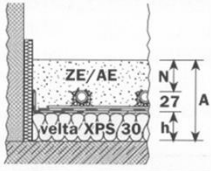
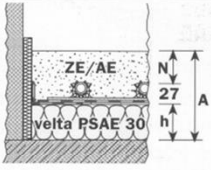
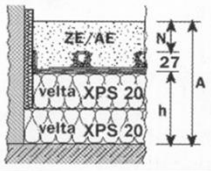
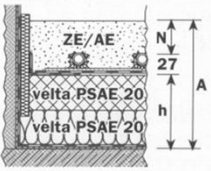
Trasmittanze equivalenti [W/(m² K)] verso l'alto (riga superiore) e verso il basso (riga inferiore) per pannelli con spessore dell'isolante pari a s = 4 cm e conducibilità termica della caldana $\lambda = 1,3$ W/(m K)

Distribuzione nei singoli ambienti



Tubi in polietilene reticolato PE-Xa o polietilene ad alta densità PEHD con guaine isolanti (in polietilene reticolato espanso a celle chiuse)



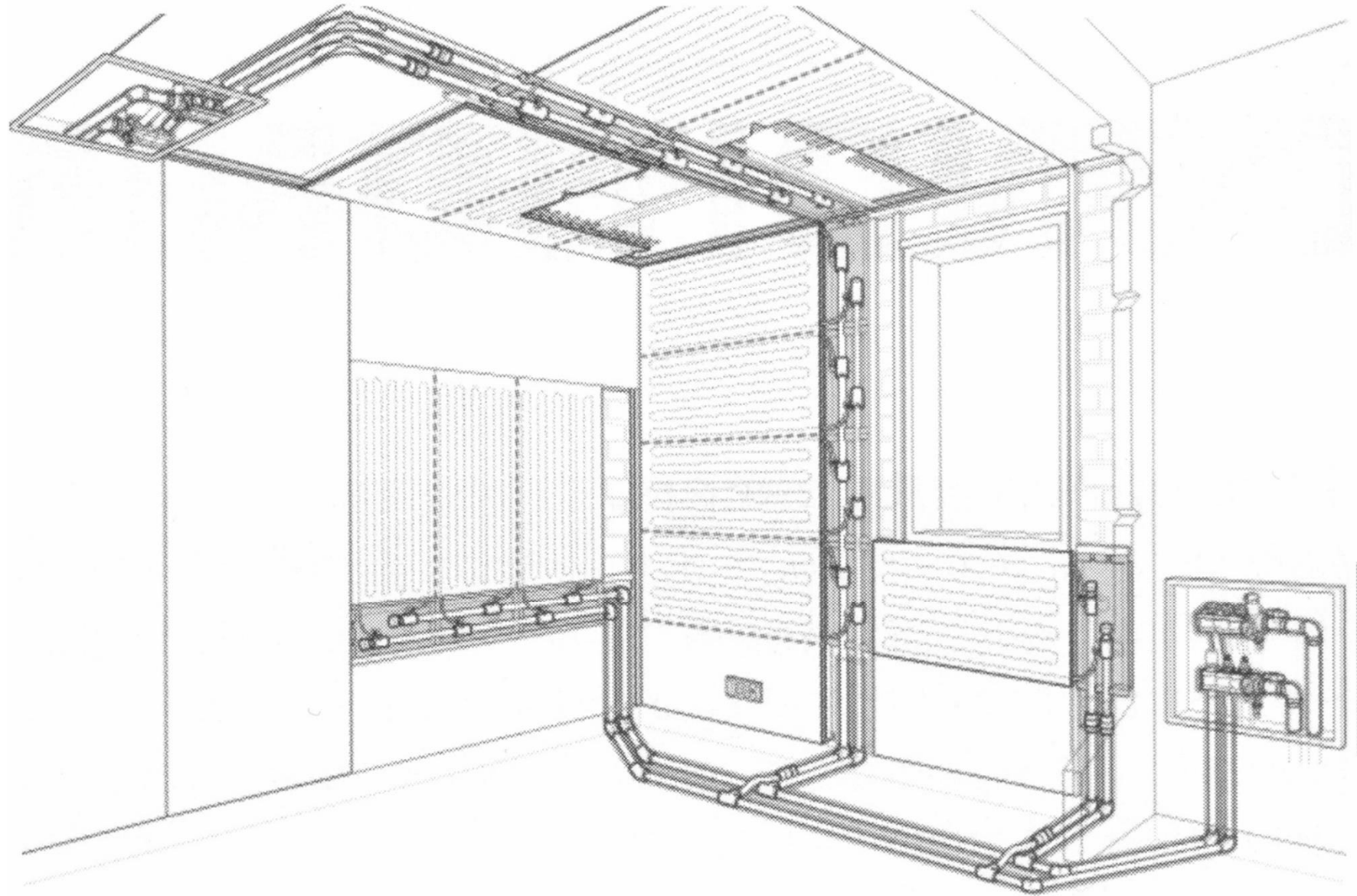
Tipo di solaio	Combinazione e tipologia di isolamento termico	Spessore isolante h [mm]	Resistenza termica [m ² K/W]	Altezza costruzione pavimento A	
				ZE+ VD 450/ VD 550N N ≥ 45 mm	* AE N ≥ 65 mm
Solaio divisorio tra locali con lo stesso utilizzo.		Veltafloor XPS 20	0,69	≥ 92	≥ 112
		Polistirene Velta PSAE 20	0,59	≥ 92	≥ 112
Solaio divisorio tra locali con diverso utilizzo, verso cantine e locali non riscaldati.		Veltafloor XPS 30	1,03	≥ 102	≥ 112
		Polistirene Velta PSAE 30	0,89	≥ 102	≥ 112
Solaio verso terrapieno-porticati.		Veltafloor XPS 2 X 20 h = 40mm	1,38	≥ 112	≥ 132
		Polistirene Velta PSAE 40	1,19	≥ 112	≥ 132

ZE = massetto cementizio

*AE = massetto anidritico (rispettare le raccomandazioni del produttore)

N = minimo spessore massetto sopra ai tubi velta PE-Xa

Pannello a parete



Elementi di impianto

Il vaso di espansione serve a compensare le variazioni di volume della massa d'acqua contenuta nell'impianto in conseguenza delle variazioni della sua temperatura.

Quando l'impianto viene riempito o dopo una lunga sosta l'acqua si trova a temperatura ambiente (15-20°C). Essa viene quindi scaldata fino a 70-80°C con conseguente dilatazione e aumento di volume.

Il vaso di espansione

t [°C]	ρ [kg/m ³]	v [m ³ /kg]	variazione di volume rispetto 10°C, e
0	999.8	1.0002	-
10	999.6	1.0004	-
20	997.9	1.0021	0.0017
30	995.6	1.0044	0.0040
40	992.2	1.0079	0.0075
50	988.1	1.0120	0.0116
60	983.2	1.0171	0.0167
70	977.8	1.0227	0.0223
80	971.8	1.0290	0.0286
90	965.3	1,0359	0.0355
100	958.4	1,0434	0.0430

Elementi di impianto

vaso di espansione con serbatoio aperto

vaso di espansione con serbatoio chiuso

vaso di espansione con serbatoio chiuso pressurizzato

Il vaso di espansione

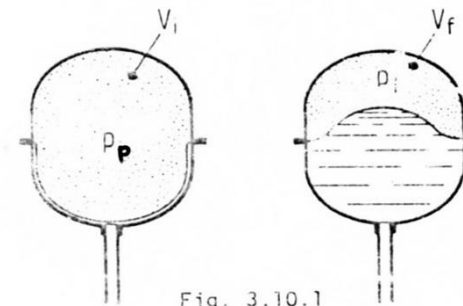
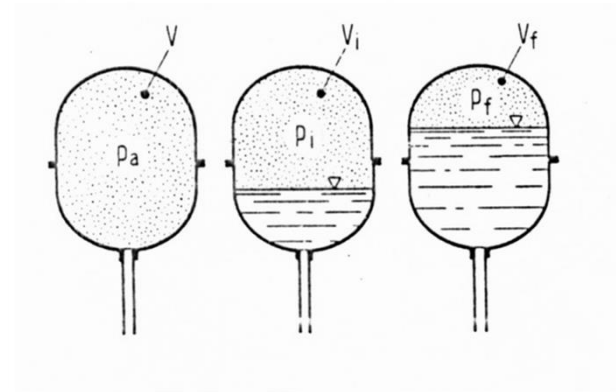
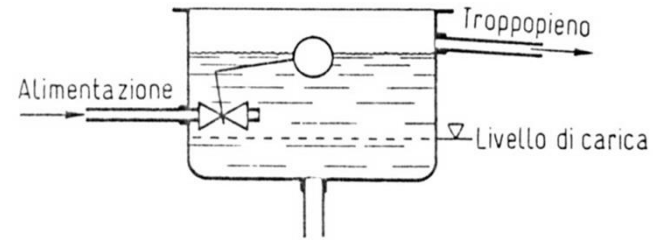


