

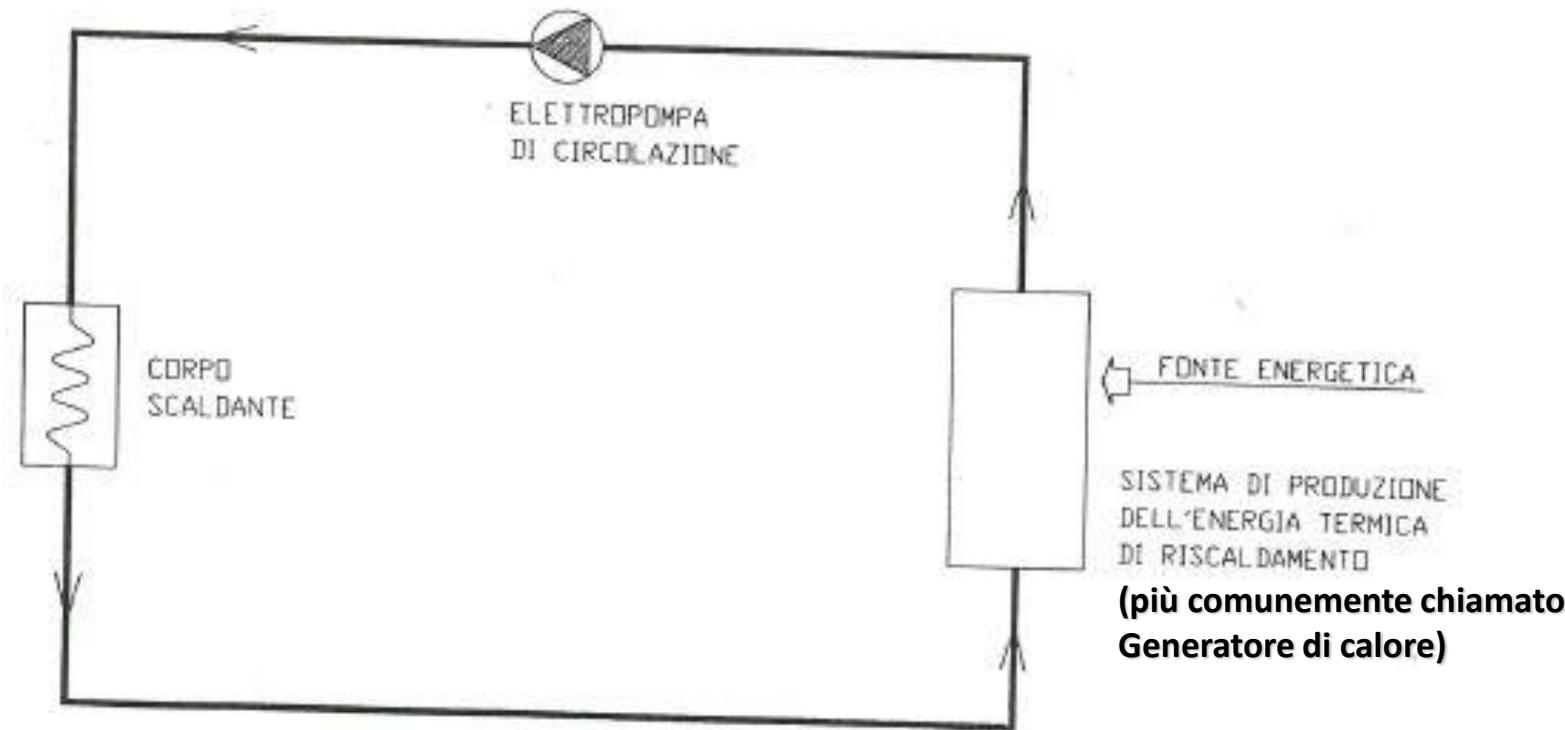
# **Impianti di riscaldamento tradizionali ad acqua alimentati da caldaia**

**ing. Diana D'Agostino  
prof. ing. Francesco Minichiello**

**DII (Dipartimento di Ingegneria Industriale)  
Università degli Studi di Napoli Federico II  
[diana.dagostino@unina.it](mailto:diana.dagostino@unina.it)  
[minichie@unina.it](mailto:minichie@unina.it)**

**Nota: alcune diapositive sono tratte da materiale didattico sviluppato dal  
prof. ing. Francesco Calise  
DII (Dipartimento di Ingegneria Industriale)  
Università degli Studi di Napoli Federico II**

# Schema elementare di impianto di riscaldamento ad acqua



## Temperature usuali dell'acqua (mandata/ritorno):

- 80/70 °C oppure, oggi più frequentemente, 75/65 °C per terminali ad alta T (radiatori – caldaia)
- 50/45 °C oppure 45/40 °C per terminali a bassa T (fan-coil – pompa di calore o caldaia a condensazione)
- 40/35 °C circa per terminali a bassissima T (pannelli radianti – pompa di calore o caldaia a condensazione; anche pannelli solari termici usuali)

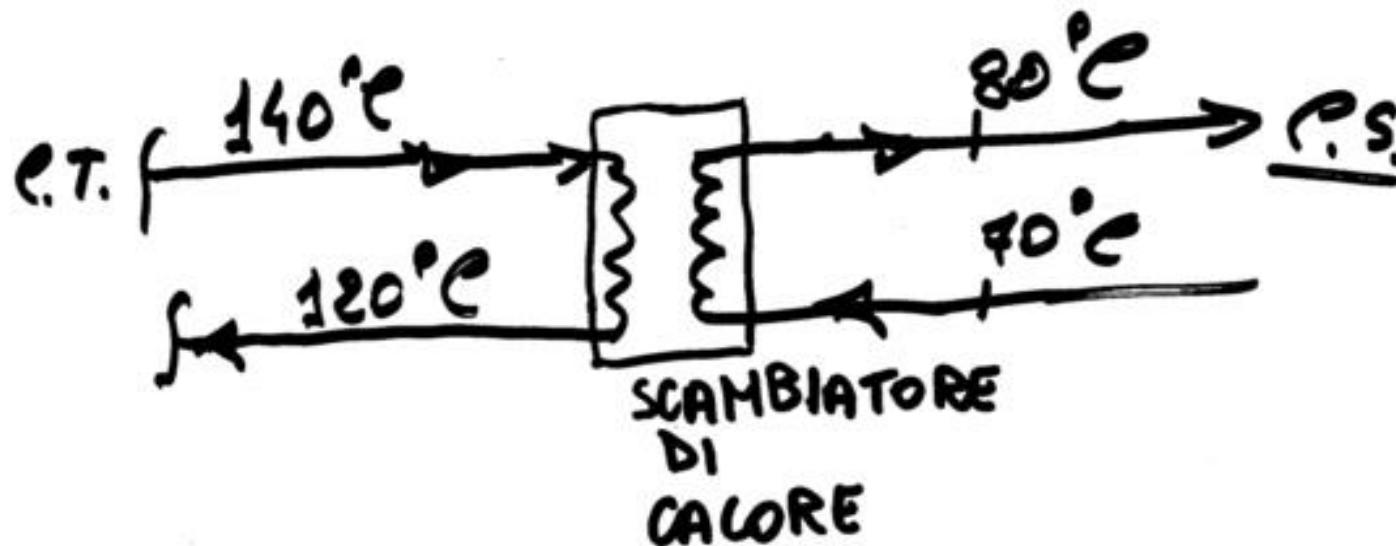
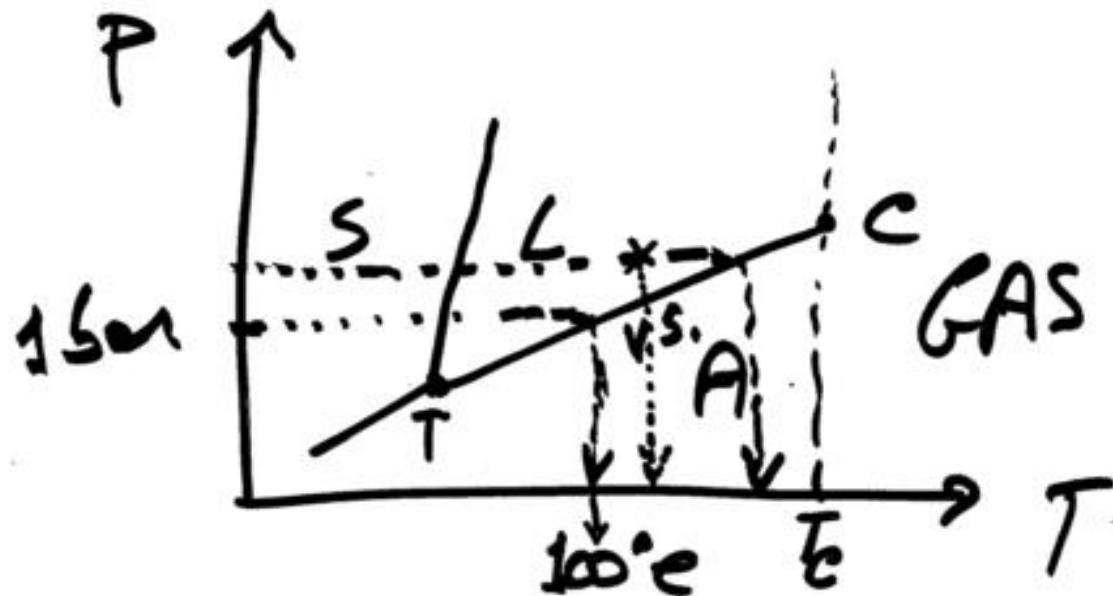
# FLUIDI TERMOVETTORI

Per **fluido termovettore** si intende il fluido che, attraverso una opportuna rete di distribuzione, trasporta l'energia termica che viene fornita agli ambienti mediante i terminali.

Il fluido termovettore più frequentemente impiegato negli impianti di riscaldamento è **l'acqua** (si usa anche l'aria, ma più spesso negli impianti di climatizzazione estivi/invernali), che può essere:

- **acqua calda in fase liquida** - a pressione ambiente e temperatura inferiore a quella di ebollizione – **caso più usuale, a cui ci si riferirà nel seguito (T minore di 100 °C);**
- acqua in fase liquida - a pressione superiore a quella ambiente e temperatura inferiore a quella di ebollizione, impropriamente detta "**acqua surriscaldata**" (**T maggiore di 100 °C**);
- acqua in fase **vapore** - a temperatura maggiore di quella di ebollizione (in questo caso il fluido termovettore torna dai terminali sotto forma di acqua condensata).

# FLUIDI TERMOVETTORI – “acqua surriscaldata”



# Generatori di energia termica a combustione (caldaie)

- In questo file non sono analizzati i generatori a pompa di calore (descritti in altro file), ma solo i generatori a combustione (caldaie).
- Il generatore di energia termica a combustione, o caldaia, trasferisce all'acqua l'energia termica fornita dalla combustione di un combustibile (solido, liquido o gassoso).
- Attualmente il combustibile solido è quasi inutilizzato in Italia, quello gassoso è impiegato più frequentemente di quello liquido.

# Caratteristiche principali dei generatori di energia termica a combustione (caldaie)

- Il fluido a cui il generatore cede energia termica segue comunque un circuito chiuso in cui si individua convenzionalmente un tratto di “**mandata**”, in uscita dalla caldaia, ed uno di “**ritorno**” in ingresso alla caldaia.
- L'energia termica prodotta dalla combustione viene ceduta al fluido in parte nella **camera di combustione o focolare**, in parte lungo il successivo percorso dei prodotti della combustione, anche detto *giri di fumo*.
- L'involucro (**mantello**) della caldaia è rivestito di materiale isolante, per ridurre le dispersioni di calore verso l'esterno, protetto con lamiera.

# Caratteristiche principali delle caldaie

- I generatori di energia termica possono essere a servizio di una pluralità di utenze (***impianti di riscaldamento centralizzati***), o a servizio di una singola utenza (***impianti di riscaldamento autonomi***).
- La **caldaia autonoma**, generalmente alimentata con combustibile gassoso, può essere atta anche alla produzione di acqua calda sanitaria (**caldaia combinata o mista**). Essa generalmente ha potenzialità inferiore a 35 kW e comprende anche il bruciatore, l'elettropompa di circolazione, il vaso d'espansione e l'insieme degli organi di sicurezza, protezione e controllo.

# Caratteristiche principali delle caldaie

- Caldaia autonoma: serve potenza usuale di 24-30 kW?

## No per il riscaldamento dei locali:

Appartamento da 100 m<sup>2</sup> (circa 300 m<sup>3</sup>):

$$300 \text{ m}^3 \times 20 \text{ W/m}^3 = 6000 \text{ W} = 6 \text{ kW} << 24 \text{ kW}$$

(ed anche raddoppiando la superficie dell'appartamento, si rimane decisamente sotto i 24 kW)

## Sì per l'ACS; infatti per una doccia calda, all'incirca:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times c \times (T_{\text{mandata ACS}} - T_{\text{acquedotto}}) = 0,2 \text{ kg/s} \times 4,2 \text{ kJ/kgK} \times (40-10) \text{ K} = 25,2 \text{ kW}$$

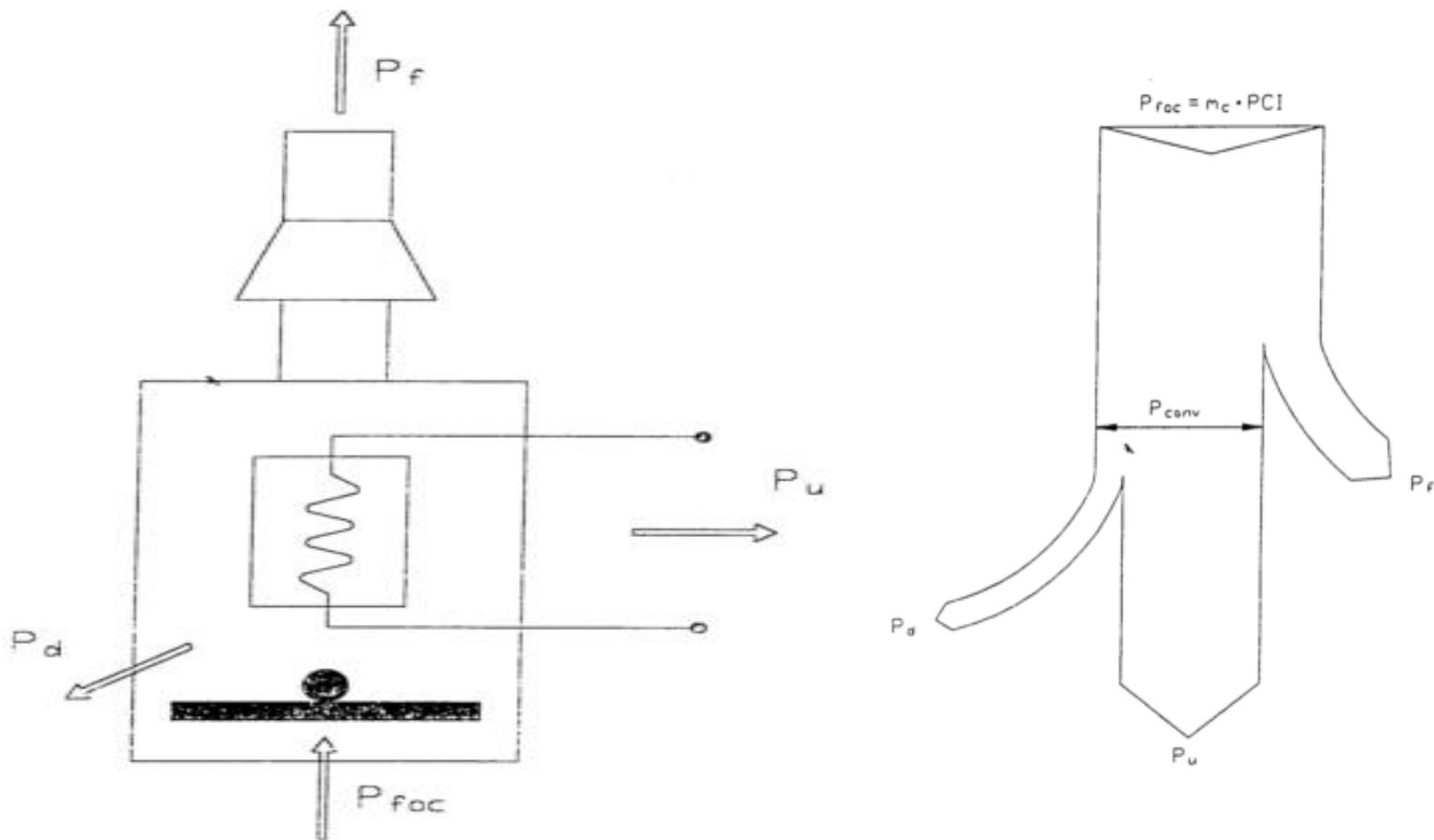
## E per garantire due docce calde in contemporanea?

Soluzioni più usuali: caldaia + accumulo, oppure caldaia da 33-34 kW dotata di micro-accumulo

# Caratteristiche principali dei combustibili

- **Potere calorifico di un combustibile:** energia termica prodotta dalla combustione completa dell'unità di massa di un combustibile (o di volume, nel caso di combustibile gassoso); è espresso in kJ/kg (o kJ/Nm<sup>3</sup>) nel Sistema Internazionale (SI), o in kcal/kg (kcal/Nm<sup>3</sup>), o in kWh/kg (kWh/Nm<sup>3</sup>).
- **Potere calorifico superiore di un combustibile, PCS:** energia termica che si rende disponibile per effetto della combustione completa, a pressione costante, dell'unità di massa (o di volume) di un combustibile, quando i prodotti della combustione siano riportati alla temperatura iniziale del combustibile e del comburente (quindi alla T ambiente).
- **Potere calorifico inferiore di un combustibile, PCI:** è pari al potere calorifico superiore diminuito del calore di condensazione del vapor d'acqua formatosi durante la combustione.