Fig. 3.10.1

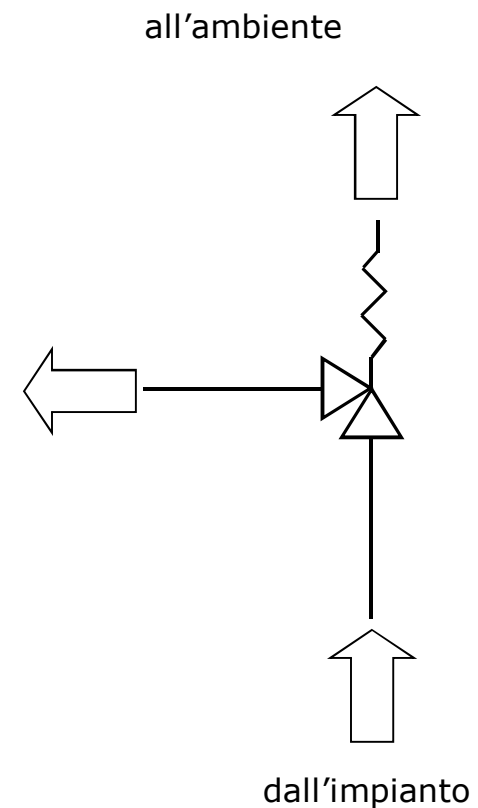
Elementi di impianto

Valvola di sicurezza

Per evitare sovrappressioni all'interno delle tubazioni e dei diversi dispositivi che costituiscono l'impianto si utilizzano delle valvole di sicurezza.

Tale dispositivo a una pressione fissata a priori scarica nell'ambiente esterno il fluido contenuto nelle linee abbassando così istantaneamente la pressione.

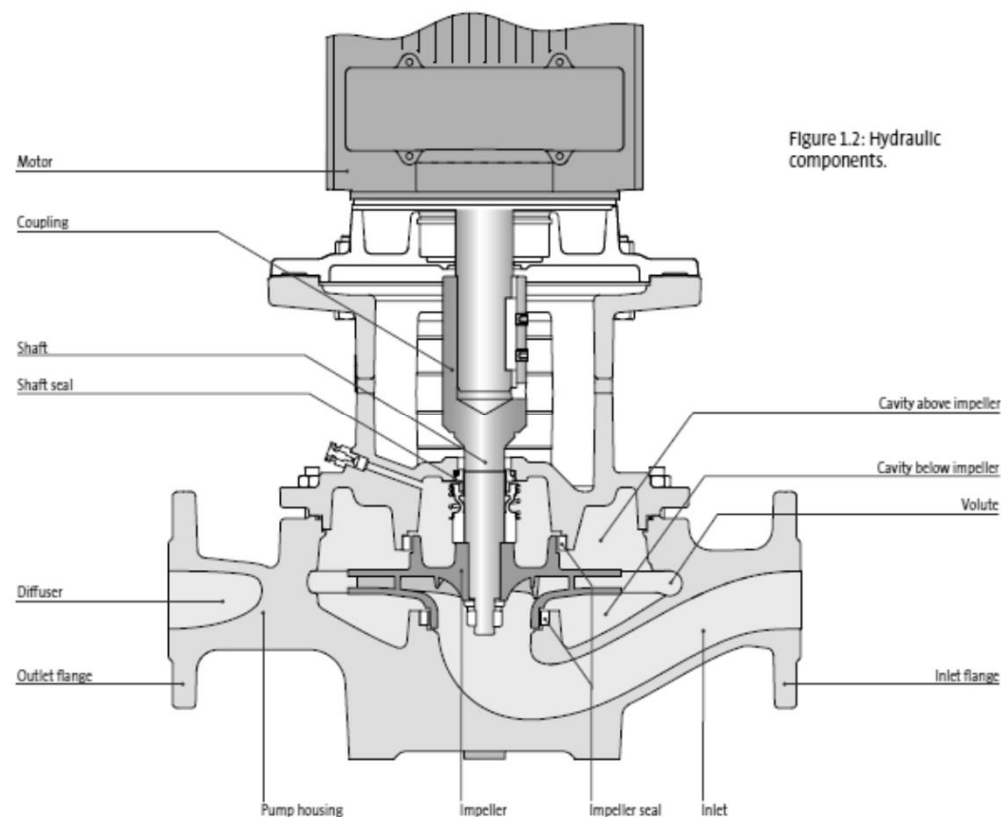
Un aumento incontrollato della pressione può portare al cedimento di qualche giunzione e di qualche saldatura con uscita rapida e improvvisa di acqua bollente o vapore.



Elementi di impianto

La pompa

Se nel passato si costruivano anche impianti a circolazione naturale sfruttando le variazioni di densità dell'acqua con la temperatura, al giorno d'oggi il moto dell'acqua nelle tubazioni è prodotto dall'azione di una pompa.



La potenza della pompa P_p richiesta è pari a:

$$P_p = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{3600 \cdot 102 \cdot \eta}$$

espressa in kW

Q = portata della d'acqua [l/h];

H = prevalenza della pompa [m c.a.];

η = rendimento della pompa

pompa piccola

$$\eta = 0,4 \div 0,6$$

pompa media

$$\eta = 0,6 \div 0,8$$

pompa piccola

$$\eta = 0,8 \div 0,9$$

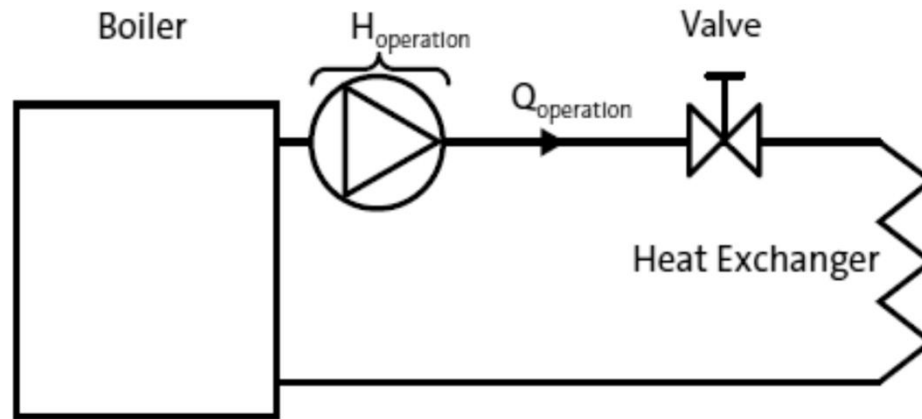


Figure 3.1: Example of a closed system.

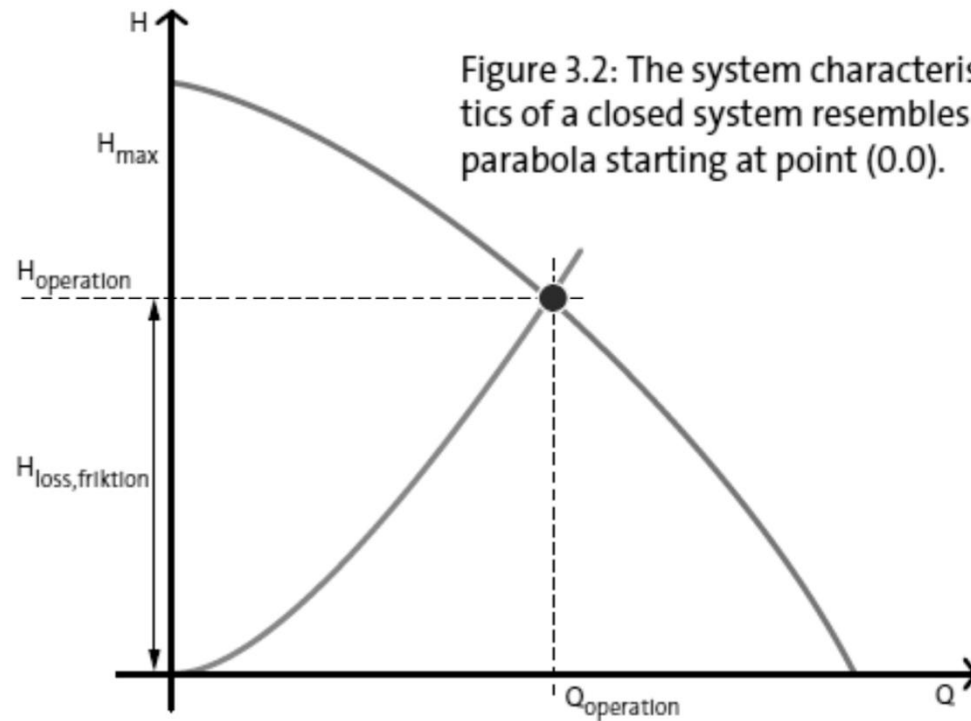
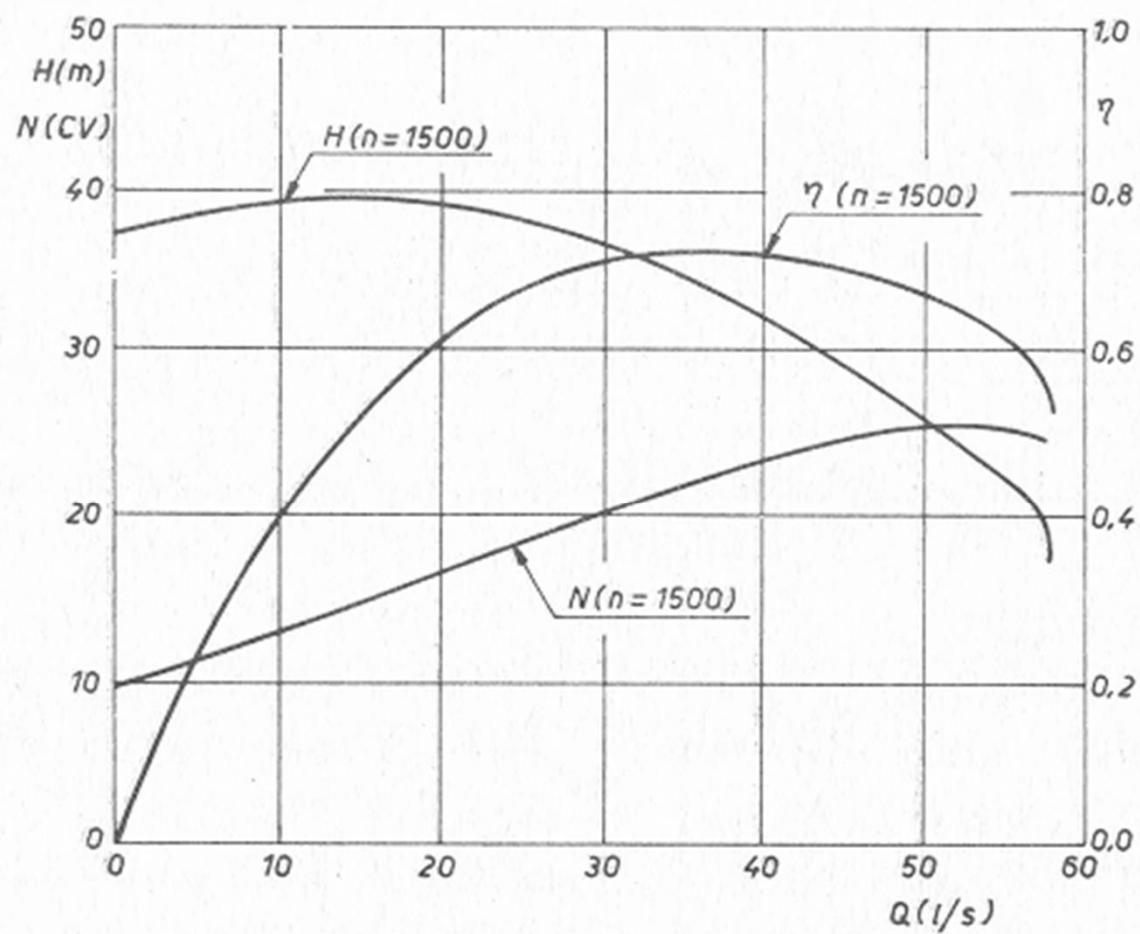


Figure 3.2: The system characteristics of a closed system resembles a parabola starting at point (0.0).



Curve caratteristiche di una pompa centrifuga

Elementi di impianto

Tubazioni

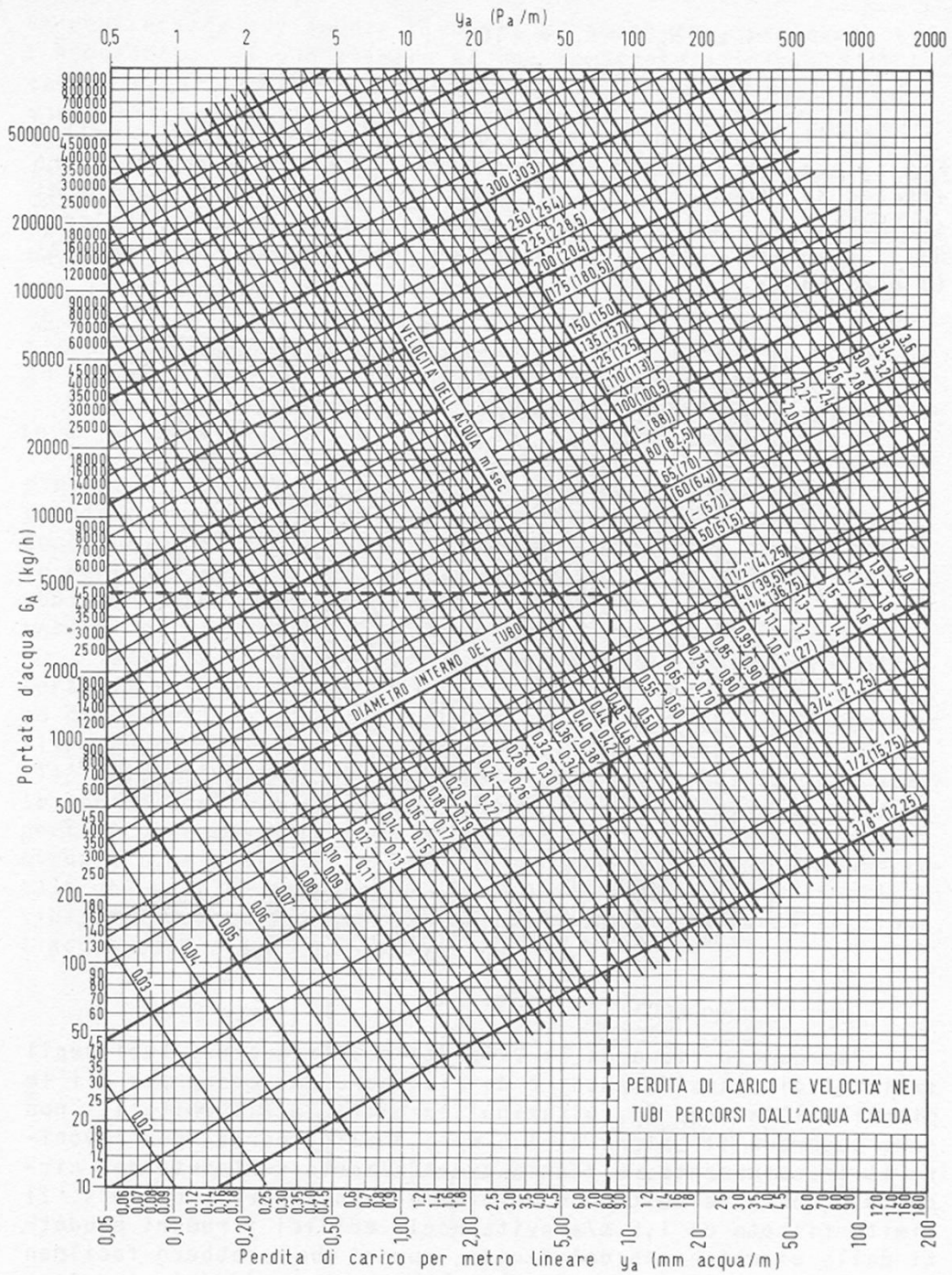
La prevalenza H richiesta dalla pompa viene solitamente espressa in mm c.a. ($1 \text{ mm c.c.} = 9,81 \text{ Pa} = 1 \text{ kgf/m}^2$) ed è data da:

$$H = \Sigma \cdot l_{\text{tot}} \cdot R$$

$l_{\text{tot}} = l + l_{\text{eq}}$ = lunghezza totale del tratto di tubazione; esso è calcolato come somma delle lunghezze effettive della tubazione e della lunghezza equivalente di valvole, raccordi, inseriti [m]

R = perdita di carico [mm c.a./ m]

Nelle normali applicazioni civili, si assumono valori di R sino a $10 \div 20$ mm c.a. per metro e velocità dell'acqua tra $0,5 \div 1$ m/s nelle diramazioni e $1 \div 1,5$ m/s nei tronchi principali.



Resistenze concentrate; valori di ζ per impianti ad acqua calda

RESISTENZE CONCENTRATE	DIAMETRO NOMINALE						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2" e oltre
Curva a 90°	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
Gomito a 90°	2,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,8
Valvola a saracinesca	1,0	1,0	0,8	0,5	0,5	0,5	0,3
Valvola di chiusura diritta	16,0	14,0	12,0	10,0	9,0	8,0	7,0
Valvola di chiusura inclinata	3,0	3,0	3,0	3,0	2,5	2,5	2,0
Valvola diritta per radiatori	8,5	8,5	6,0	6,0	5,0	-	-
Valvola ad angolo per radiatori	5,0	5,0	3,0	2,0	2,0	-	-
RESISTENZE CONCENTRATE	FIGURA						
Caldaia	—		2,5				
Radiatore o piastra	—		3,0				
Curva a U larga			1,0				
Curva a U stretta			2,0				
Raccordo a T o a passaggio diretto			1,0				
Raccordo a T o a diramazione			1,5				
Raccordo a T divisione o unione di correnti			3,0				
Deviazione			0,5				
Piega			0,5				
Allargamento brusco			1,0				
Restrinzione brusca			0,5				

Il dimensionamento delle tubazioni

La caduta di pressione Δp [Pa] di un fluido in una tubazione è data da

$$\Delta p = f \frac{l}{d} \frac{\rho}{2} w^2$$

l = lunghezza della tubazione [m];

d = diametro della tubazione [m];

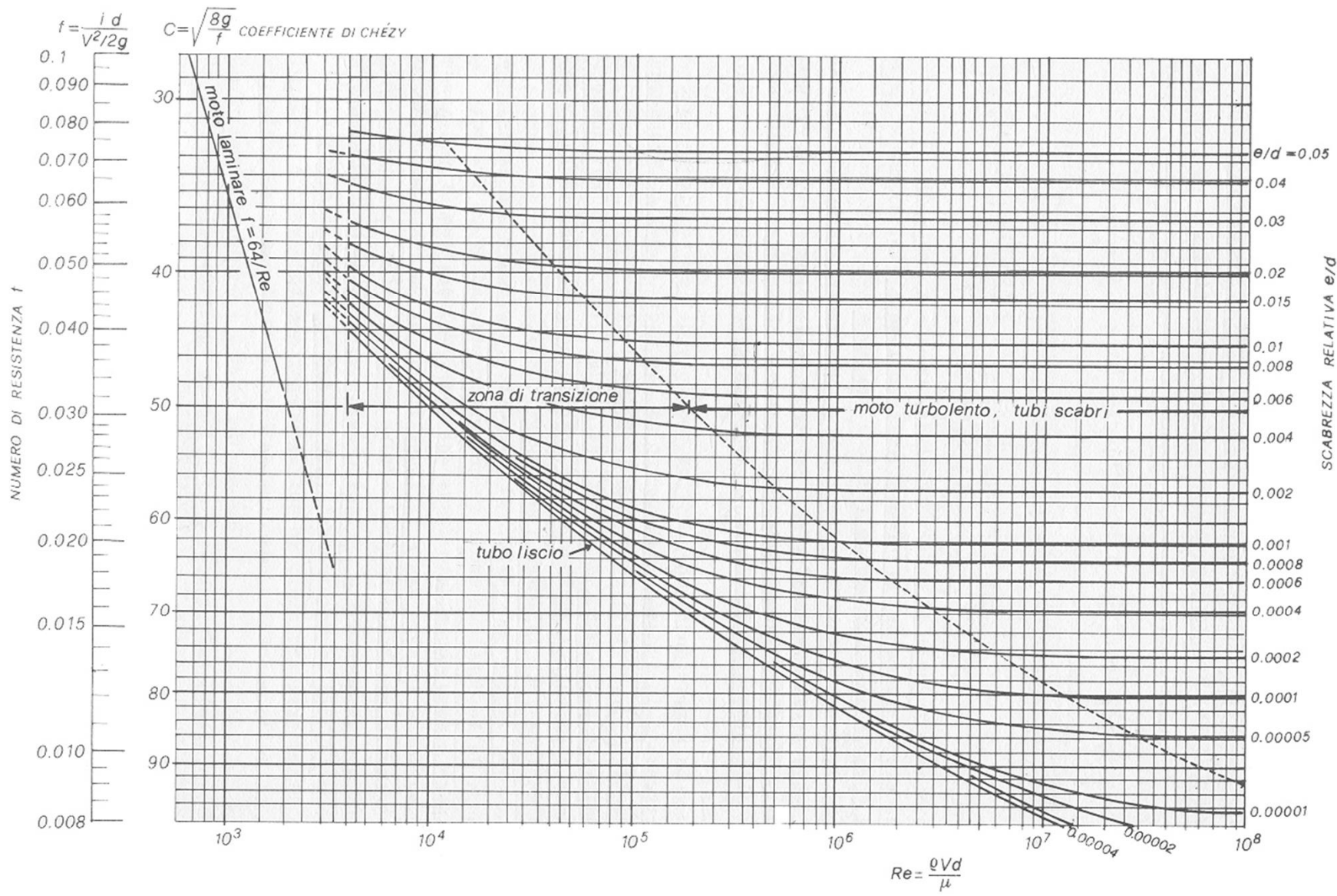
ρ = densità del fluido [kg/m^3];

w = velocità del fluido [m/s];

f = coefficiente di attrito [-] (da diagrammi: $f = 0,3164/\text{Re}^{0,25}$)

1 mm c.a. = 9,81 Pa

1 Pa = 0,102 mm c.a.



Il dimensionamento delle tubazioni

La caduta di pressione Δp [Pa] di un fluido attraverso una perdita concentrata (valvola, raccordo,...):