# Caratteristiche principali delle caldaie



Bilancio energetico (semplificato) di una caldaia

# Caratteristiche principali delle caldaie

- **Potenza termica del (o al) focolare** (anche detta portata termica),  $P_{foc}$ : “il prodotto del potere calorifico inferiore del combustibile impiegato e della portata di combustibile bruciato” (questa e le successive 2 definizioni sono tratte dal DPR 412/93, art.1), espresso in kW (o in kcal/h, nel S.T.); rappresenta quindi l’energia termica prodotta nell’unità di tempo nella camera di combustione del generatore, che sarebbe disponibile in assenza di perdite.
- **Potenza termica convenzionale**,  $P_{conv}$ : “la potenza termica del focolare diminuita della potenza termica persa al camino”, espressa in kW (o in kcal/h, nel S.T.).
- **Potenza termica utile**,  $P_u$ : “la quantità di calore trasferita nell’unità di tempo al fluido termovettore, corrispondente alla potenza termica del focolare diminuita della potenza termica scambiata dall’involturco del generatore con l’ambiente e della potenza termica persa al camino”, espressa in kW (in kcal/h).

# Caratteristiche principali delle caldaie

- **Potenza termica dispersa al camino**,  $P_f$ : potenza termica dispersa nell'atmosfera attraverso i prodotti della combustione, espressa in kW (o in kcal/h nel S.T.).
- **Potenza termica dispersa attraverso il mantello**,  $P_d$ : potenza termica dispersa attraverso l'involucro della caldaia per irraggiamento, per convezione e per conduzione, espressa in kW (o in kcal/h nel S.T.).

*Nota: più spesso le potenze termiche sono indicate con la lettera  $\dot{Q}$  invece che con la  $P$ .*

# Caratteristiche principali delle caldaie

- **Rendimento di combustione** (anche detto **rendimento termico convenzionale**)  $\eta_c$ : “il rapporto tra la potenza termica convenzionale e la potenza termica del focolare” (DPR 412/93 art.1 punto u).

$$\eta_c = \frac{P_{\text{conv}}}{P_{\text{foc}}} = \frac{P_{\text{foc}} - P_f}{P_{\text{foc}}} = 1 - \frac{P_f}{P_{\text{foc}}}$$

- **Rendimento termico utile**,  $\eta_u$ : “il rapporto tra la potenza termica utile e la potenza termica del focolare” (DPR 412/93 art.1 punto v).

$$\eta_u = \frac{P_u}{P_{\text{foc}}} = \frac{P_{\text{foc}} - (P_f + P_d)}{P_{\text{foc}}} = 1 - \frac{P_f + P_d}{P_{\text{foc}}}$$

- Per caldaie tradizionali, le perdite al camino sono pari a circa 6-8%, mentre le perdite attraverso l’involtucro 1%, per cui il rendimento termico utile è circa 91-93 %, quello convenzionale 92-94%.

# Caratteristiche principali delle caldaie

La potenza termica al focolare  $P_{foc}$  è legata alla portata di combustibile  $\dot{m}_c$  ed al potere calorifico inferiore PCI del combustibile dalla relazione:

$$P_{foc} = \dot{m}_c \cdot PCI \quad (\text{kg/s} \cdot \text{kJ/kg} = \text{kJ/s} = \text{kW})$$

Detraendo a  $P_{foc}$  le perdite al camino  $P_f$ , si ottiene la potenza termica convenzionale  $P_{conv}$ ; sottraendo a questa le perdite  $P_d$  attraverso l'involucro, si ottiene la potenza termica utile  $P_u$ :

$$P_{foc} = P_u + P_f + P_d ,$$

$$P_u = P_{foc} - P_f - P_d = P_{conv} - P_d$$

# Possibili classificazioni delle caldaie

| Parametro                                 | Classificazione  |
|---|--|
| <i>combustibile</i>                       | <ul style="list-style-type: none"><li>- caldaie a combustibile solido</li><li>- caldaie a combustibile liquido</li><li>- caldaie a combustibile gassoso</li></ul>  |
| <i>fluido in uscita dalla caldaia</i>     | <ul style="list-style-type: none"><li>- caldaie ad acqua calda in fase liquida</li><li>- caldaie ad acqua surriscaldata</li><li>- caldaie a vapore</li><li>- caldaie ad olio diatermico</li><li>- generatori di aria calda</li></ul>   |
| <i>pressione in camera di combustione</i> | <ul style="list-style-type: none"><li>- caldaie con focolare in depressione (anche dette di tipo atmosferico o ad aria aspirata)</li><li>- caldaie con focolare pressurizzato (anche dette pressurizzate o ad aria soffiata)</li></ul> |
| <i>temperatura dei fumi in uscita</i>     | <ul style="list-style-type: none"><li>- caldaie tradizionali ad alto rendimento</li><li>- caldaie a condensazione</li></ul>  |

# Classificazione delle caldaie in base al combustibile

I combustibili solidi sono oggigiorno in disuso, mentre da qualche anno si sta avendo un forte incremento nell'utilizzo dei combustibili gassosi. I combustibili liquidi e gassosi sono esaminati più in dettaglio al par.4.1.12.

Tab.4.2: valori indicativi del potere calorifico inferiore (PCI) e del potere calorifico superiore (PCS) di vari combustibili<sup>3</sup> (fonte Snam, 1996)

|                                 | PCI (MJ/kg) | PCS (MJ/kg) | PCI (kcal/kg) | PCS (kcal/kg) |
|---------------------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| carbone da vapore               | 26,1        | -           | 6.250         | -             |
| carbone sulcis                  | 22,3        | -           | 5.330         | -             |
| legna verde                     | 10,5        | -           | 2.500         | -             |
| coke da carbone                 | 29,3        | -           | 7.000         | -             |
| petrolio greggio di riferimento | 41,8        | 44,4        | 10.000        | 10.600        |
| olio combustibile denso         | 40,2        | 42,5        | 9.600         | 10.150        |
| gasolio                         | 42,7        | 45,2        | 10.200(*)     | 10.800(**)    |
| virgin naphta                   | 43,9        | 47,7        | 10.500        | 11.400        |
| GPL                             | 46,0        | 50,2        | 11.000        | 12.000        |

(\*) pari a 8.517 kcal/L

(\*\*) pari a 9.018 kcal/L

Nota: i valori relativi al gas naturale sono riportati più avanti.

# Classificazione in base al fluido in uscita dalla caldaia

## B) Classificazione in base al fluido in uscita dalla caldaia

### - Caldaie ad acqua calda in fase liquida:

sono caldaie in cui l'acqua entra ed esce in fase liquida a pressione ambiente e temperatura inferiore a quella di ebollizione (il sistema di regolazione della caldaia fa sì che la temperatura dell'acqua riscaldata non superi all'incirca i 90 °C, come meglio descritto al par.4.1.9); come si è già detto, in questo testo si fa specifico riferimento a questo tipo di caldaie.

### - Caldaie ad acqua surriscaldata:

sono caldaie in cui l'acqua riscaldata esce in fase liquida, a pressione superiore a quella ambiente e temperatura inferiore a quella di ebollizione (si parla impropriamente ma comunemente di "acqua surriscaldata").

### - Caldaie a vapore:

sono caldaie in cui l'acqua entra in fase liquida ed esce in fase vapore, a temperatura maggiore di quella di ebollizione alla pressione di esercizio dell'impianto.

### - Caldaie edolo di termico:

350°C

ritorno, il che consente di avere portate veicolate più basse a parità di potenza termica scambiata (come si può meglio comprendere analizzando la relazione 4.8 del par.4.1.2.2).

### - Generatori di aria calda:

sono caldaie utilizzate per riscaldare l'aria a temperatura di circa 30 ÷ 50 °C; generalmente l'aria calda viene inviata direttamente in ambienti da riscaldare, mediante terminali tipici degli impianti aeraulici (bocchette o diffusori)

# Classificazione delle caldaie in base al volume d'acqua

## C) Classificazione in base al volume d'acqua

### - *Caldaie a grande volume d'acqua:*

sono le caldaie tradizionali, con circa  $2 \div 3 \text{ L}$  di fluido termovettore per ogni kW di potenza termica al focolare.

### - *Caldaie a piccolo volume d'acqua:*

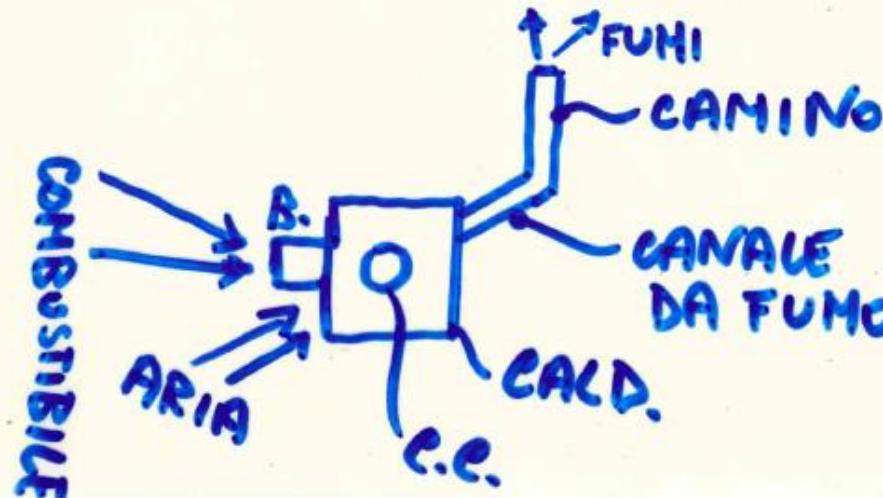
sono caldaie con circa  $0,3 \div 0,5 \text{ L}$  di fluido termovettore per ogni kW di potenza termica al focolare; sono caratterizzate da peso e ingombro limitati, nonché da tempi ridotti nella fase di riscaldamento, il che dà luogo però a maggiori sollecitazioni termiche e quindi impone l'utilizzo di materiali più pregiati e costosi.

# Classificazione delle caldaie in base alla pressione in camera di combustione

## D) Classificazione in base alla pressione in camera di combustione

- Caldaie con focolare in depressione (anche dette di tipo atmosferico o ad aria aspirata): sono caldaie in cui il tiraggio del camino dà luogo ad una depressione nell'intero circuito dei fumi, compresa la camera di combustione, per cui la pressione è minore di quella atmosferica; non essendoci ventilatore di immissione dell'aria comburente, il tiraggio del camino deve vincere le perdite di carico del camino stesso, del canale da fumo e della caldaia, come meglio specificato al par.4.1.10.

- Caldaie con focolare pressurizzato (anche dette pressurizzate o ad aria soffiata): + PERICOLOSE sono caldaie in cui l'aria comburente è immessa nel focolare mediante un ventilatore inserito nel bruciatore, per cui in camera di combustione si ha una pressione maggiore di quella atmosferica; la perdita di carico nella caldaia è vinta dal ventilatore e quindi il camino deve avere un tiraggio tale da bilanciare solo le perdite di carico del camino stesso e del canale da fumo, come meglio specificato al par.4.1.10.



210

# Classificazione delle caldaie in base alla temperatura dei fumi in uscita (caldaie tradizionali non a condensazione; caldaie a condensazione)

## E) Classificazione in base alla temperatura dei fumi in uscita

### - Caldaie tradizionali ad alto rendimento:

sono caldaie in cui la temperatura di uscita dei fumi è tenuta abbastanza bassa in modo da ridurre le perdite energetiche della caldaia e quindi ottenere un rendimento di combustione maggiore del 90%. Tale temperatura non deve comunque essere troppo bassa, altrimenti si può verificare la condensa degli acidi ottenuti dalla combinazione dei diversi componenti chimici presenti nei fumi, determinando la corrosione della caldaia e/o del camino. In particolare, nel caso di combustibili liquidi si può verificare la condensa dell'acido solforico ottenuto dalla combinazione dell'acqua con lo zolfo. Nel caso di combustibili gassosi il tenore di zolfo del combustibile è basso, ma la condensa risulta ugualmente acida, a causa dell'anidride carbonica disiolta nel condensato; tale fenomeno può essere aggravato dalla presenza di acido nitrico, formatosi per reazione degli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) con il vapor d'acqua, e di acido cloridrico, dovuto alla presenza di composti clorurati nell'aria comburente.

Nelle caldaie tradizionali i fumi devono quindi essere scaricati a temperatura sufficientemente più alta del punto di rugiada, per evitare la formazione di condensa.

## Classificazione delle caldaie in base alla temperatura dei fumi in uscita: caldaie tradizionali (non a condensazione)

Nella seguente tabella, per alcuni tra i combustibili più utilizzati, sono riportati i valori medi della temperatura di rugiada ed i valori usuali della temperatura dei fumi in uscita da un generatore di energia termica a combustione (di tipo tradizionale ad alto rendimento).

| Combustibile  | Temperatura di rugiada<br>(°C) | Temperatura dei fumi in<br>uscita dal generatore<br>(°C) |
|---|--------------------------------|--|
| Metano  | 58                             | 100÷120  |
| Gas di petrolio liquefatto<br>(GPL)<br>(propano 70% - butano 30%) | 54                             | 100÷120  |
| Gasolio   | 96                             | 130÷150  |

Per evitare la formazione di condensa acide è quindi anche necessario che la temperatura dell'acqua di ritorno in caldaia non sia inferiore ad un certo valore limite (generalmente 55 ÷ 60 °C): ciò deve essere garantito da una opportuna regolazione (par.4.1.6).

# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: caldaie a condensazione

- Sono caldaie in cui la **temperatura dei fumi è inferiore** (circa 40 ÷ 65 °C, più bassa della temperatura di rugiada) rispetto alle caldaie tradizionali (T fumi attorno a 120-140°C), in modo da ridurre le perdite energetiche dovute ai fumi e recuperare energia dalla condensazione del vapore acqueo contenuto nei fumi stessi (quindi sfruttano il **PCS** del combustibile): si aumenta così il **rendimento** termico utile (anche > 100%);
- sono caratterizzate da una maggiore resa quando producono acqua a bassa T (45-50 °C), quindi se abbinate a **corpi scaldanti a bassa temperatura** (pannelli radianti, fan-coil);
- è possibile abbassare la temperatura dei fumi fino a valori di poco superiori a quelli della temperatura dell'acqua di ritorno; **l'acqua di ritorno può anche essere a T bassa** (circa 40 °C), il che non è possibile per caldaie tradizionali, che si danneggerebbero per la formazione di condense acide.

# **Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: caldaie a condensazione**

- Verificandosi però il fenomeno della condensa degli acidi, tali caldaie sono realizzate con materiali più pregiati e **costosi** (acciaio inox per scambiatore di calore) e con una configurazione tali da minimizzare il deterioramento della caldaia.
- In base alle ultime Leggi Finanziarie, la sostituzione di una caldaia esistente con una nuova a condensazione consente di ottenere incentivi fiscali (**sgravio fiscale pari inizialmente al 55%, poi 65%, poi 50%, ....**).
- In presenza di radiatori, la sostituzione di una caldaia tradizionale esistente con una nuova a condensazione sarebbe però veramente opportuna solo se venissero **aumentate le superfici di scambio termico dei radiatori.**

# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: caldaie a condensazione

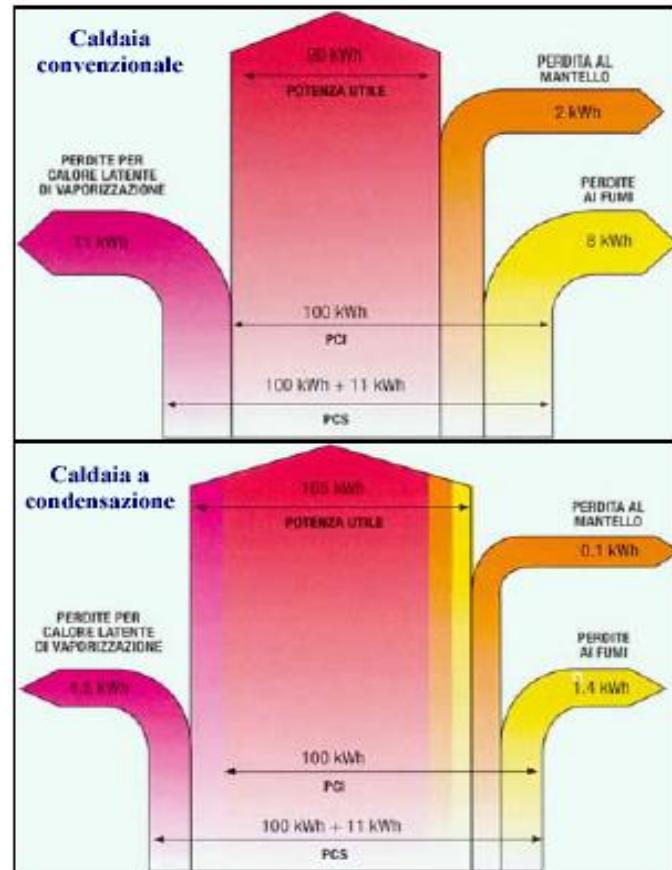
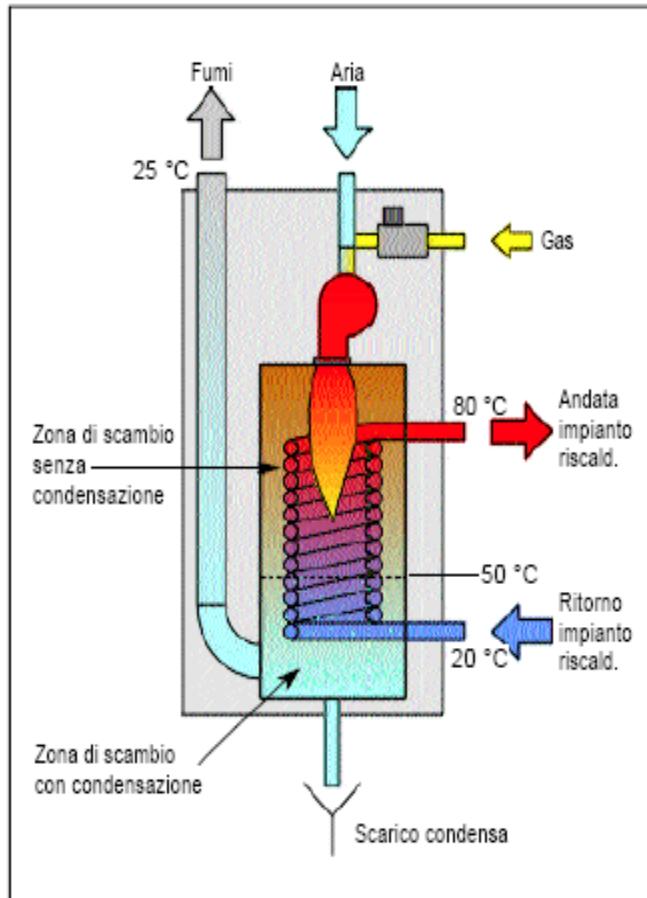


Fig. C.1. Schema dei flussi energetici in una caldaia convenzionale ed in una a condensazione (a partire dal Potere Calorifico Superiore).

# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: caldaie a condensazione

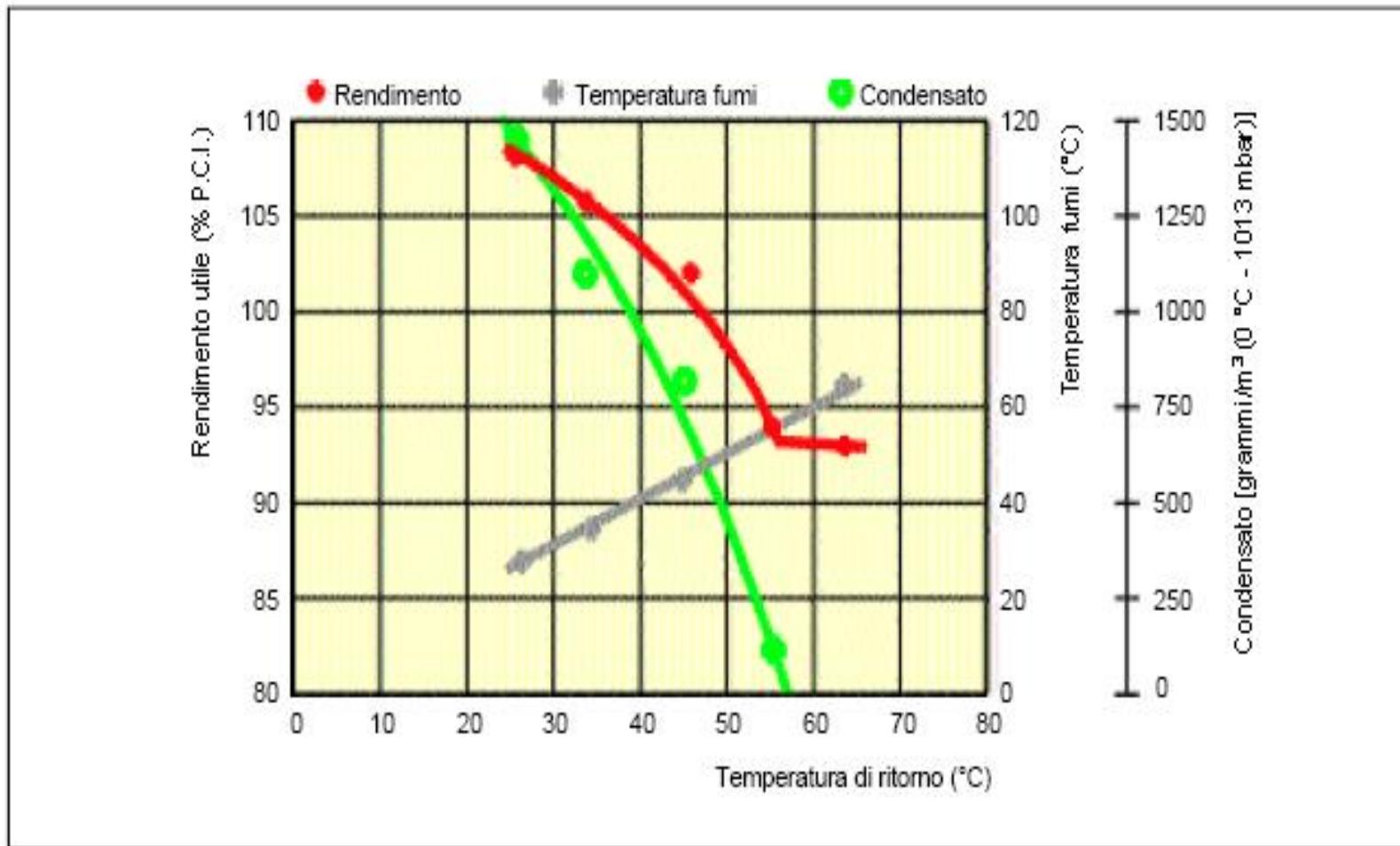


Grafico sperimentale tipico delle caratteristiche di un generatore a condensazione (valido per un determinato eccesso d'aria).

# Bruciatori

Il bruciatore è un dispositivo che serve ad innescare l'accensione della miscela di aria e combustibile ed a controllare che la combustione prosegua in modo ottimale. Per basse potenze termiche, il bruciatore è compreso nella caldaia, altrimenti è un dispositivo separato e successivamente collegato alla caldaia.

## Bruciatori per combustibili liquidi

## Bruciatori per combustibili gassosi:

- *ad aria aspirata o atmosferici:*
  - a portata costante
  - modulanti

- *ad aria soffiata:*
  - monostadio
  - a più stadi
  - modulanti

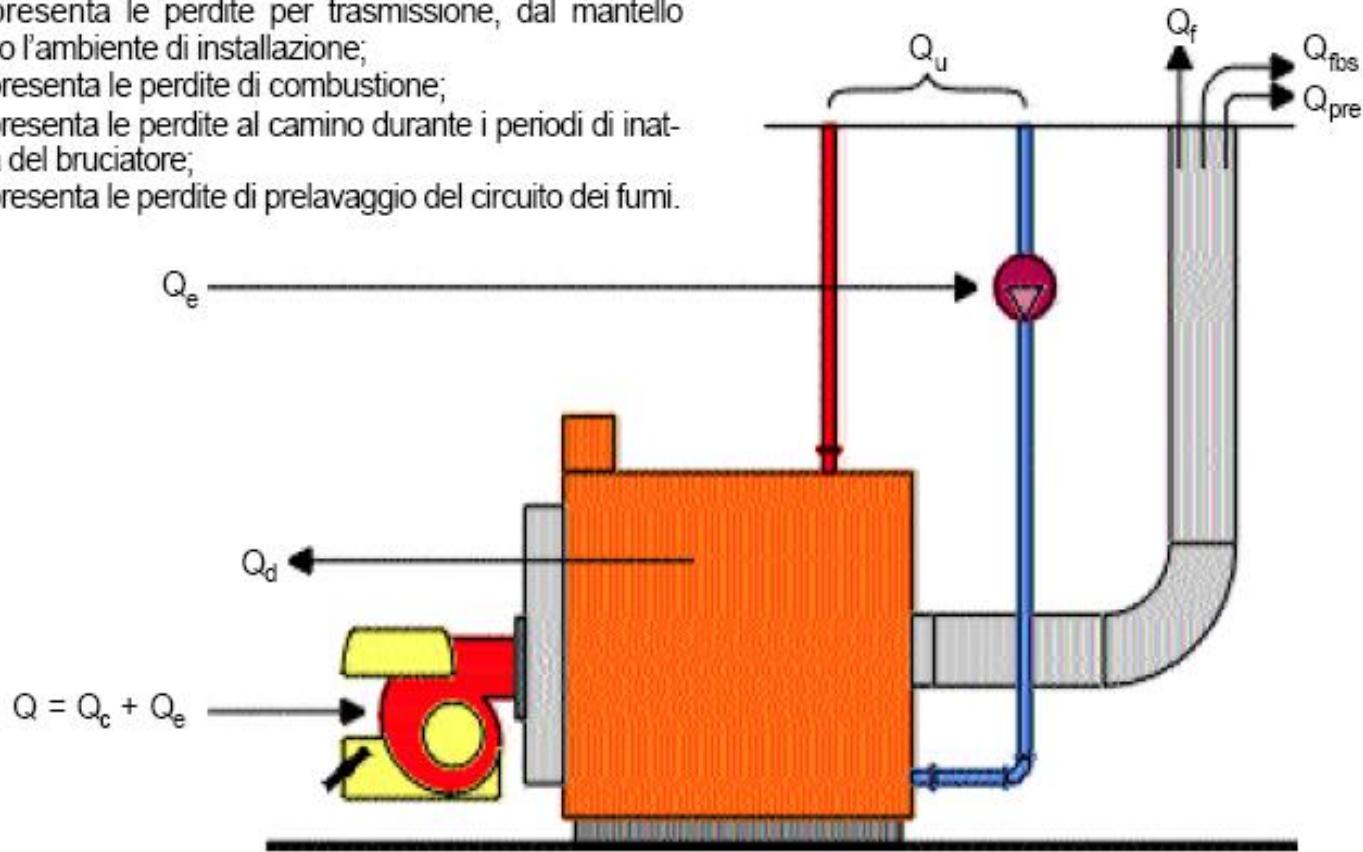
# Caldaie ad alta efficienza

- ▶ L'efficienza del generatore di calore è il parametro di maggior influenza nella determinazione del rendimento globale dell'impianto di riscaldamento
- ▶ Negli ultimi anni si sono diffuse nuove tecnologie di caldaie, con un notevole incremento dell'efficienza sia a carico nominale che a carico parziale, tra cui:
  - caldaie a tiraggio forzato e camera stagna
  - caldaie a temperatura scorrevole
  - caldaie modulari
  - caldaie a condensazione
  - ....
- ▶ La massimizzazione dell'efficienza può essere ottenuta esclusivamente minimizzando le perdite energetiche della caldaia

# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie

## PERDITE NEI GENERATORI DI CALORE

- $Q_d$  rappresenta le perdite per trasmissione, dal mantello verso l'ambiente di installazione;
- $Q_f$  rappresenta le perdite di combustione;
- $Q_{fos}$  rappresenta le perdite al camino durante i periodi di inattività del bruciatore;
- $Q_{pre}$  rappresenta le perdite di prelavaggio del circuito dei fumi.



Fonte: ASSOTERMICA, manuale Impianti Termici: [www.assotermica.it/files/impianti\\_termici.pdf](http://www.assotermica.it/files/impianti_termici.pdf)

# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie

**Q<sub>f</sub>**

## PERDITE DI COMBUSTIONE

Le perdite di combustione sono presenti durante i periodi in cui il bruciatore è acceso e sono costituite dal calore sensibile contenuto nei prodotti della combustione, che vengono scaricati all'esterno.

$$P_f = \left( \frac{A_1}{21 - O_2} + B \right) \cdot (T_f - T_a) = \left( \frac{A_2}{CO_2} + B \right) \cdot (T_f - T_a)$$

| A <sub>1</sub> | A <sub>2</sub> | B     | Combustibile     |
|----------------|----------------|-------|------------------|
| 0,66           | 0,38           | 0,010 | gas naturale     |
| 0,63           | 0,42           | 0,008 | GPL              |
| 0,68           | 0,50           | 0,007 | gasolio          |
| 0,68           | 0,52           | 0,007 | oli combustibili |

dove:

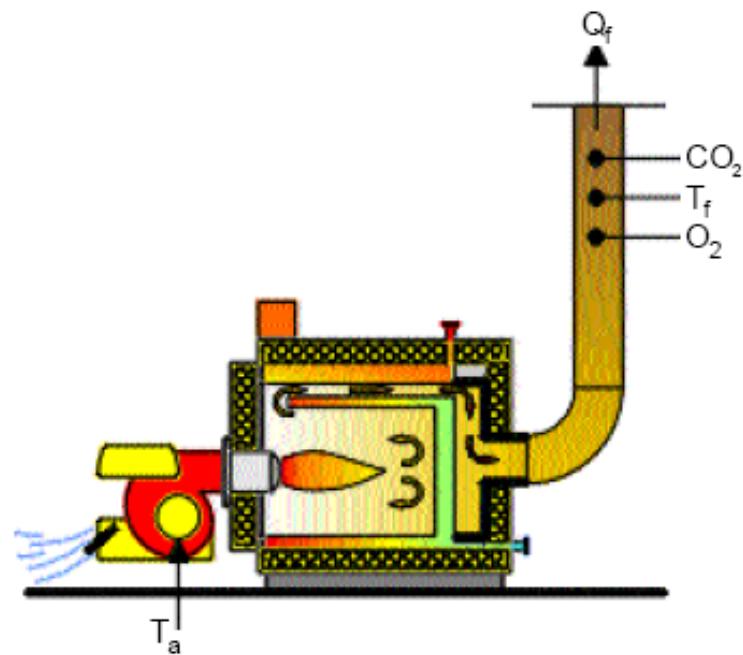
P<sub>f</sub> perdite di combustione (%);

T<sub>f</sub> temperatura dei prodotti della combustione (°C);

T<sub>a</sub> temperatura dell'aria comburente (°C);

O<sub>2</sub> concentrazione di ossigeno nei prodotti della combustione (% volume);

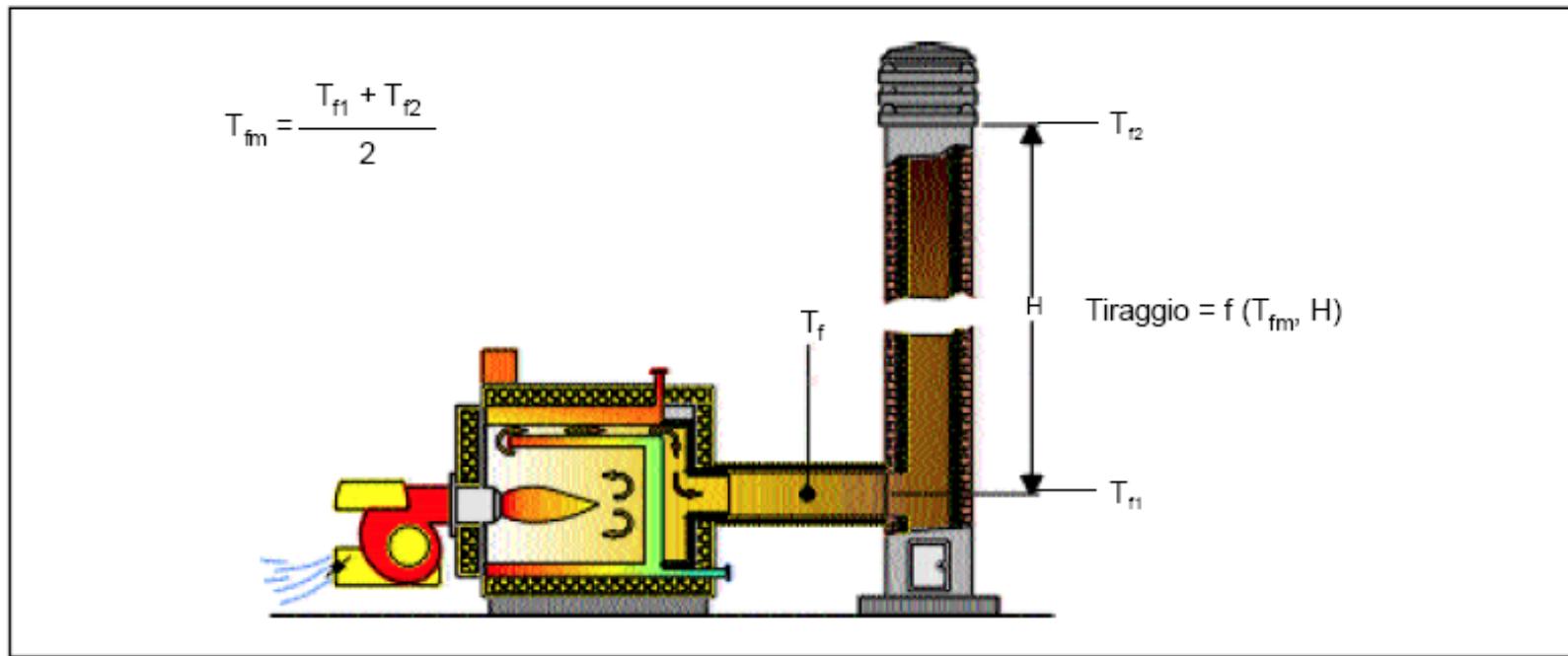
CO<sub>2</sub> concentrazione di anidride carbonica nei prodotti della combustione (% volume).