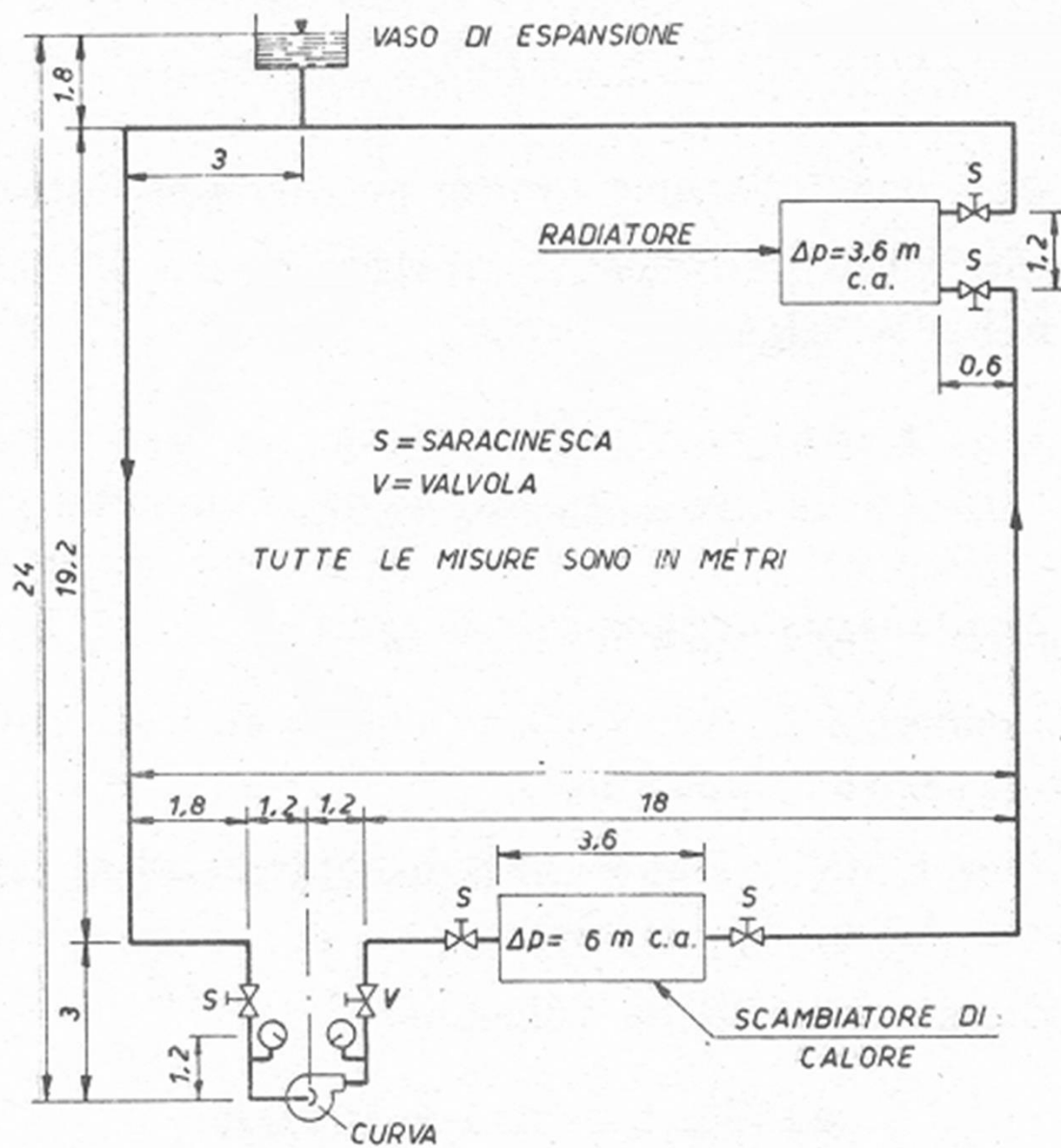
$$\Delta p = \zeta \frac{\rho}{2} w^2$$

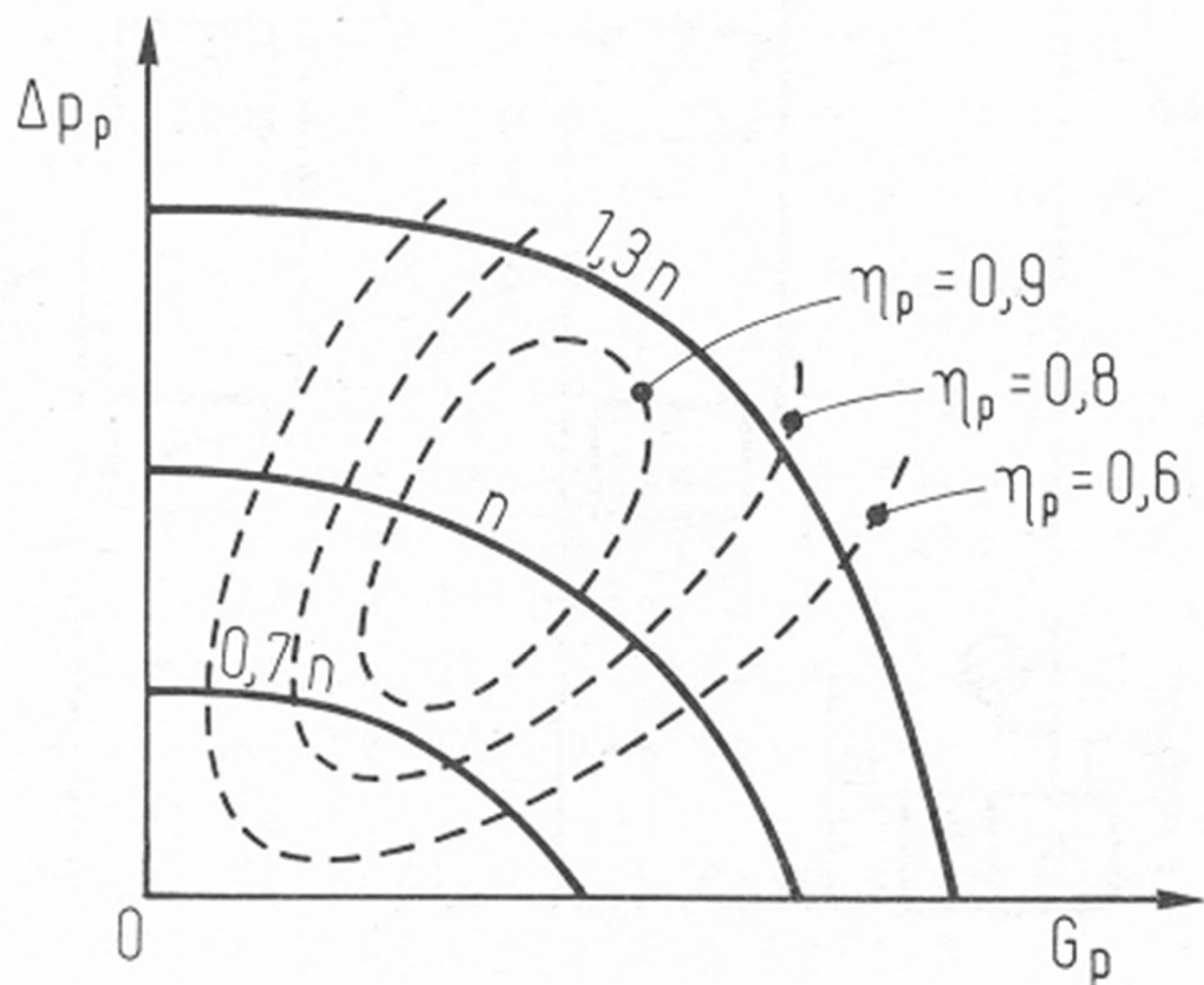
ρ = densità del fluido [kg/m³];

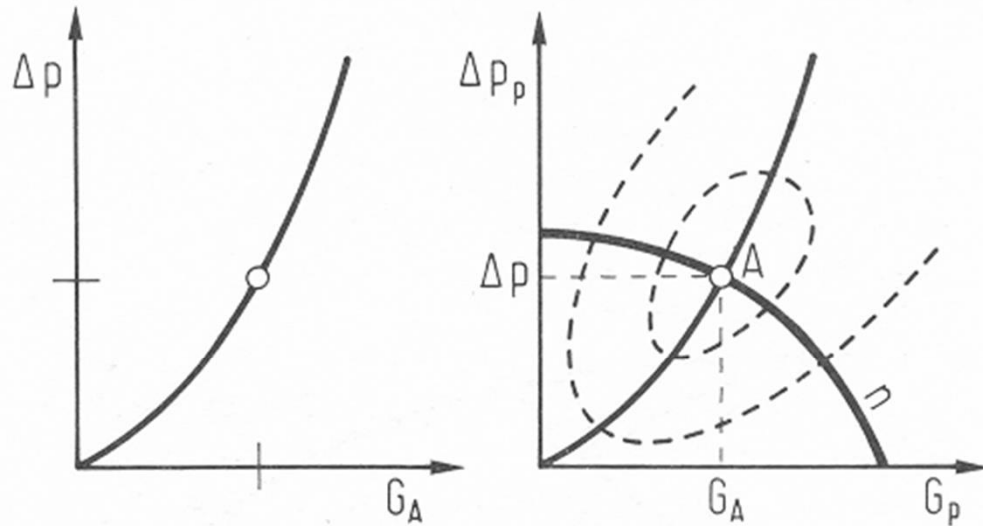
w = velocità del fluido [m/s];