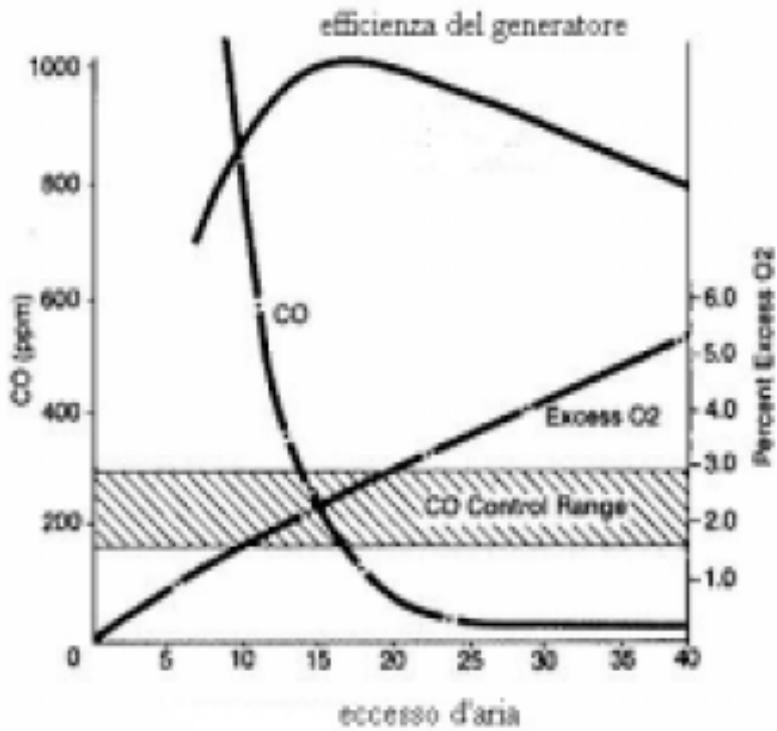
# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie

Anche le perdite di combustione si possono ridurre con il concorso di più espedienti, costruttivi e progettuali:

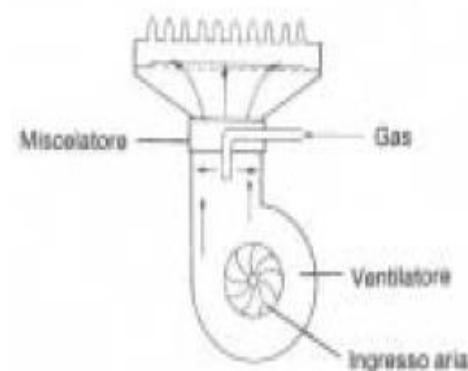
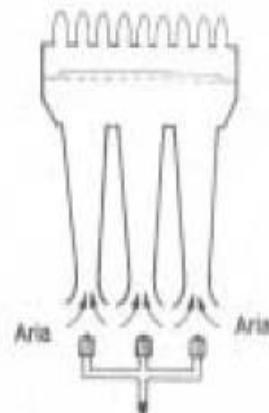
1. migliorando la combustione, ossia riducendo l'eccesso d'aria, con assenza di incombusti (il limite è costituito dalla capacità del bruciatore di funzionare stabilmente con eccessi d'aria molto bassi);
2. abbassando la temperatura dei fumi mediante l'adozione di un sistema di scambio più efficiente (più abbondante); anche una temperatura più bassa dell'acqua nel generatore contribuisce ad abbassare la temperatura dei fumi, migliorando il rendimento di combustione; nei generatori di calore tradizionali, allacciati a camini altrettanto tradizionali, il limite è costituito dalla necessità di assicurare il funzionamento del camino, il cui tiraggio, come è noto, è proporzionale, a parità di altre condizioni, alla temperatura dei fumi.



# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie



Efficienza del generatore ed incombusti in funzione dell'eccesso d'aria



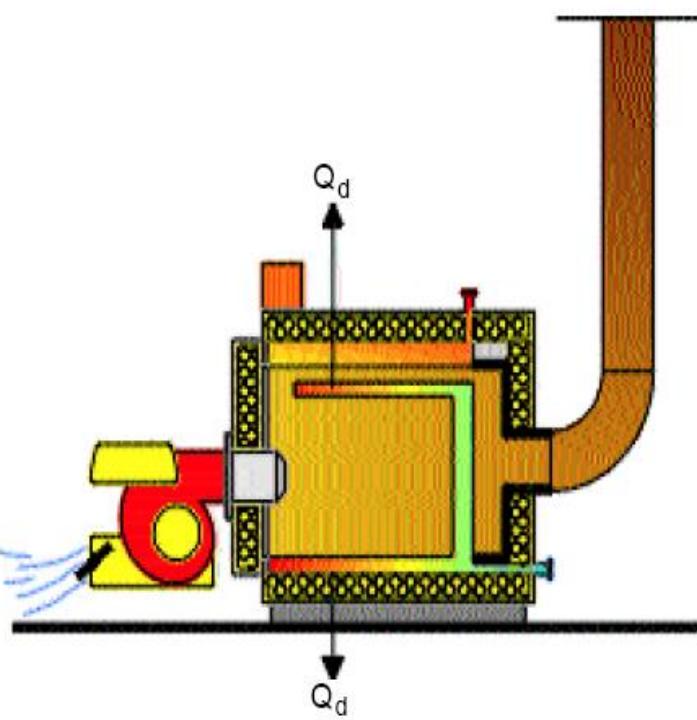
Bruciatore a premiscelazione totale atmosferico e ad aria soffiata (doc. Ecoflam)

**Q<sub>d</sub>**

## PERDITE DI CALORE PER TRASMISSIONE DAL MANTELLO VERSO L'AMBIENTE OVE E' INSTALLATA LA CALDAIA

Queste perdite sono presenti quando la caldaia è attiva (attraversata da acqua calda), indipendentemente dal fatto che il bruciatore sia acceso o spento.

Le perdite dal mantello si possono ridurre con il concorso di più espedienti, costruttivi e progettuali:



1. con un efficace isolamento termico del mantello;
2. mantenendo bassa la temperatura media dell'acqua nel generatore (ciò comporta l'adozione di impianti a bassa temperatura; non tutti i generatori si prestano però per le condizioni di funzionamento che ne derivano);
3. dimensionando il generatore per l'effettivo fabbisogno (un sovraccarico non giustificato genera un inutile aumento di costi ed un deprecabile aumento delle dispersioni passive);
4. installando i generatori in ambiente protetto (all'interno dell'involucro riscaldato o in apposita centrale termica).

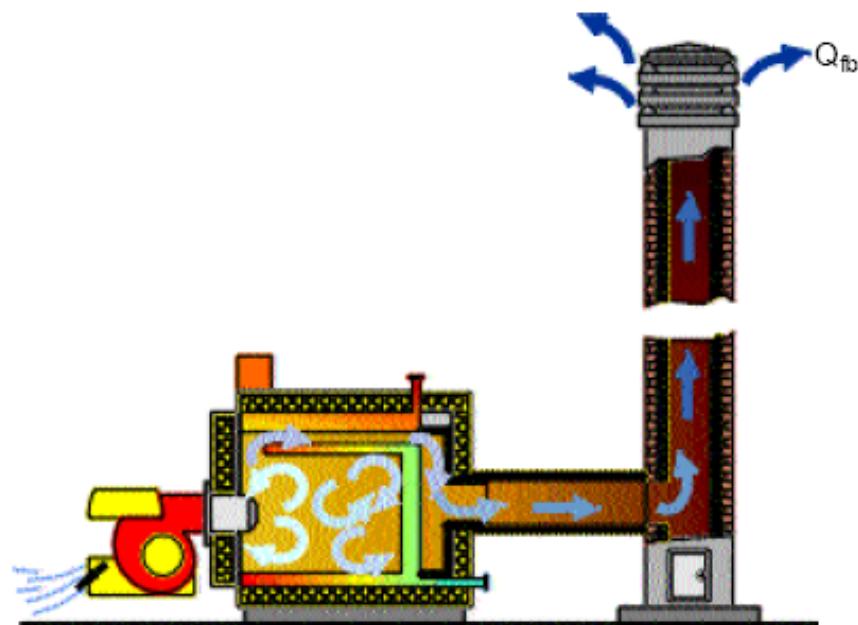
# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie



## PERDITE AL CAMINO A BRUCIATORE SPENTO

Le perdite al camino a bruciatore spento sono dovute al tiraggio del camino che, durante i periodi di inattività del bruciatore, aspira aria dall'ambiente.

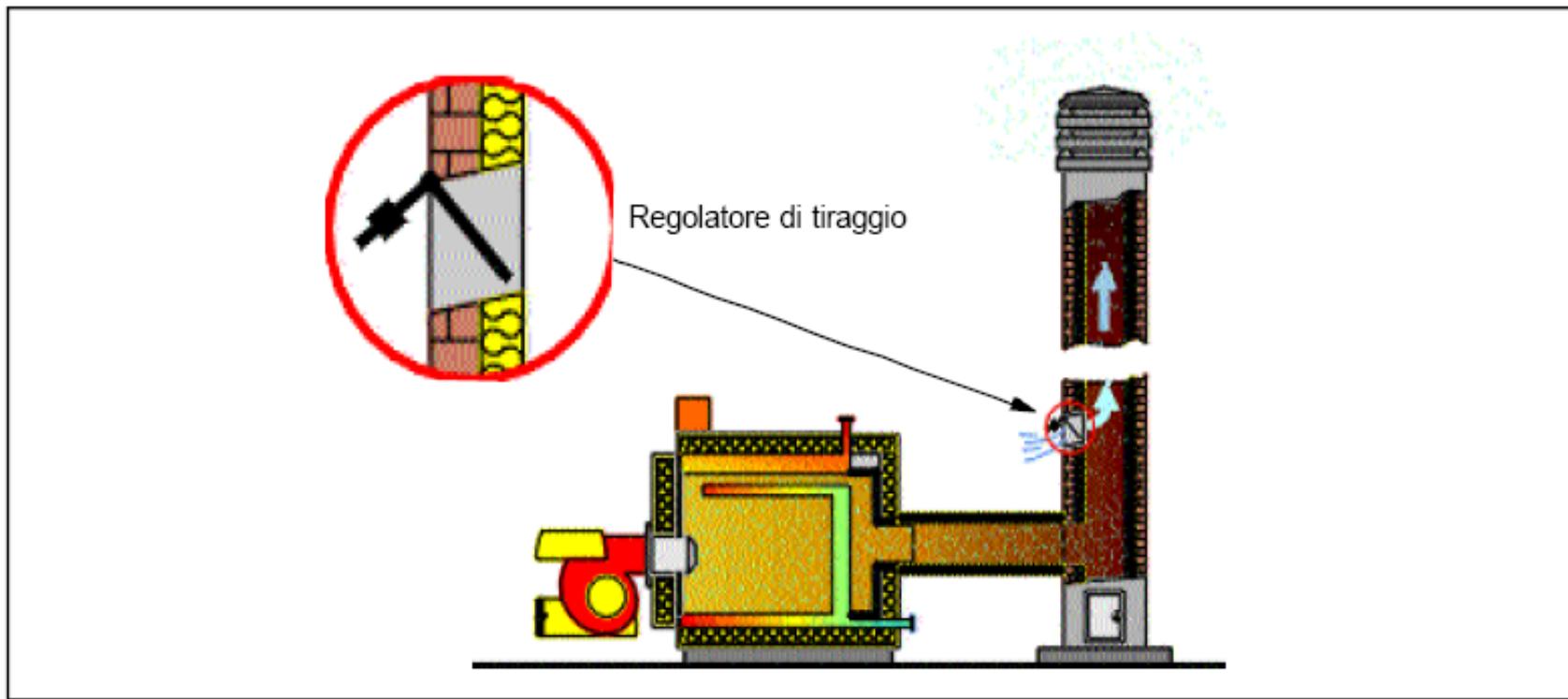
Il flusso così aspirato, passando attraverso il generatore, asporta calore dalle sue strutture interne e lo con-voglia al camino.



# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie

Le perdite al camino a bruciatore spento possono essere ridotte con i seguenti criteri:

1. adottando bruciatori muniti di serranda in grado di chiudere accuratamente l'ingresso dell'aria comburente durante i periodi di fermata del bruciatore;
2. sigillando accuratamente ogni possibile ingresso d'aria nel generatore;
3. abbassando la temperatura dei fumi, in modo da limitare il tiraggio;
4. inserendo regolatori di tiraggio, nel caso di tiraggio eccessivo.



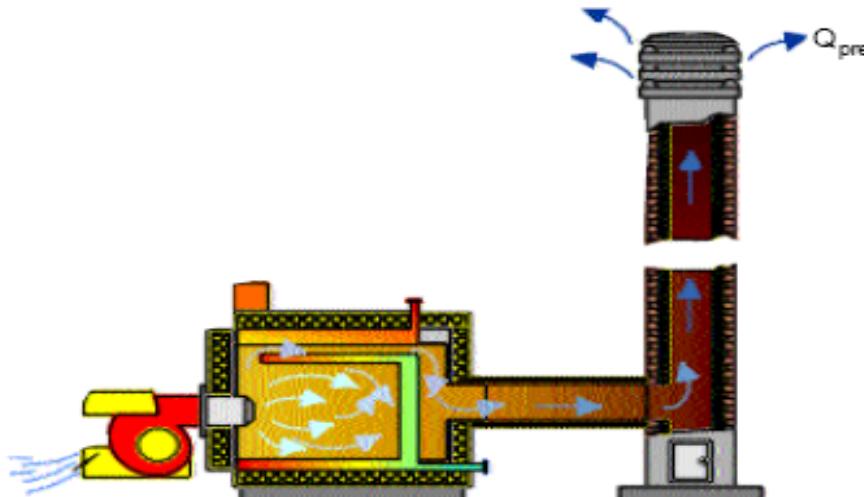


# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie

## PERDITE DI PRELAVAGGIO

Le perdite di prelavaggio sono dovute al flusso d'aria generato dai bruciatori prima di ogni accensione, allo scopo di assicurare l'assenza in camera di combustione di possibili miscele esplosive. La durata del prelavaggio è fissata dalla normativa in funzione della potenza termica bruciata e del tipo di combustibile.

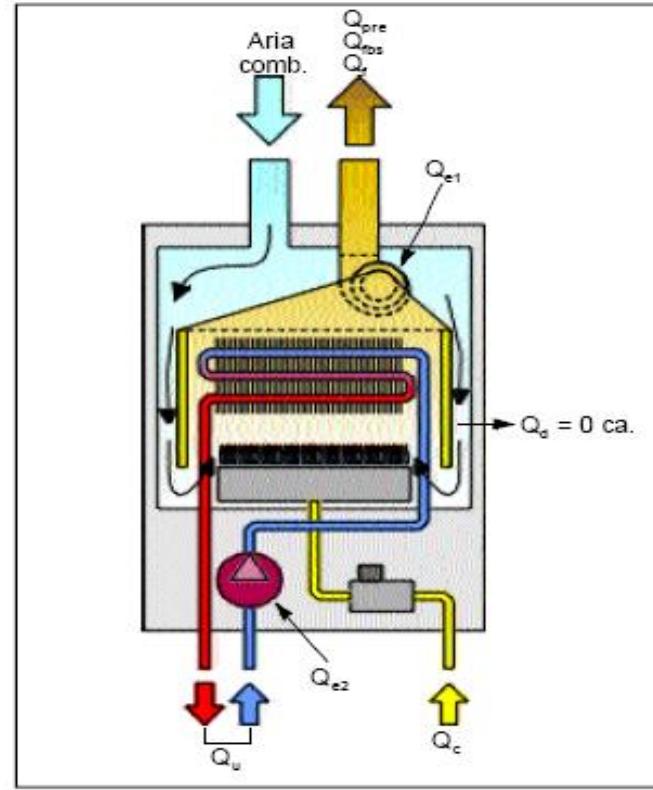
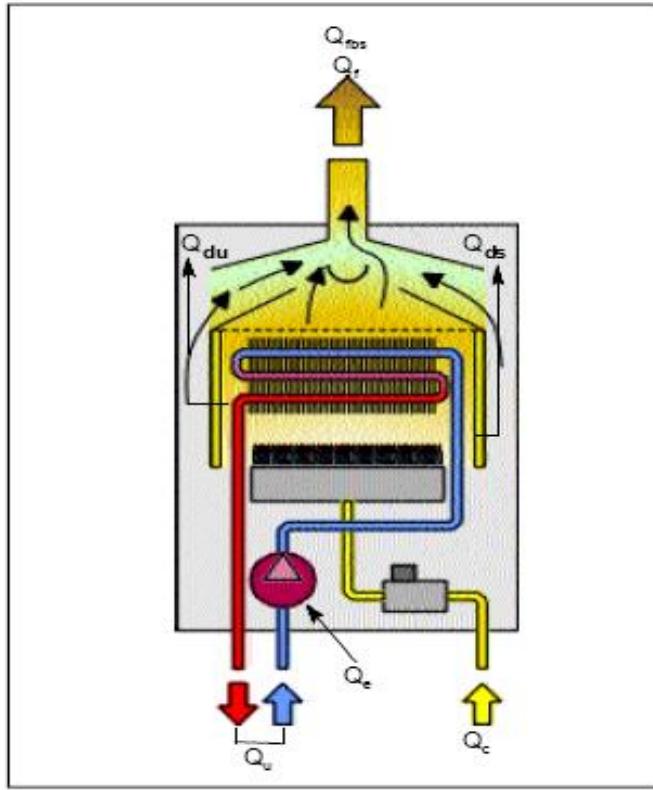
Le perdite di prelavaggio potrebbero risultare eccessive qualora, in relazione alle condizioni di progetto le accensioni dovessero risultare molto frequenti (per esempio in caso di bassa inerzia e di generatore sovra-dimensionato).