ζ = coefficiente adimensionale relativo al particolare tipo di resistenza accidentale

Normalmente le velocità w sono comprese tra 0,5 e 2,5 m/s



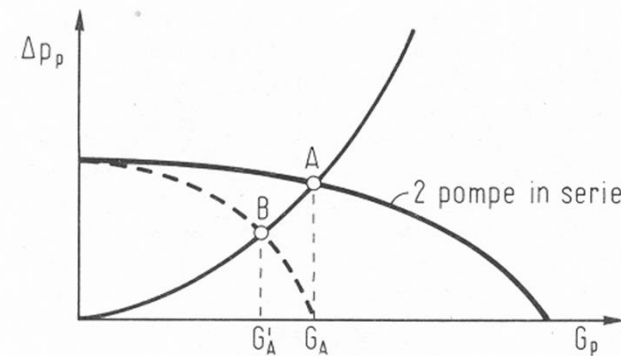
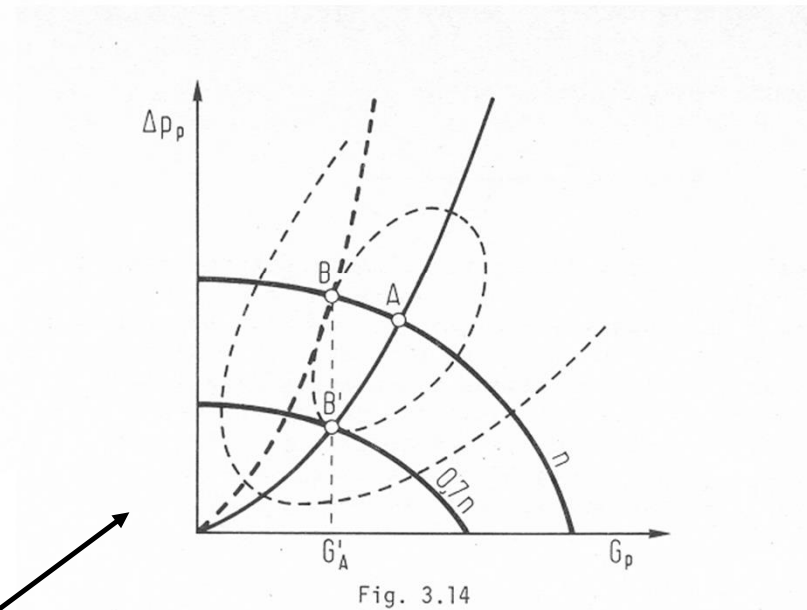