Le perdite di prelavaggio possono essere ridotte, quando necessario:

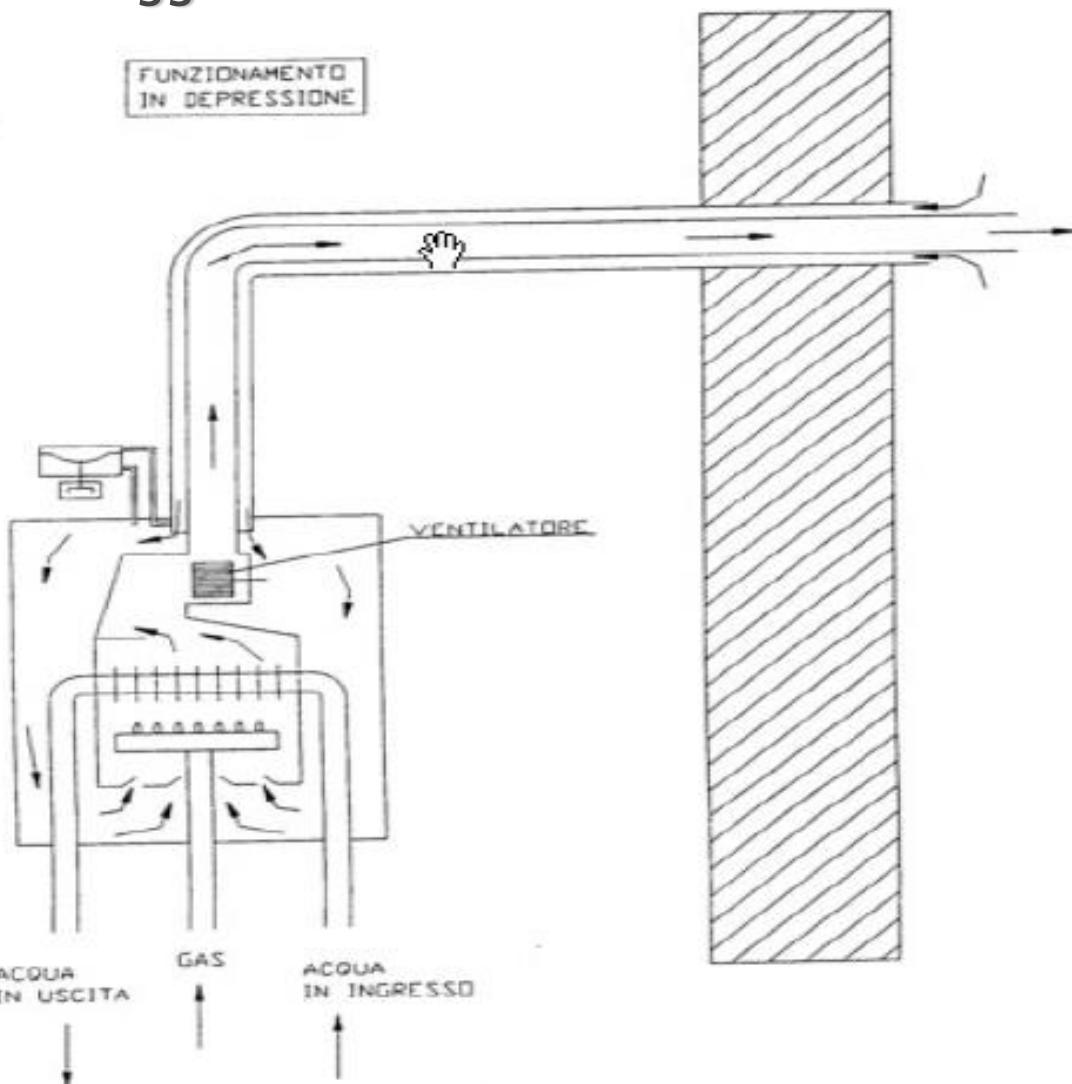
1. adottando un timer che non consenta la riaccensione del bruciatore prima che sia trascorso un determinato tempo dall'ultimo spegnimento (esempio: 10' o 15').

# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: caldaie a camera stagna e tiraggio forzato



- la soluzione costruttiva usuale, che prevede una camera stagna che inviluppa completamente la camera di combustione e lo scambiatore, fa sì che la perdita  $Q_d$  venga completamente recuperata; in tal caso si può porre  $Q_d = 0$ ;
- nel caso in cui lo scarico dei fumi avvenga direttamente all'esterno, alla stessa quota della presa d'aria, l'assenza di un camino fa sì che la perdita  $Q_{fbs}$  a bruciatore spento sia praticamente nulla;

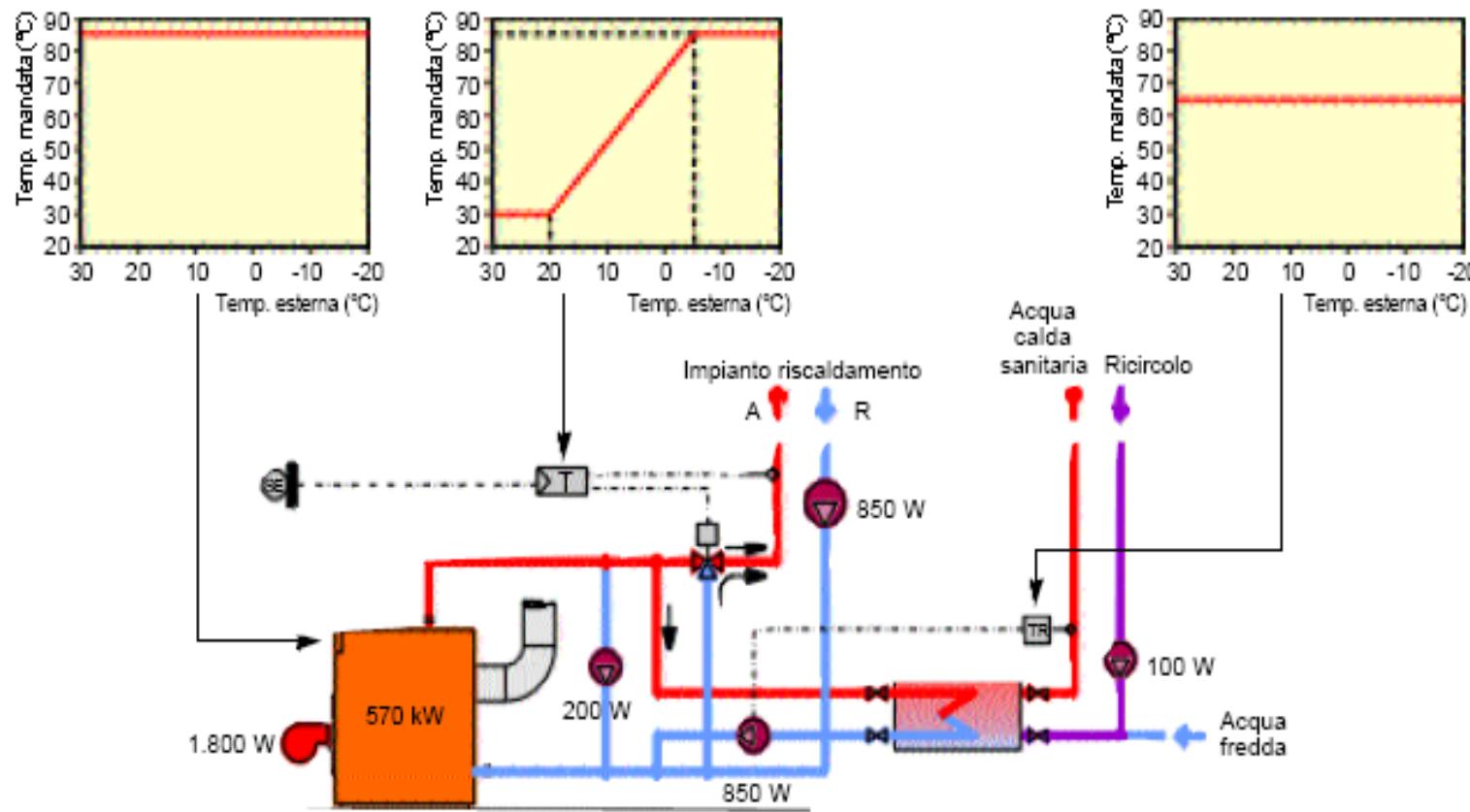
# Caldaie a camera stagna e tiraggio forzato



SCHEMA DI APPARECCHIO DI TIPO C<sub>12</sub> (CONDOTTI CONCENTRICI)  
E VENTILATORE A VALLE DELLA CAMERA DI COMBUSTIONE)

# Il miglioramento dell'efficienza nei G.C.: caldaie a temperatura costante (soluzione di riferimento)

## GENERATORI DI CALORE A TEMPERATURA COSTANTE



# Il miglioramento dell'efficienza nei G.C.: caldaie a temperatura costante (soluzione di riferimento)

## GENERATORI DI CALORE A TEMPERATURA COSTANTE

I generatori di calore a temperatura costante sono quelli tradizionalmente usati negli ultimi anni.

La valvola miscelatrice ha lo scopo appunto di mantenere il generatore ad una temperatura costante piuttosto elevata, per assicurare l'assenza di problemi di condensazione.

Per contro, la temperatura elevata è causa di notevoli dispersioni di calore dall'involucro e di incremento delle perdite a bruciatore spento.

Il rendimento di produzione stagionale può risultare quindi molto basso pur in presenza di un buon rendimento di combustione, se è basso il fattore di carico, che indica il grado di utilizzo del generatore.

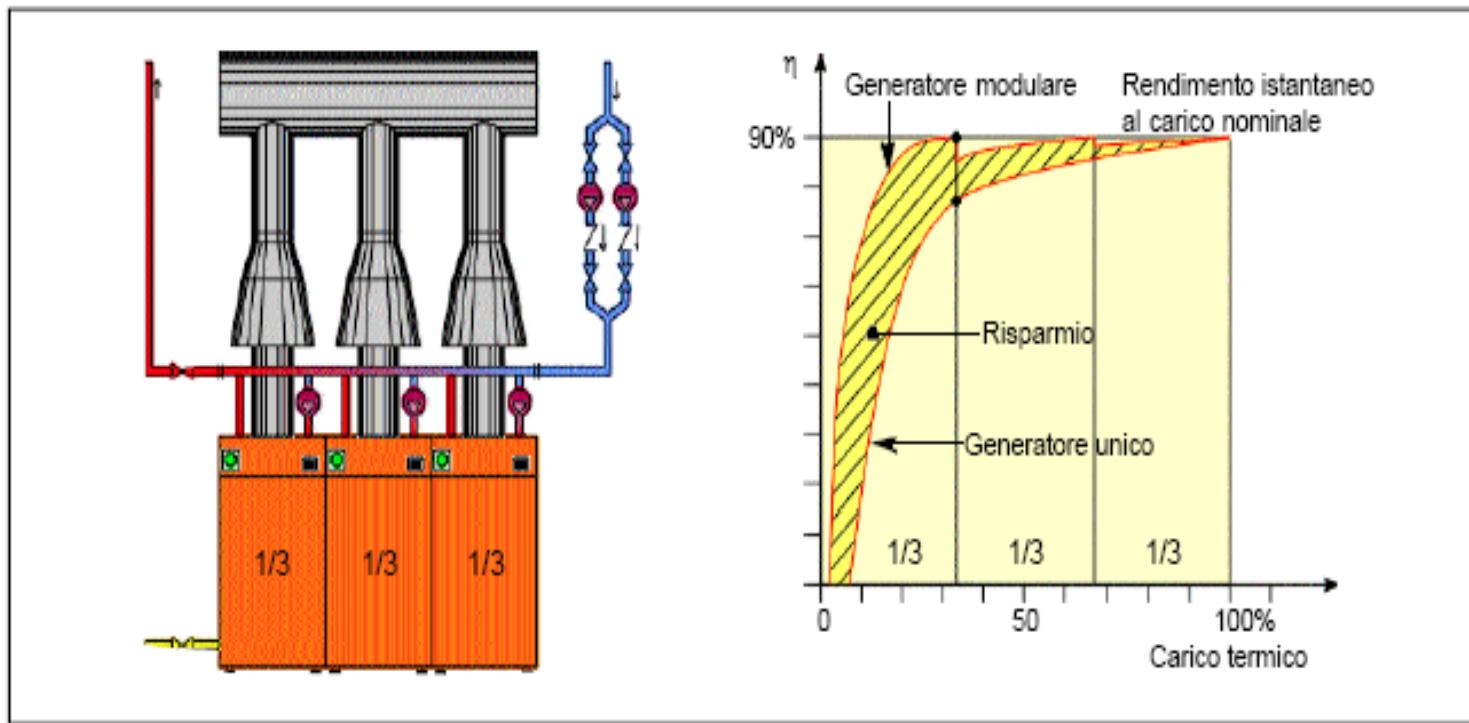
Per le ragioni sopra illustrate un generatore di calore a temperatura costante può essere considerato innovativo quando:

- a. è provvisto di un isolamento termico del mantello molto efficiente (di spessore elevato), atto a limitare le perdite  $Q_d$ ;
- b. è provvisto di un bruciatore con serranda sull'aspirazione dell'aria comburente, per una drastica riduzione delle perdite al camino a bruciatore spento  $Q_{bs}$ ;
- c. è provvisto di un bruciatore a più stadi, oppure modulante, per un migliore rendimento di combustione.

Alle condizioni di cui sopra, il rendimento si mantiene molto elevato anche a carichi termici molto bassi.

# Il miglioramento dell'efficienza nei G.C.: sistemi modulari

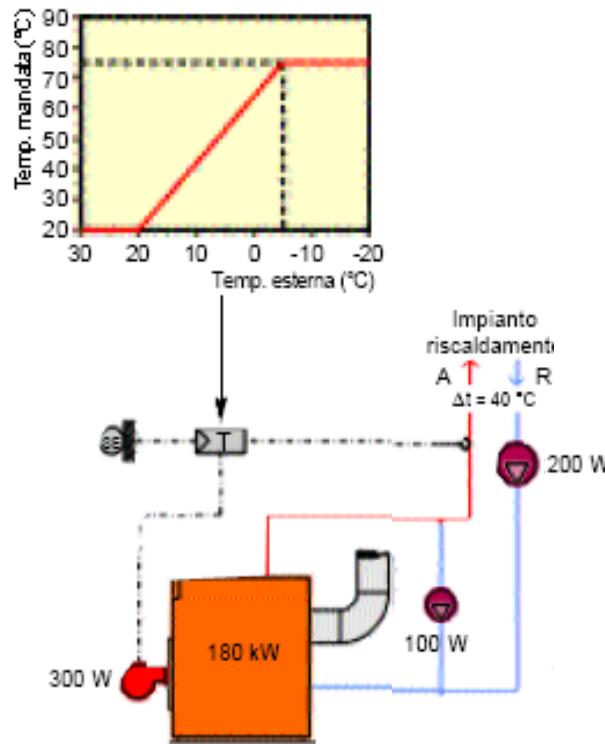
## SISTEMI MODULARI



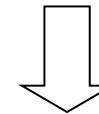
Fonte: ASSOTERMICA, manuale Impianti Termici: [www.assotermica.it/files/impianti\\_termici.pdf](http://www.assotermica.it/files/impianti_termici.pdf)

# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: sistemi a temperatura scorrevole (e a bassa temperatura)

## GENERATORI A TEMPERATURA SCORREVOLE



La temperatura della mandata viene ridotta al diminuire del carico termico (bruciatori atmosferici modulanti in continuo o multistadio a gradini)



- Riduzione di tutte le dispersioni (involtucro, calore sensibile fumi, perdite al camino a bruciatore spento, etc.)
- Migliore efficienza ai carichi parziali

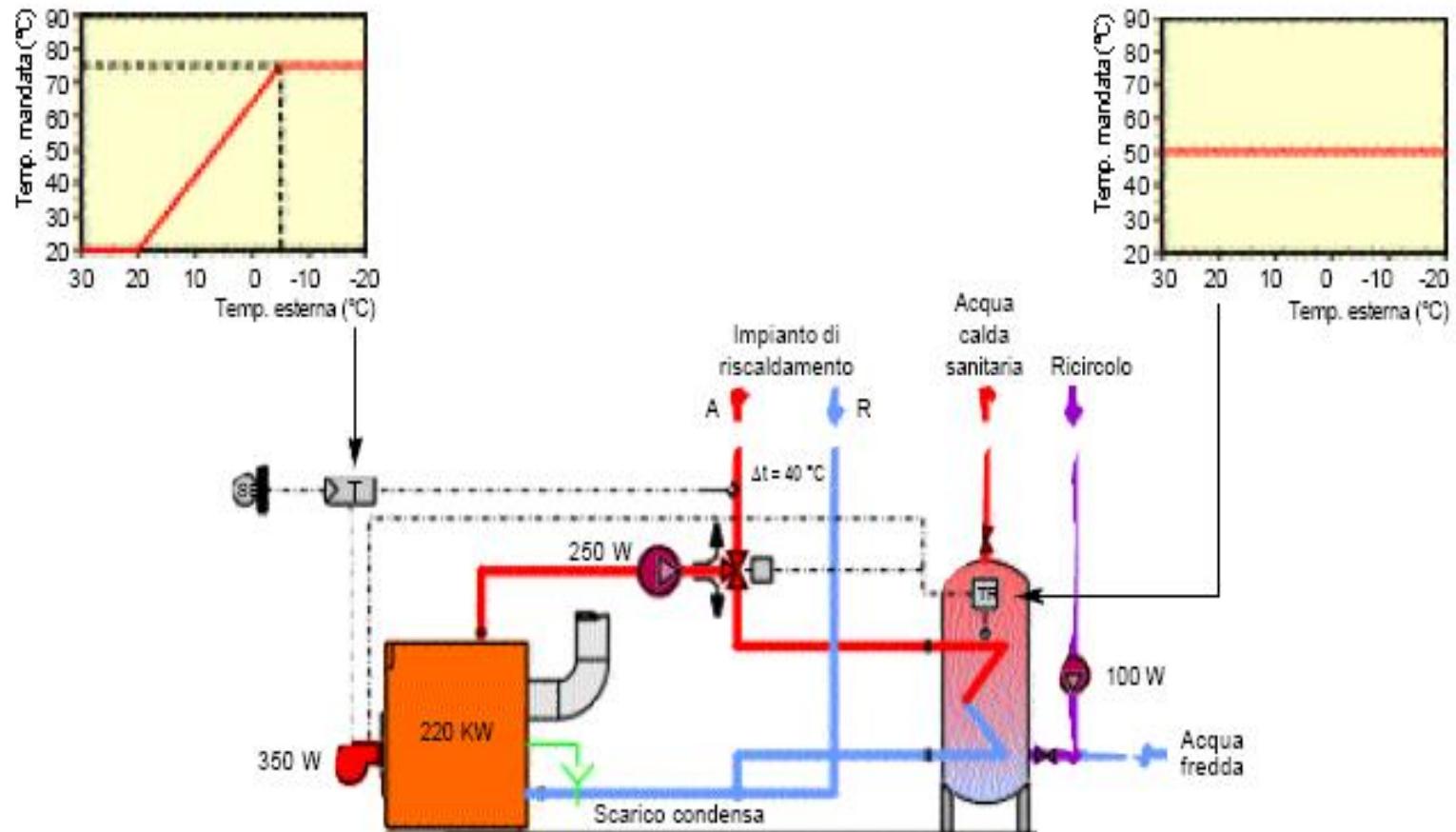
*N.B.: è necessario che lo scambiatore acqua-fumi sia specificamente progettato per evitare che la T superficiale lato fumi scenda troppo*

# CALDAIA A TEMPERATURA SCORREVOLE

I generatori a temperatura scorrevole sono caratterizzati:

- da una temperatura di mandata variabile, in funzione della richiesta del carico dell'impianto e quindi rapportata alle condizioni climatiche;
- da elevati valori del rendimento a carico parziale e dunque del rendimento medio stagionale;
- da una bassa temperatura di mandata a carico parziale, il che riduce anche le perdite di distribuzione ed emissione.

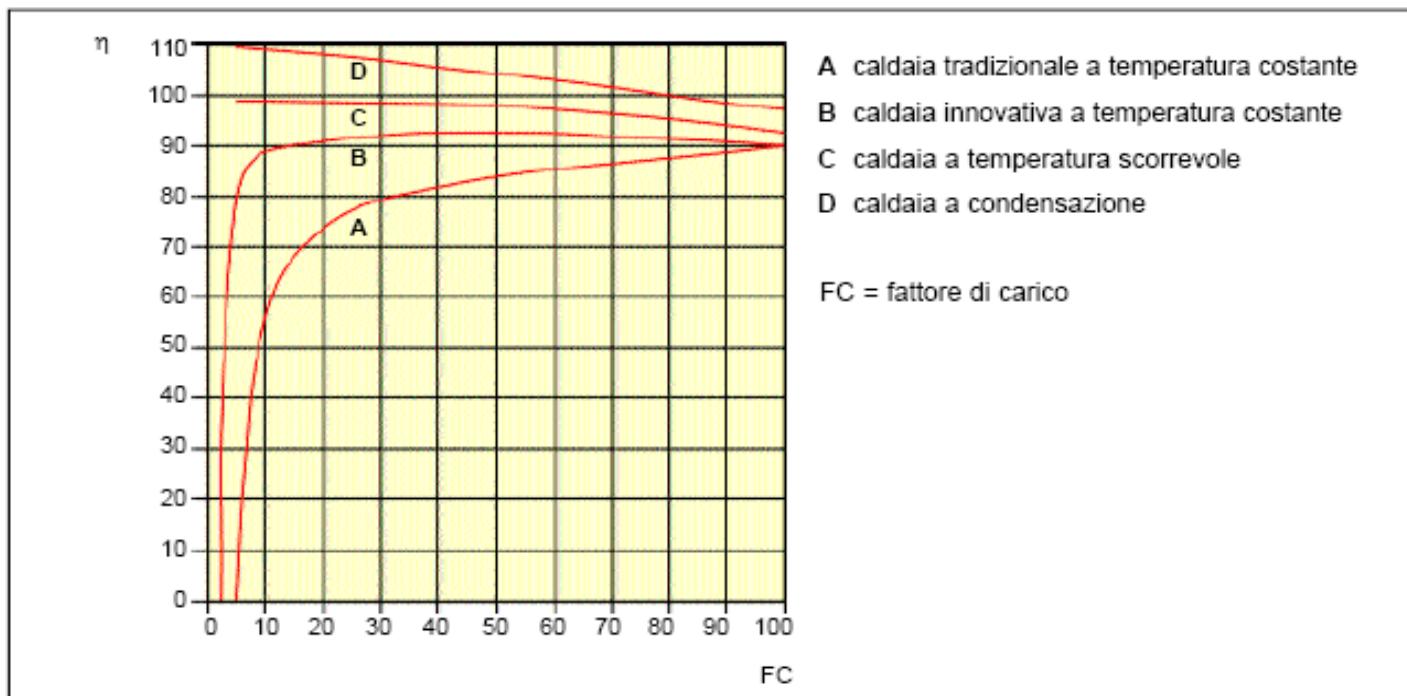
# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: caldaie a condensazione (descritte in slide precedenti)



## Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: confronto indicativo tra i rendimenti mediamente ottenibili con diversi tipi di caldaie in funzione del carico termico

Fattore di carico al focolare, FC: fissato un periodo temporale, si confrontano l'energia primaria realmente richiesta dal generatore,  $Q_c$ , e quella che sarebbe richiesta se il generatore funzionasse sempre al massimo carico ed in regime continuo  $Q_{cn}$

$$FC = \frac{Q_c}{Q_{cn}}$$



# Il miglioramento dell'efficienza delle caldaie: confronti

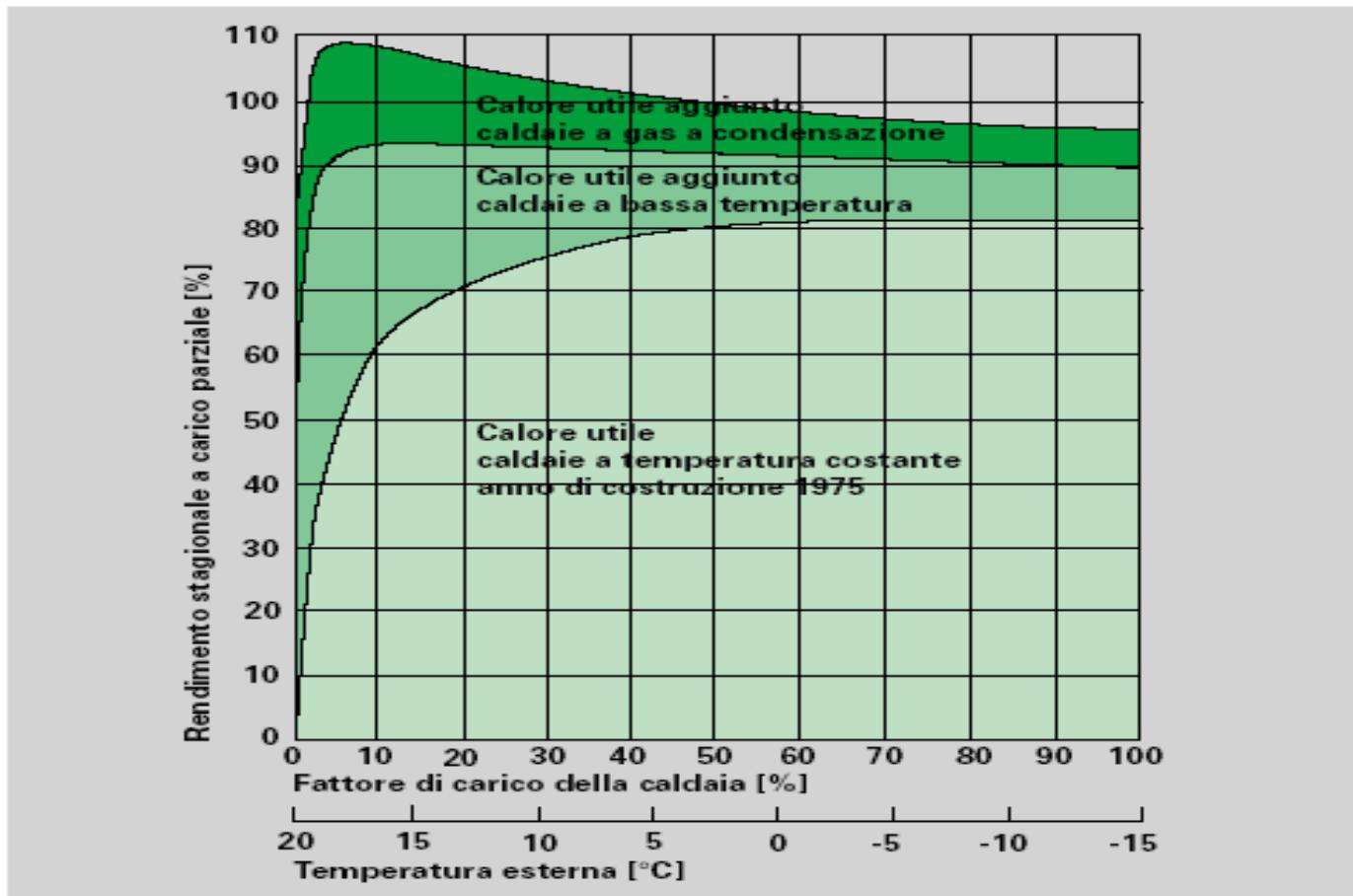


Figura 8: Rendimenti stagionali a carico parziale per diverse caldaie, in funzione del fattore di carico per caldaie a bassa temperatura e a condensazione

# Elenco riepilogativo delle principali tecniche per il miglioramento dell'efficienza nelle caldaie (1 di 2)

- ✓ Accensione piezoelettrica in sostituzione della fiamma pilota  
(riduzione consumo  $\approx 0,01 \text{ Sm}^3/\text{h}$ )
- ✓ Riduzione perdite per calore sensibile fumi:
  - tiraggio forzato (*T di uscita dei fumi < 100 - 120 °C, ma c'è il consumo del ventilatore: potenza di 100-200 W per caldaie domestiche*)
  - caldaie a bassa temperatura
  - caldaie a temperatura scorrevole
  - caldaie a condensazione
- ✓ Miglioramento della coibentazione dell'involucro ( $> 8 - 10 \text{ mm}$ )
- ✓ Riduzione perdite prelavaggio (ad es., impedire accensioni ravvicinate)
- ✓ Utilizzo di bruciatori con modulazione (a gradino o continua)
- ✓ Ottimizzazione dell'eccesso d'aria, (in genere, mediante premiscelazione aria-combustibile)

## Elenco riepilogativo delle principali tecniche per il miglioramento dell'efficienza nelle caldaie (2 di 2)

- ✓ Bruciatori ad alta efficienza
- ✓ Modulazione della portata di aria comburente (insieme a quella del combustibile) a carico parziale (inverter sul ventilatore, nel caso di tiraggio forzato, oppure serrande per l'aria, nel caso di tiraggio naturale)
- ✓ In mancanza di richiesta termica, nel caso di caldaia a tiraggio naturale, chiusura totale della serranda dell'aria, oppure, nel caso di tiraggio forzato, arresto del ventilatore (si evita di raffreddare involontariamente l'acqua presente nell'impianto, sfruttandone al meglio l'inerzia termica)
- ✓ Corretto dimensionamento, prevedendo eventualmente la ripartizione del carico su più caldaie (nel caso di caldaie convenzionali, senza modulazione)

# Caldaie ad alta efficienza: risparmio energetico

$$\Delta E_c = E_t \times (1/\eta_{t,\text{rif}} - 1/\eta_t)$$

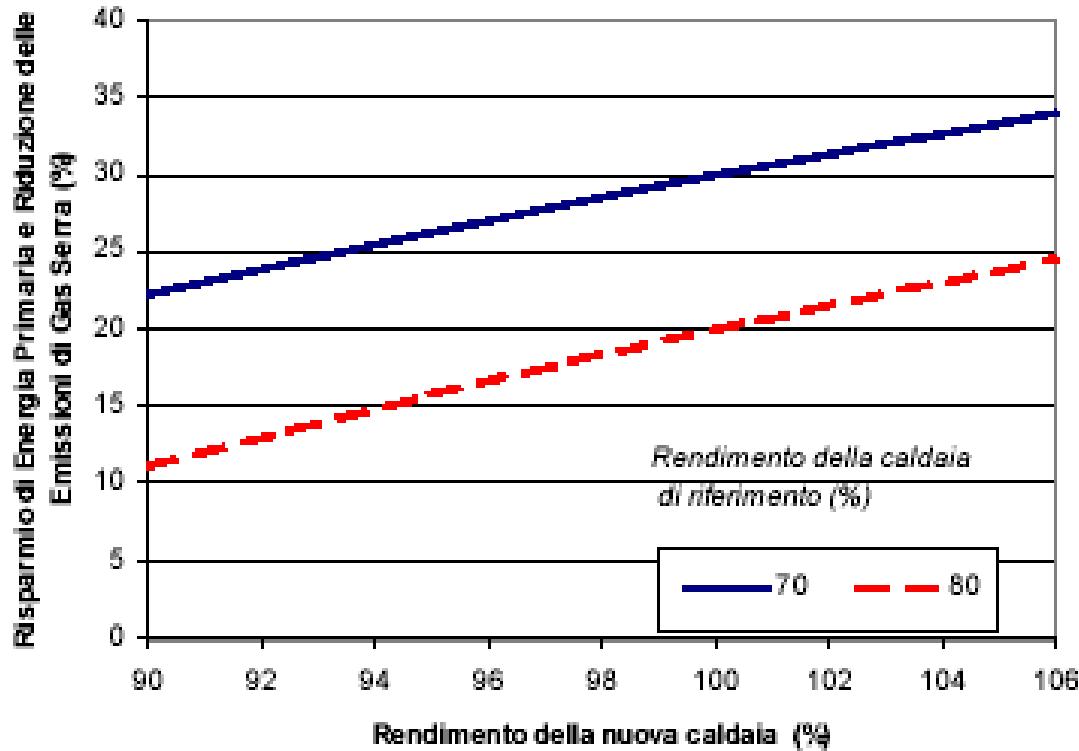
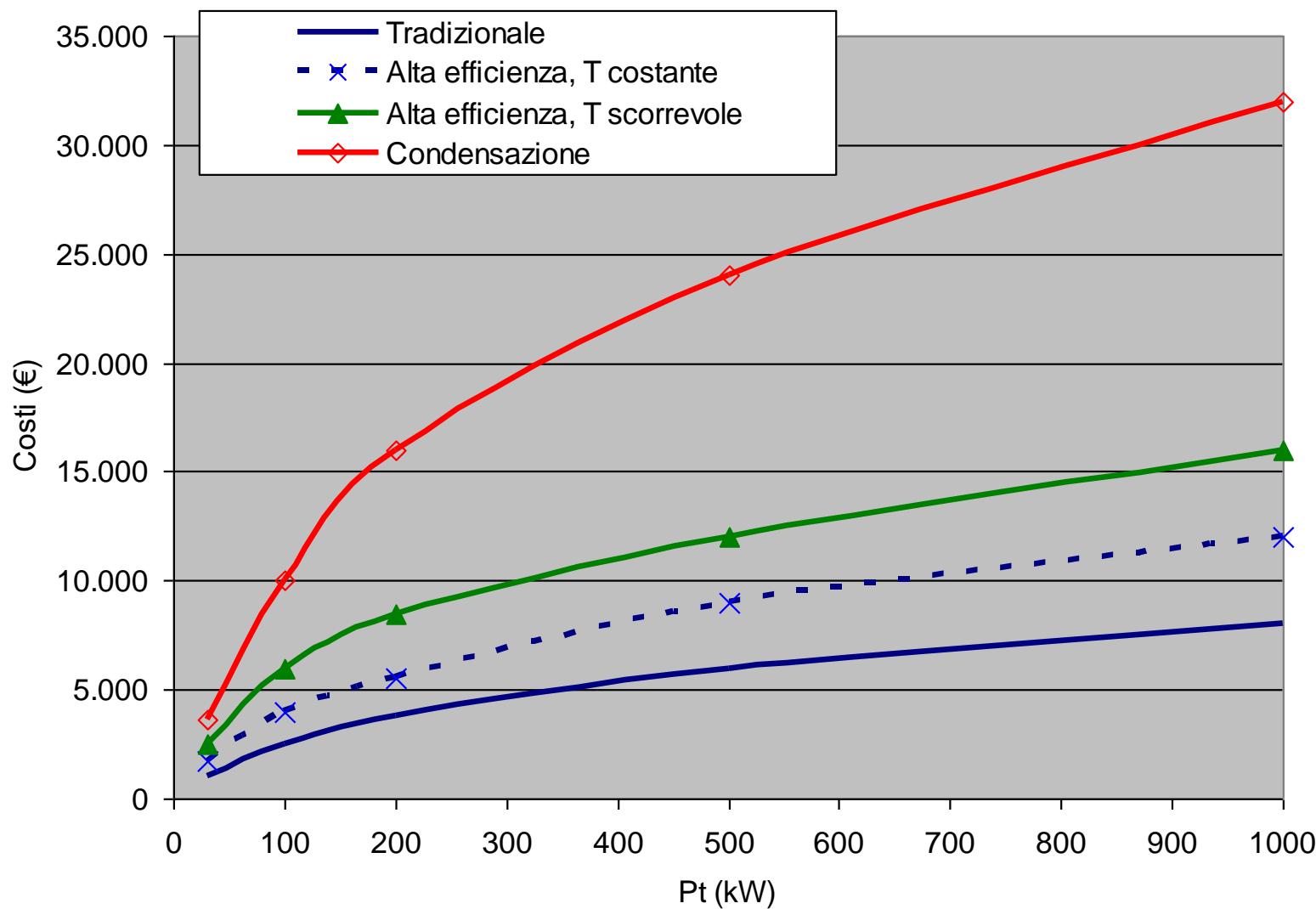
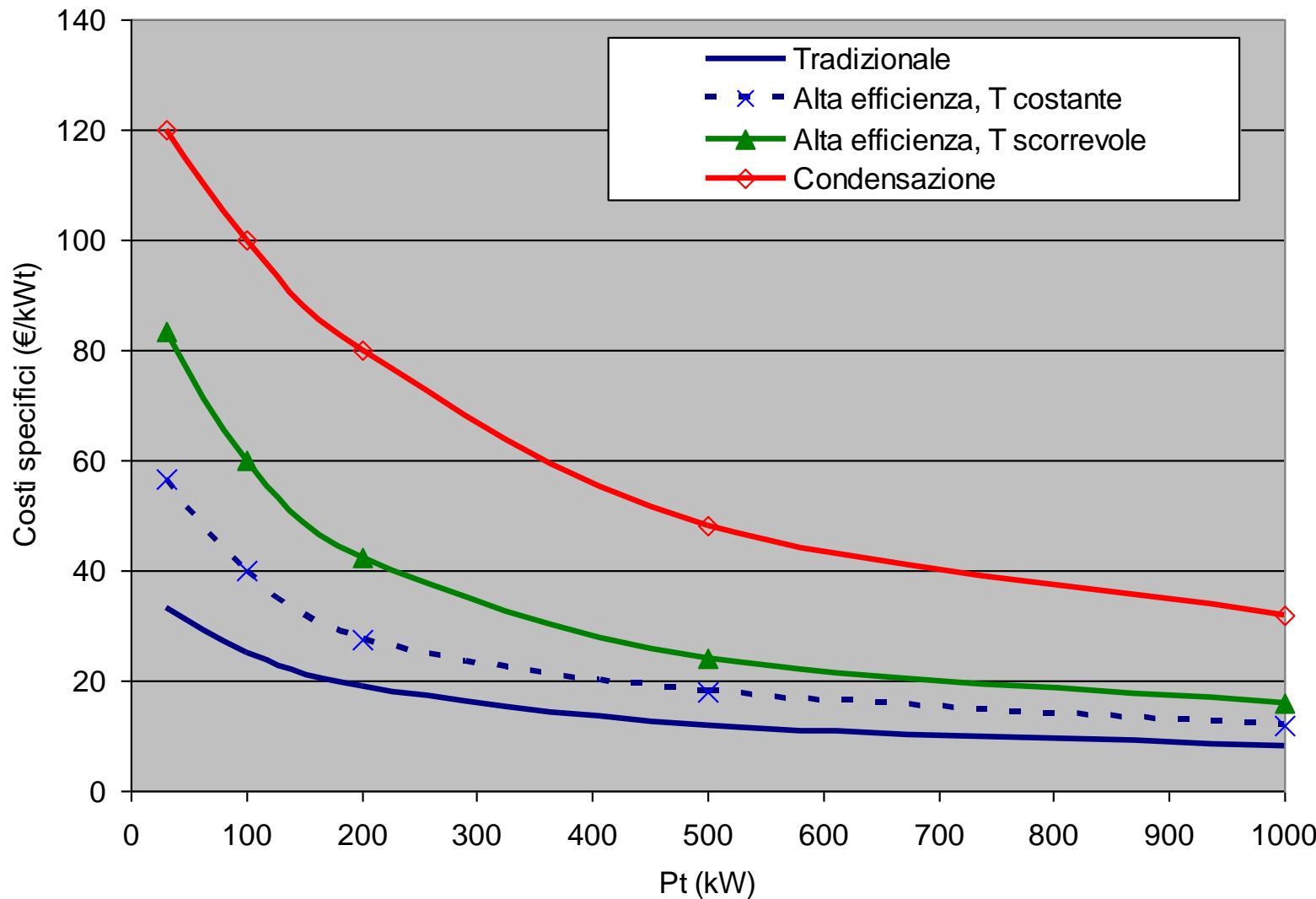


Fig. C.2. Risparmio di Energia Primaria (REP) e riduzione nelle emissioni di gas serra in funzione dei rendimenti.