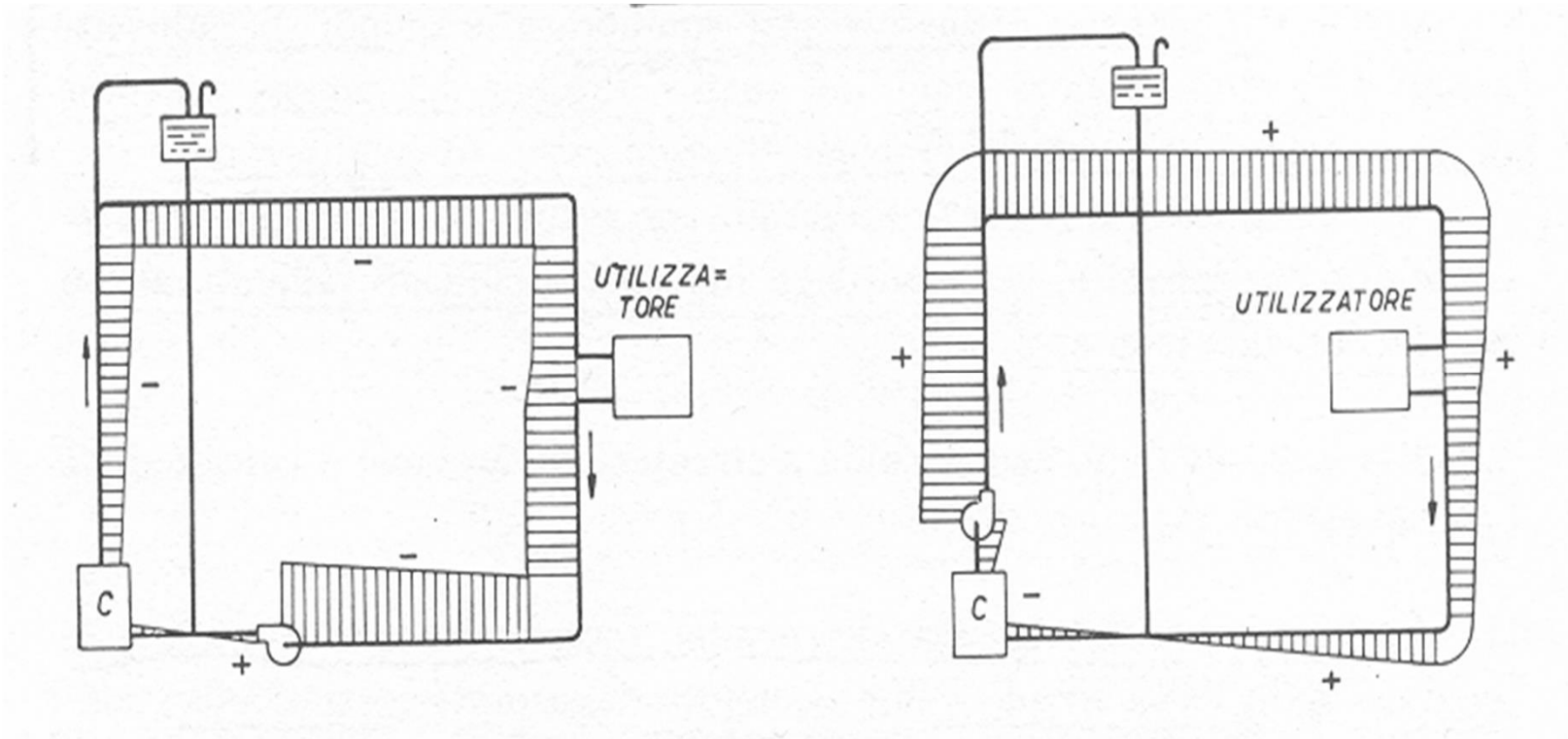


Perdite di carico e scelta pompa

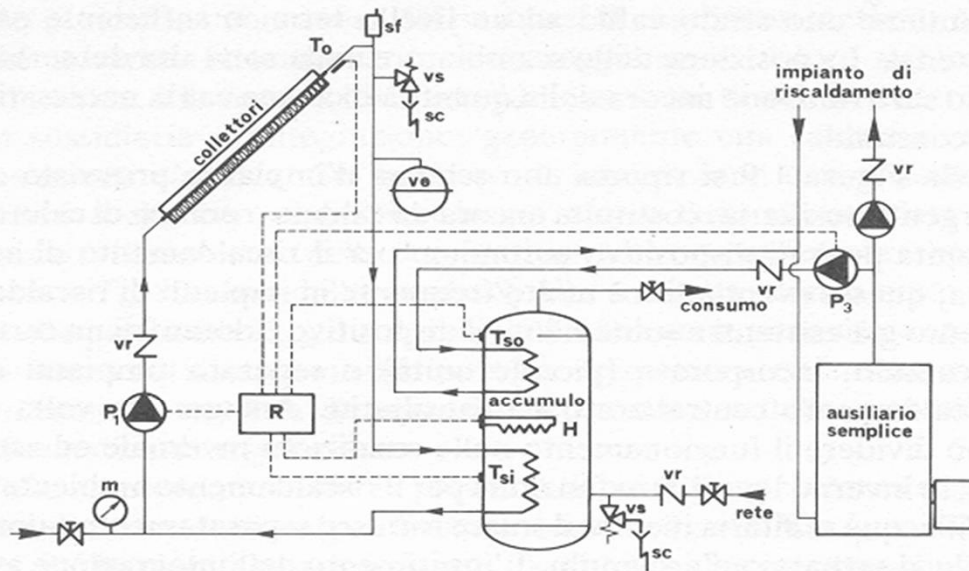
variazione (riduzione) della portata

variazione (riduzione) della portata nei grossi impianti

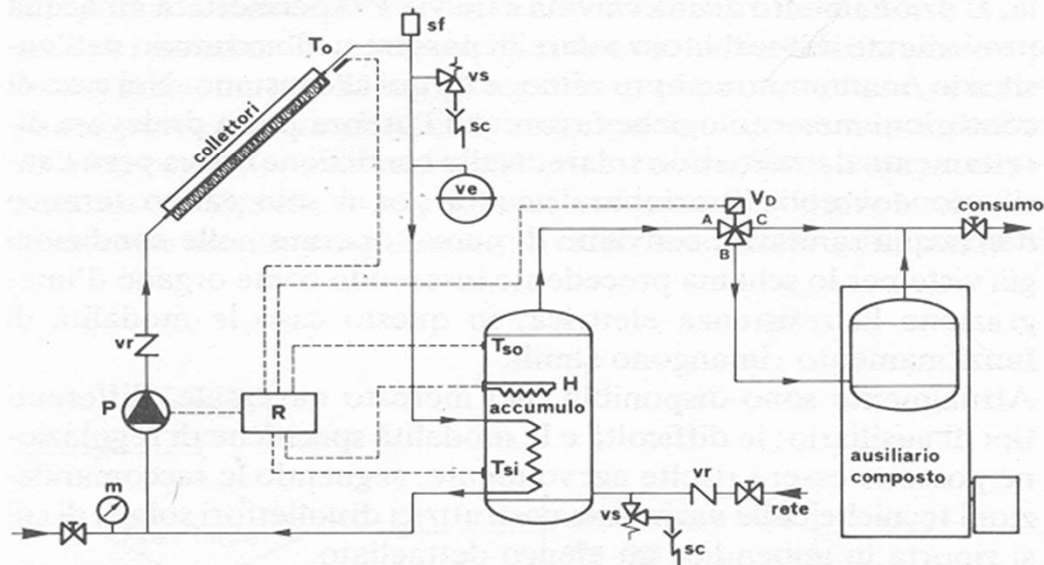




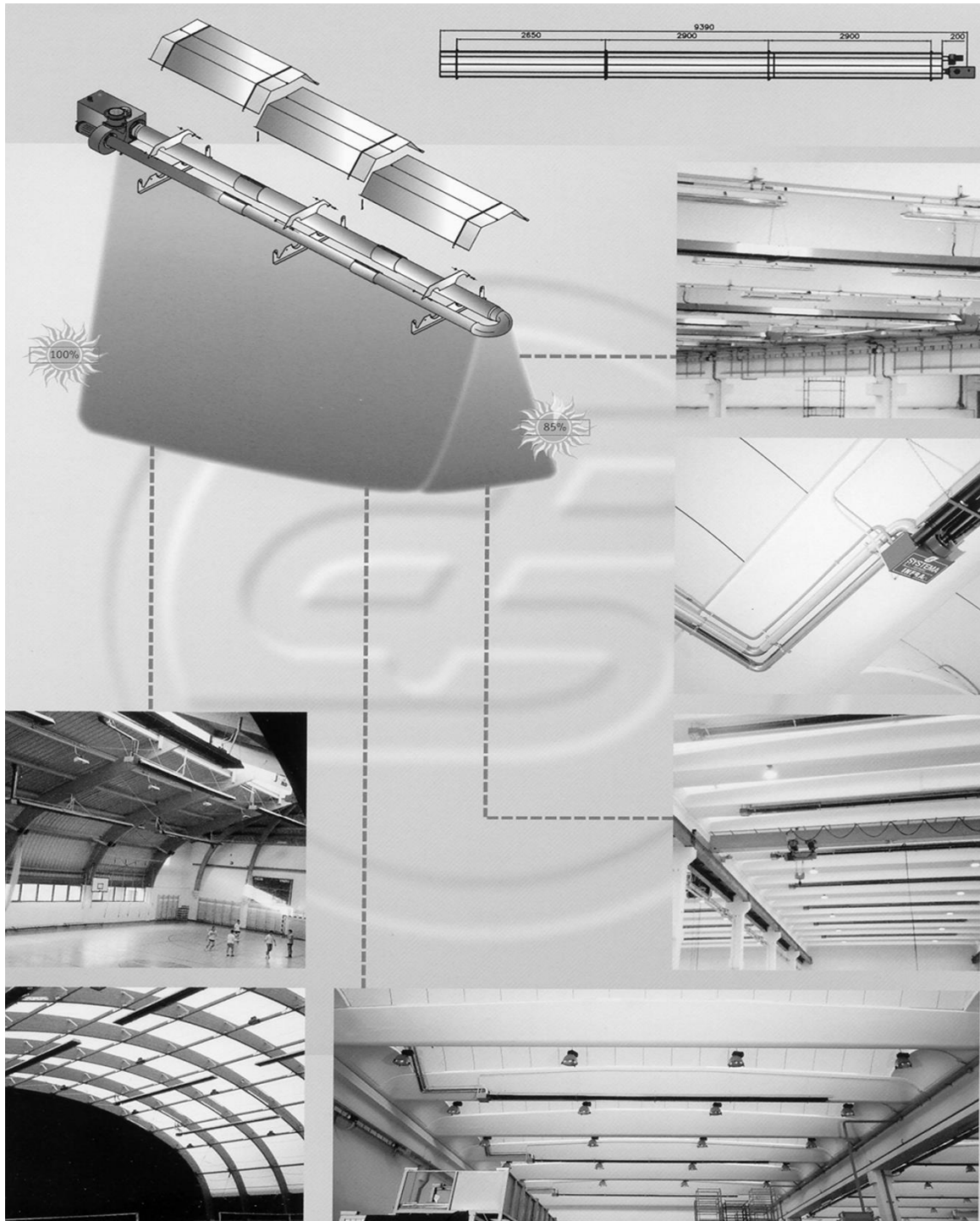
Distribuzione delle pressioni in una rete di tubazioni