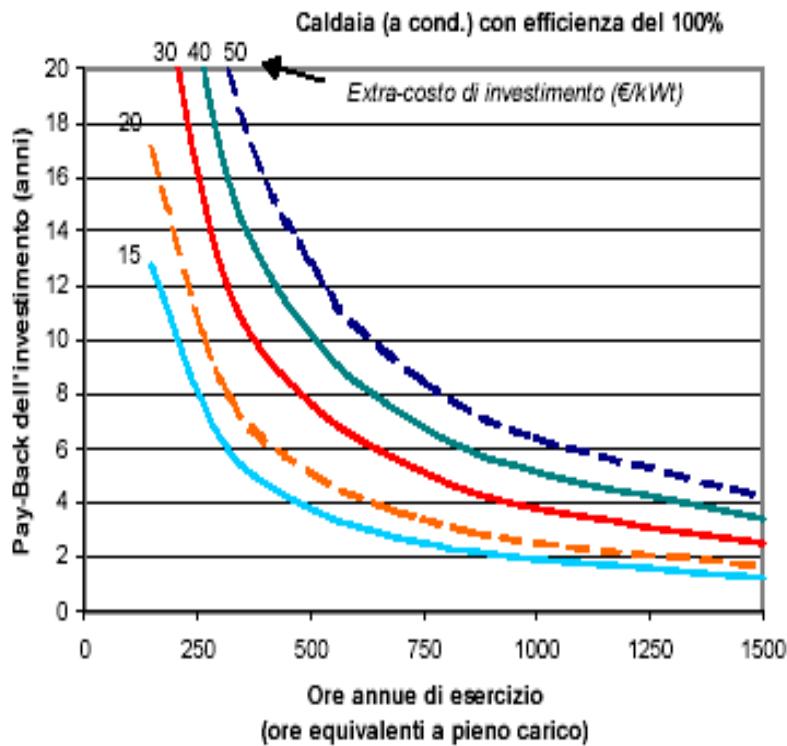
# Caldaie ad alta efficienza: costi di investimento



# Caldaie ad alta efficienza: costi di investimento

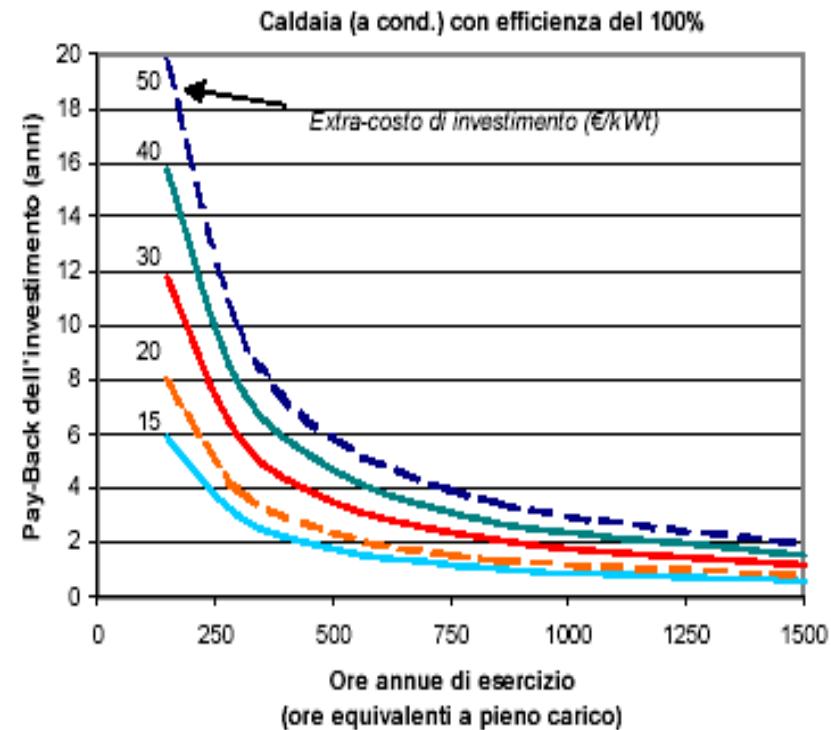


# Caldaie ad alta efficienza: recupero del capitale



Periodo di recupero del maggior capitale investito per caldaie ad alto rendimento e a condensazione nell'ipotesi di impianto nuovo o sostituzione "obbligata" (caso B).

Rendimento della caldaia di riferimento = 80%, costo gas = 30 €cent/Sm<sup>3</sup>.



Periodo di recupero del maggior capitale investito per caldaie ad alto rendimento e a condensazione nell'ipotesi di impianto nuovo o sostituzione "obbligata" (caso B).

Rendimento della caldaia di riferimento = 80%, costo gas = 65 €cent/Sm<sup>3</sup>.

# Classificazione energetica delle caldaie

## Direttiva 92/42

La direttiva europea 92/42 stabilisce i requisiti minimi di efficienza dei generatori di calore.

I generatori di calore sono caratterizzati dalla seguente classificazione energetica:

- Standard – efficienza minima - **caldaia a 1 stella (\*) o a due stelle (\*\*)**
- Bassa temperatura (a carico parziale) – efficienza media – **caldaie a tre stelle (\*\*\*)** – caldaie “a temperatura ”scorrevole”
- Condensazione – alta efficienza – **caldaie a 4 stelle (\*\*\*\*\*)**

# Classificazione energetica delle caldaie

Decreto del Presidente della Repubblica 15 novembre 1996, n. 660

*Regolamento per l'attuazione della Direttiva 92/42/CEE concernente i requisiti di rendimento delle nuove caldaie ad acqua calda, alimentate con combustibili liquidi o gassosi.*

## ALLEGATO II

### ATTRIBUZIONE DELLE MARCATURE DI RENDIMENTO ENERGETICO

Requisiti di rendimento da rispettare contemporaneamente alla potenza nominale e a carico parziale di 0,3 Pn

| Marcatura | Requisito di rendimento alla potenza nominale Pn e ad una temperatura media dell'acqua della caldaia di 70 °C<br>% | Requisito di rendimento a carico parziale di 0,3 Pn e ad una temperatura media della acqua della caldaia di $\geq 50$ °C<br>% |
|-----------|--|---|
| ★         | $\geq 84 + 2 \log Pn$  | $\geq 80 + 3 \log Pn$   |
| ★★        | $\geq 87 + 2 \log Pn$  | $\geq 83 + 3 \log Pn$   |
| ★★★       | $\geq 90 + 2 \log Pn$  | $\geq 86 + 3 \log Pn$   |
| ★★★★      | $\geq 93 + 2 \log Pn$  | $\geq 89 + 3 \log Pn$   |

# Corpi scaldanti

I corpi scaldanti più frequentemente utilizzati sono i seguenti:

- radiatori;
- piastre radianti;
- pannelli radianti;
- termoconvettori;
- mobiletti ventilconvettori (o ventilconvettori, o fan-coil);
- aerotermi.

# Corpi scaldanti

In generale, il dimensionamento di un corpo scaldante (valutazione della S) teoricamente si potrebbe effettuare mediante la relazione:

$$\dot{Q} = K S (T_{\text{media}} - T_a)$$

in cui:

- $\dot{Q}$  = potenza termica fornita dal corpo scaldante, anche detta resa termica, W;
- $K$  = coefficiente globale di scambio termico tra il fluido termovettore e l'ambiente,  $\text{W/m}^2\text{K}$ ;
- $S$  = area della superficie di scambio tra il fluido termovettore e l'ambiente,  $\text{m}^2$ ;
- $T_{\text{media}}$  = temperatura media del fluido termovettore, K;
- $T_a$  = temperatura dell'aria in ambiente, K.

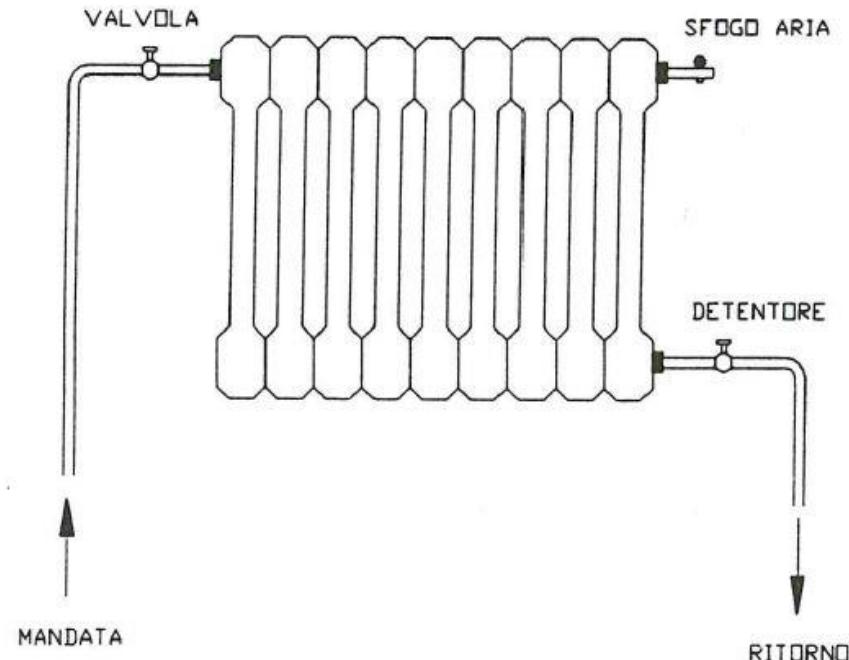
Stante la difficoltà di valutare il coefficiente di scambio  $K$ , le case costruttrici spesso preferiscono riportare direttamente per ogni modello e taglia di corpo scaldante la relativa resa termica.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Radiatori

I radiatori sono costituiti da **elementi** verticali uguali, tipicamente in ghisa, in lamiera d'acciaio o in lega di alluminio, che vengono assemblati tra loro, ed al cui interno scorre il fluido termovettore che, nella maggior parte dei casi, è acqua. Ciascun elemento può essere ad una o più colonne (ranghi), oppure può essere piano.

I radiatori sono collegati alle tubazioni di mandata e di ritorno mediante opportune **valvole di intercettazione**.



# **Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati**

## **Radiatori**

Le **prestazioni** dei radiatori dipendono da molteplici fattori, tra i quali:

- il posizionamento;
- i valori delle temperature di mandata e di ritorno dell'acqua (usuali: **75-80 °C in mandata; 65-70 °C sul ritorno**; “salto” usuale tra mandata e ritorno pari a **10 °C**)
- la scelta della vernice di finitura ed il tipo di pittura;
- la differenza tra la temperatura media dell'acqua all'interno del corpo scaldante e l'ambiente.

I **radiatori in ghisa** sono caratterizzati da una durata pressoché illimitata e da un'elevata inerzia termica.

I **radiatori in acciaio**, disponibili anche in modelli più gradevoli dal punto di vista estetico, sono soggetti al pericolo della corrosione, che potrebbe limitarne la durata.

I **radiatori in alluminio**, benché il loro impiego sia relativamente recente, sembrano avere non solo una buona resistenza alla corrosione, ma anche elevate rese termiche; caratteristiche intermedie.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Radiatori

Scambio termico: irraggiamento (prevalente); anche convezione naturale

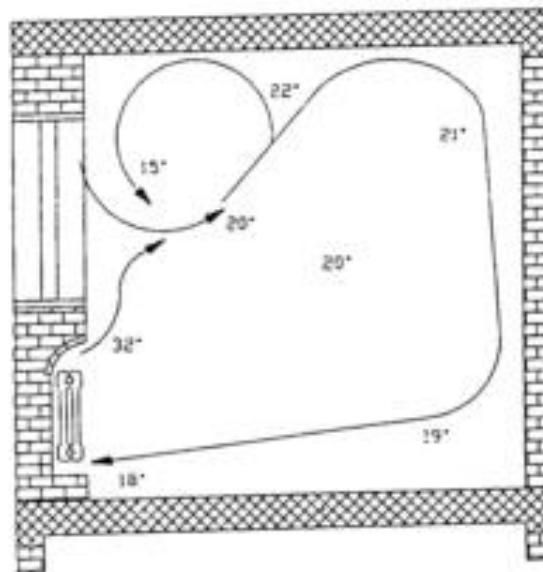
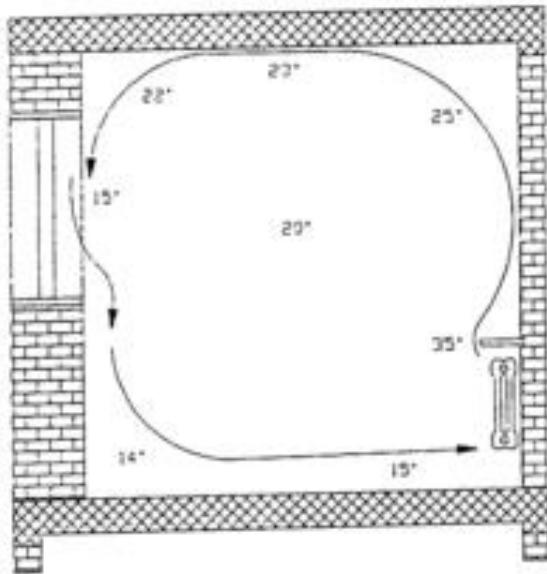
### Posizionamento:

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

- geometria del locale (planimetria ed altezza);
- esigenze architettoniche e di arredo;
- fabbricato nuovo o esistente.

# Posizione corretta dei radiatori (ma ciò vale anche per fan-coil etc.)

- E' buona norma collocare i radiatori sotto le finestre o lungo le pareti perimetrali per contrastare l'effetto delle correnti fredde e per ridurre al massimo la differenza di temperatura tra il soffitto ed il pavimento
- Nelle installazioni in edifici già esistenti può risultare necessario posizionare i radiatori lungo le pareti interne.



# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Radiatori

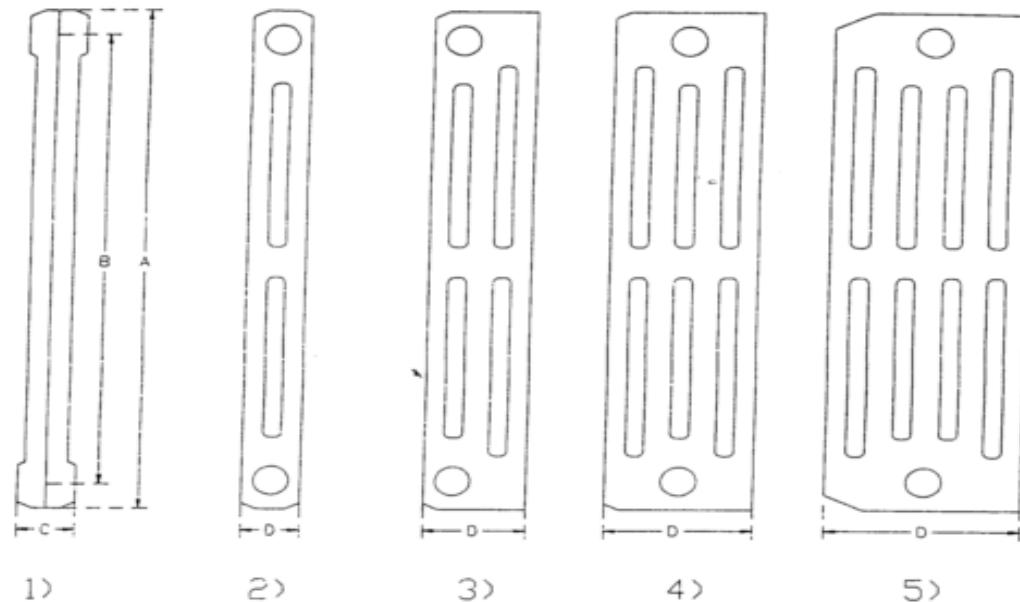
*Caratteristiche tecniche di un modello di radiatore a ranghi*

| Tipo  | Dimensioni |        |        |        | Filettatura<br>giunzioni | q <sub>n</sub><br>(W) | q (ΔT=50 °C)<br>(W) | n    | c<br>(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     |

# Radiatori

nominale  $q_n$ , riportata anch'essa in tabella, rappresenta la potenza termica fornita dall'elemento di radiatore quando risulta  $\Delta T = 60^\circ\text{C}$  (UNI 6514), con

$$\Delta T = T_{\text{media}} - T_{\text{ambiente}} = (T_{m,\text{acqua}} + T_{r,\text{acqua}})/2 - T_{\text{ambiente}} \quad (4.7)$$



- 1) VISTA FRONTALE
- 2) VISTA LATERALE DI RADIATORE A DUE RANGHI
- 3) VISTA LATERALE DI RADIATORE A TRE RANGHI
- 4) VISTA LATERALE DI RADIATORE A QUATTRO RANGHI
- 5) VISTA LATERALE DI RADIATORE A CINQUE RANGHI

Se  $\Delta T \neq 60$  °C, la potenza termica  $q(\Delta T)$  fornita da ciascun elemento di radiatore si può ricavare dalla seguente relazione:

$$q(\Delta T) = q_n \cdot (\Delta T / 60)^n$$

con l'esponente n riportato in tabella.