1.8 Schema di impianto solare con integrazione termica-elettrica, ausiliario semplice.



1.9 Schema di impianto solare con integrazione termica-elettrica, ausiliario composto.



Moduli radianti a gas

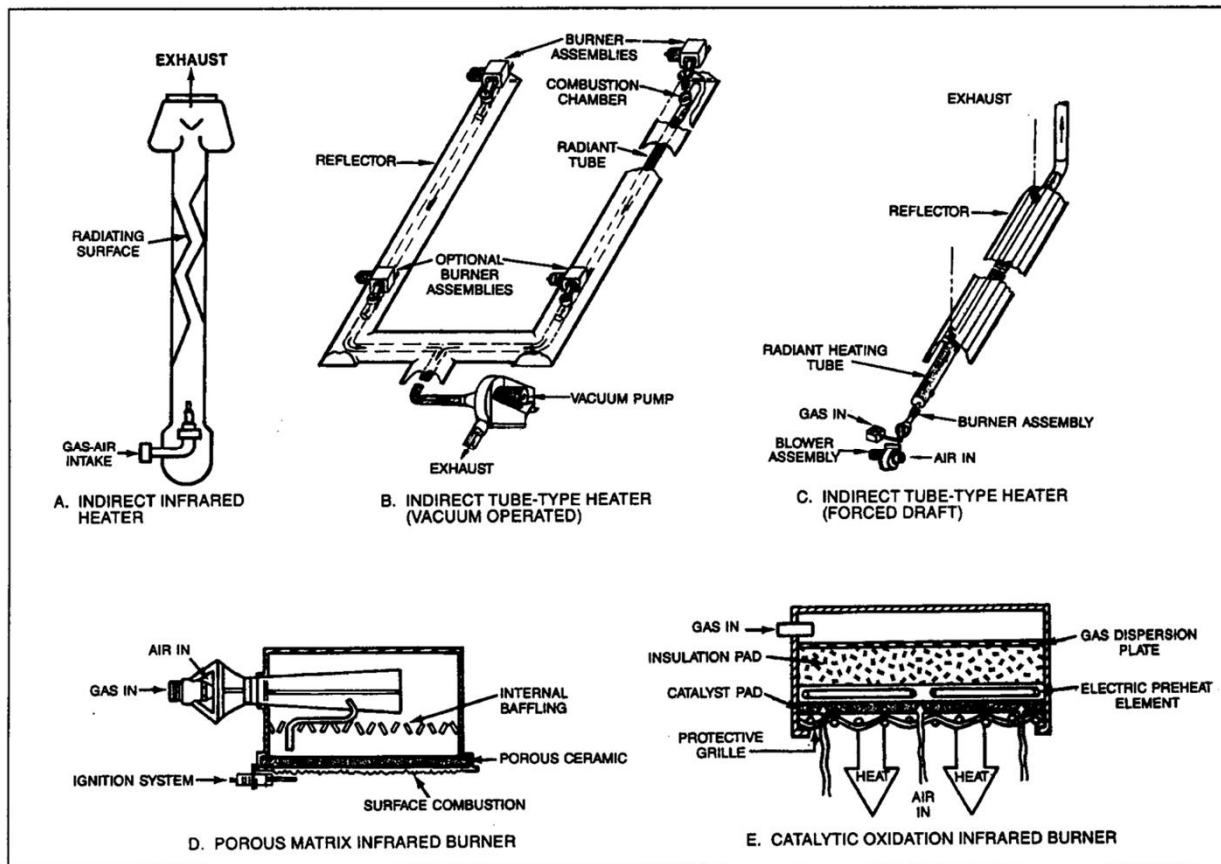


Fig. 1 Types of Gas-Fired Heaters

Table 1 Characteristics of Typical Gas-Fired Infrared Heaters

Characteristics	Indirect	Porous Matrix	Catalytic Oxidation
Operating temperature	To 650°C	870 to 980°C	340 to 370°C
Relative heat intensity, ^a kW/m ²	Low, to 24	Medium, 54 to 100	Low, 2.5 to 9.5
Response time (heat-up)	180 s	60 s	300 s
Radiation-generating ratio ^b	0.35 to 0.55	0.35 to 0.60	No data
Thermal shock resistance	Excellent	Excellent	Excellent
Vibration resistance	Excellent	Excellent	Excellent
Color blindness ^c	Excellent	Very good	Excellent
Luminosity (visible light)	To dull red	Yellow red	None
Mounting height	3 to 15 m	4 to 15 m	To 3 m
Wind or draft resistance	Good	Fair	Very good
Venting	Optional	Nonvented	Nonvented
Flexibility	Good	Excellent—wide range of heat intensities and mounting possibilities available	Limited to low heat intensity applications

^aHeat intensity emitted at burner surface.

^bRatio of radiant output to input.

^cColor blindness refers to absorptivity by various loads of energy emitted by the different sources.

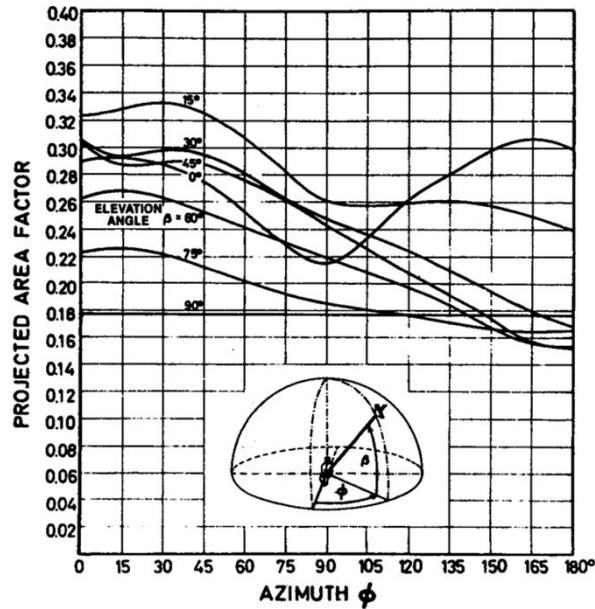


Fig. 4 Projected Area Factor for Seated Persons, Nude and Clothed (Fanger 1973)

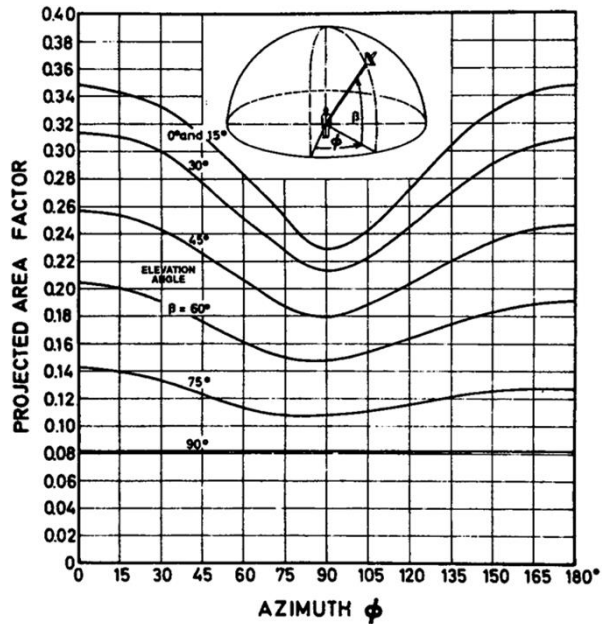


Fig. 5 Projected Area Factor for Standing Persons, Nude and Clothed (Fanger 1973)

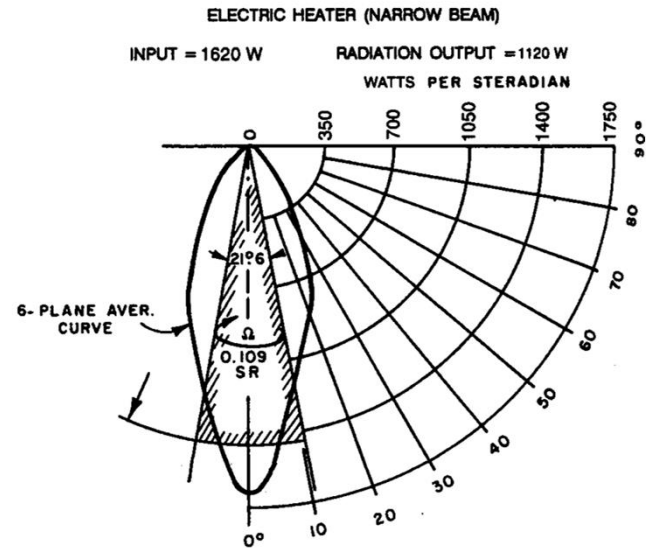


Fig. 6 Radiant Flux Distribution Curve of Typical Narrow-Beam High-Intensity Electric Infrared Heaters

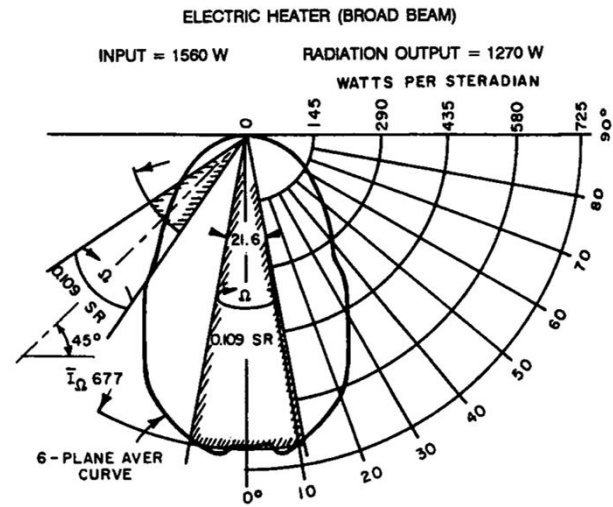


Fig. 7 Radiant Flux Distribution Curve of Typical Broad-Beam High-Intensity Electric Infrared Heaters