Alcune case costruttrici riportano direttamente i fattori di correzione di  $q_n$  al variare del  $\Delta T$ , come riportato ad esempio nella seguente tab.4.4.

Tab. 4.4: Fattori di correzione della resa termica di un modello di radiatore al variare del  $\Delta T$

| 40 °C | 45 °C | 50 °C | 55 °C | 60 °C | 65 °C | 70 °C | 75 °C | 80 °C |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,57  | 0,67  | 0,78  | 0,88  | 1,00  | 1,10  | 1,22  | 1,33  | 1,45  |

# Radiatori

## Dimensionamento

Come per le altre tipologie di corpi scaldanti, per effettuare il dimensionamento del radiatore è necessario innanzitutto conoscere il carico termico  $Q$  del locale in cui è installato. Infatti, ricavando 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.

A titolo di esempio si fa riferimento alla tab.4.3, in cui sono riportati i dati tecnici, per ciascun elemento di radiatore del tipo a ranghi (fig.4-7), forniti da una casa costruttrice.

# Radiatori

## Esempio n. 4/1: Dimensionamento di un radiatore a ranghi

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  $\Delta T = 60^{\circ}\text{C}$ , dalla tab.4.3 si ricava la potenza termica fornita da ciascun elemento  $q_a = 148 \text{ W}$ , per cui:

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

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

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

In generale, per  $N$  maggiore di 15 ÷ 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.

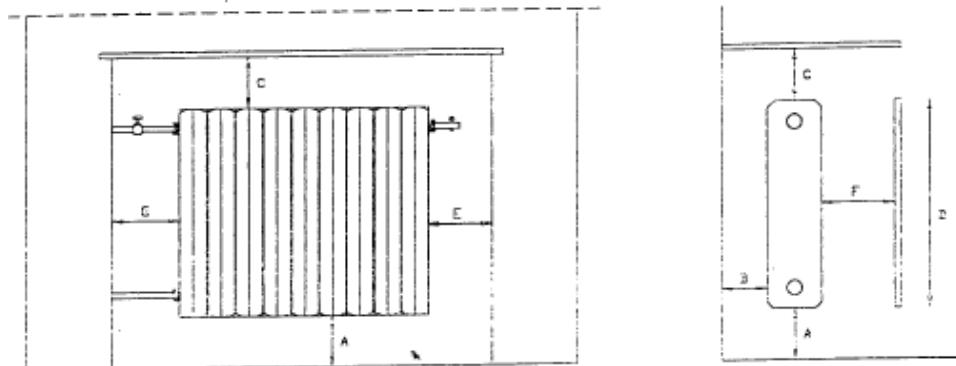
# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Piastre radianti

- Le principali caratteristiche coincidono con quelle dei radiatori. A differenza di questi, le piastre radianti non sono costituite da elementi modulari, ma da un unico blocco, in genere in acciaio o talvolta in ghisa. Rispetto ai radiatori sono inoltre caratterizzate da un minore ingombro e da un minor contenuto d'acqua a parità di superficie radiante.
- Sono adatte per impieghi quali scuole, palestre, ospedali, ed in tutti gli ambienti che richiedono la massima pulizia con un limitato ingombro.
- La resa termica è più contenuta, sempre rispetto ai radiatori, soprattutto per basse temperature dell'acqua; in compenso sono caratterizzate da costi limitati.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Piastre radianti



### PIASTRE RADIANTI:

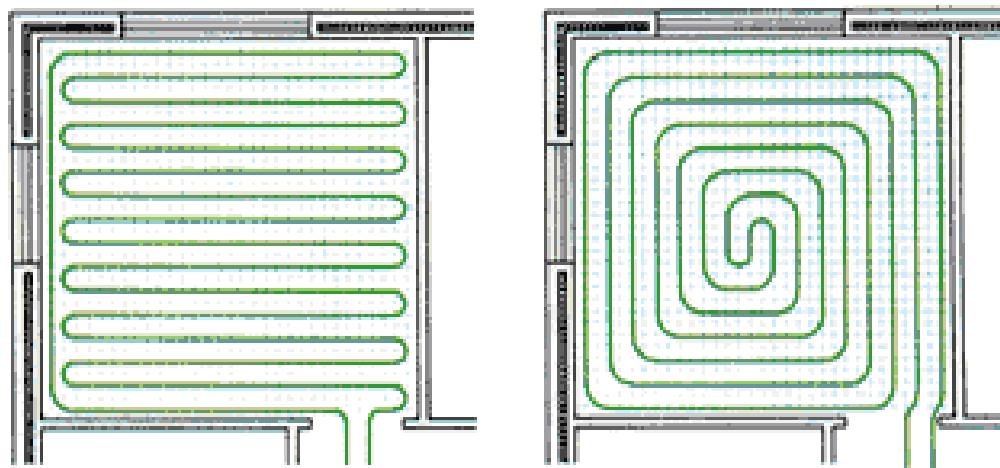
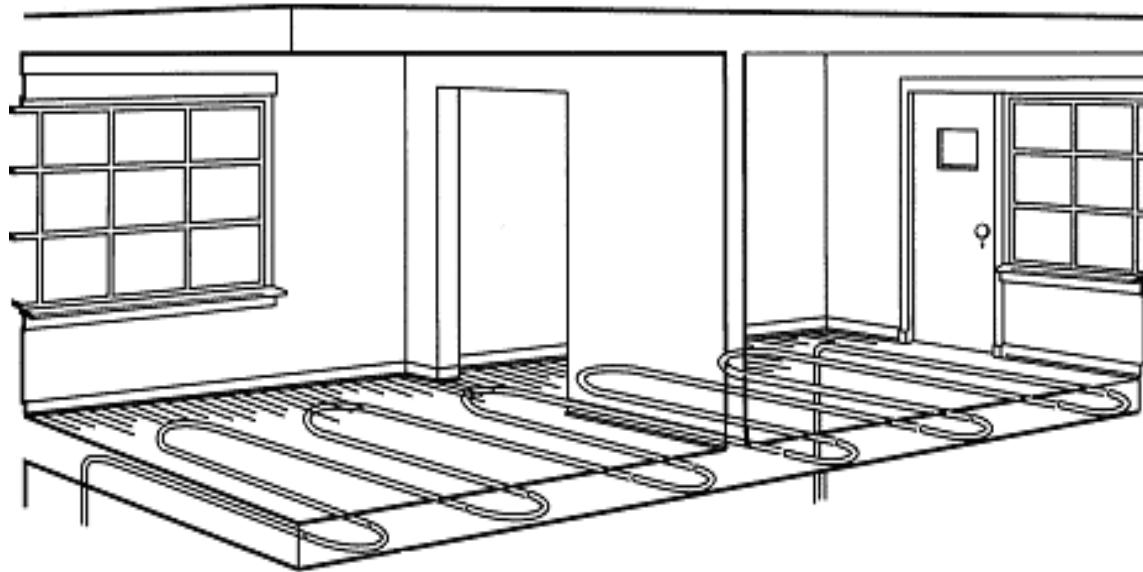
- A: 70mm
- B: 40-50mm
- C: 50mm
- D: = A. L'ETTEZA PIASTRA
- E: SENZA ATTACCHI TUBAZIONI 60mm  
CON ATTACCHI TUBAZIONI 150mm
- F: CONSIGLIATO 10-40mm
- G: 200mm

Fig. 4-8: DISTANZE CONSIGLIATE PER UNA CORRETTA  
INSTALLAZIONE DELLE PIASTRE RADIANTI

# Pannelli radianti

- I pannelli radianti sono corpi scaldanti di elevata superficie di scambio, costituiti da ampie superfici del soffitto, del pavimento o, più raramente, delle pareti laterali di un ambiente, che vengono opportunamente scaldate mediante serpentine di tubi di diametro da 1/2" ad 1" in cui viene fatto circolare il fluido termovettore (acqua).
- Il riscaldamento mediante pannelli radianti avviene prevalentemente mediante scambio termico per irraggiamento ed in parte per convezione. Lo scambio convettivo è favorito nel caso di pannelli a pavimento.
- Mediante tale sistema si ha un incremento della temperatura media radiante, per cui per garantire le condizioni di benessere la temperatura dell'aria può essere ridotta di 1÷2 °C rispetto agli altri casi (risparmio energetico).
- Altro vantaggio: non si vedono, a differenza degli altri corpi scaldanti.

# Pannelli radianti



# Pannelli radianti

I materiali utilizzati per le serpentine sono l'acciaio, il rame e più frequentemente i **materiali plastici** (polipropilene, polietilene e polietilene reticolato); con questi ultimi possono essere realizzati dei **tubi sintetici flessibili** caratterizzati da elevata resistenza alla corrosione e all'invecchiamento.

L'impiego di pannelli radiantì è particolarmente consigliato in **ambienti di grande ampiezza ed altezza** (capannoni industriali, chiese, ecc.): nel caso di grande altezza e nei climi freddi è consigliabile l'installazione a pavimento.

La **resa termica** di tali unità terminali dipende da:

- temperatura di ingresso dell'acqua;
- temperatura di uscita dell'acqua;
- temperatura dell'aria;
- diametro e natura dei tubi;
- spessore e conduttività termica degli strati posizionati tra i tubi ed il locale da riscaldare.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Pannelli radianti

Nella maggior parte dei casi la temperatura di ingresso dell'acqua è di circa 40 °C, affinché la temperatura superficiale interna massima del pavimento o soffitto o parete non superi i seguenti valori (altrimenti: discomfort termico locale):

***25 ÷ 28 °C per pannelli a pavimento;***

***30 ÷ 35 °C per pannelli a soffitto;***

***26 ÷ 30 °C per pannelli a parete.***

# Pannelli radianti

- L'esigenza di disporre di acqua a livelli termici medio bassi rende questi sistemi adatti ad essere accoppiati alle **caldaie a condensazione** o anche a fonti energetiche alternative, come **pompe di calore e impianti solari termici**;
- Come effetto negativo della bassa T dell'acqua, la potenza termica scambiata è ridotta e può risultare necessaria la presenza di **sistemi integrativi**.
- Mediante il sistema di pannelli a pavimento la **distribuzione di temperatura** all'interno dell'ambiente risulta più uniforme rispetto ad altri sistemi;
- In ogni caso l'impiego dei pannelli radianti è particolarmente indicato in presenza di **clima esterno poco variabile** e di **edifici dotati di elevata inerzia termica**.

# **Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati**

## **Pannelli radianti**

Quando il fluido termovettore è fornito da un sistema tradizionale e la sua temperatura è regolata da valvole miscelatrici, è consigliabile prevedere un termostato di sicurezza che arresti la circolazione del fluido in caso di temperature troppo elevate dovute a cattivo funzionamento.

E' necessario, al di sotto (nel caso di pannelli a pavimento) o al di sopra (nel caso di pannelli a soffitto) dello strato destinato ad alloggiare i tubi, un opportuno strato di **materiale coibente**, in modo da limitare le dispersioni termiche verso gli ambienti confinanti e ridurre l'inerzia termica del sistema.

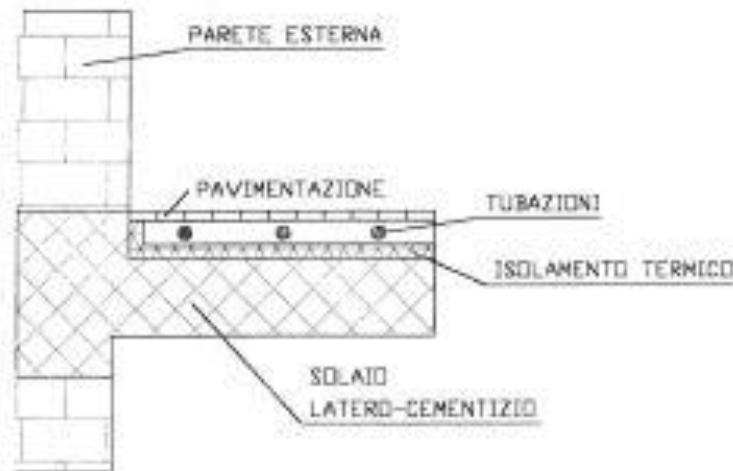
**Uso estivo parziale e non ottimale:** problemi di condensa (si consiglia deumidificatore); “raffrescamento a pavimento”.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Pannelli radianti



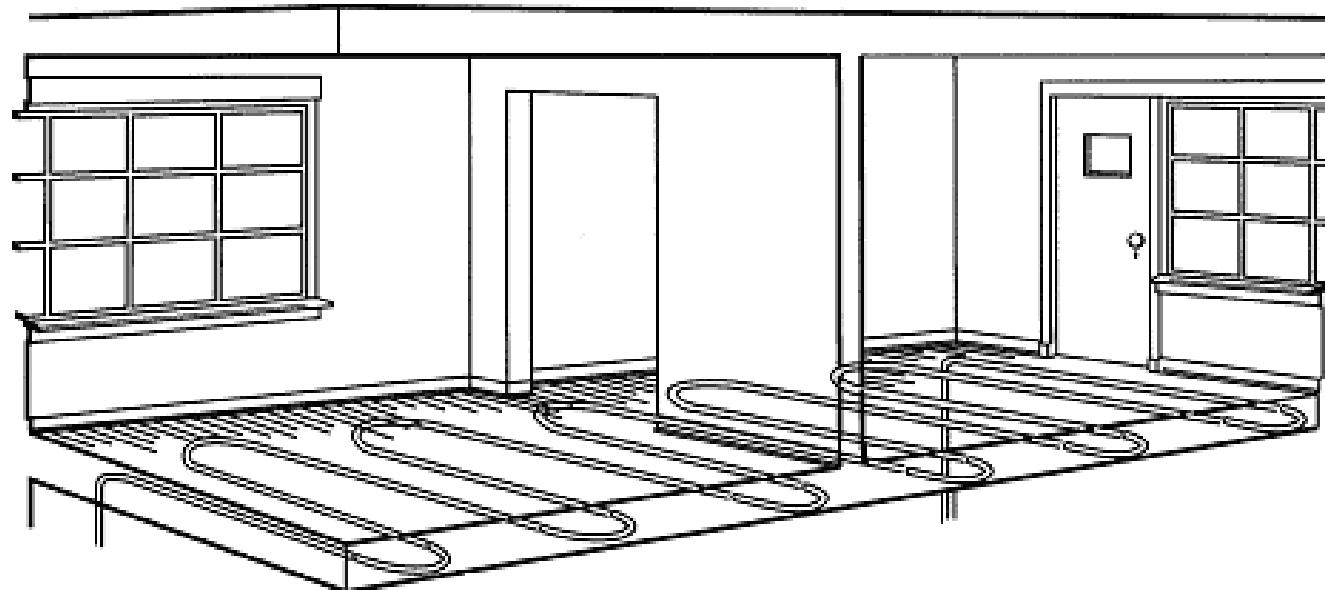
a) pannello radiante a soffitto



b) pannello radiante a pavimento

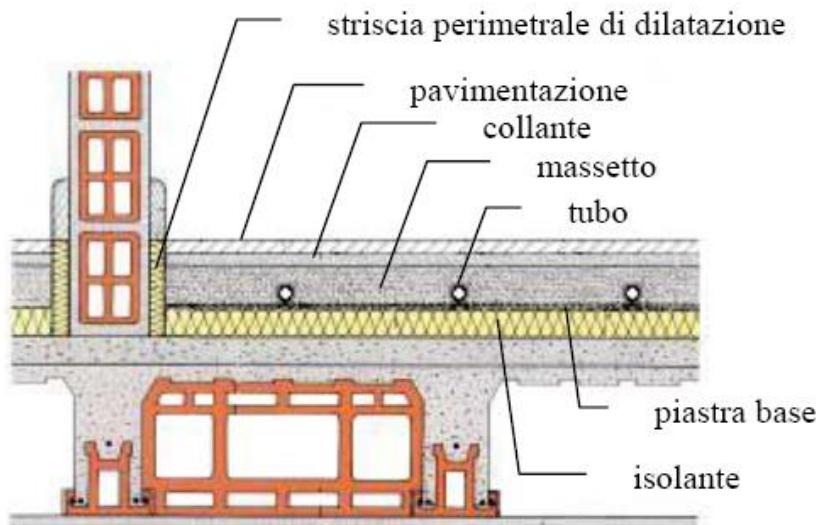
# Terminali idronici: pannelli radianti

- Le tipologie di pannelli più comuni sono: a soffitto o a parete (appesi o annegati), oppure annegati nel massetto del pavimento.
- Nel caso d'installazione a soffitto o a parete, il serpantino nel quale scorre l'acqua può essere inglobato in un cassonetto del tipo a controsoffitto o controparete continua. Rispetto ai pannelli annegati, gli interventi di manutenzione risultano in questo caso più semplici ed economici.



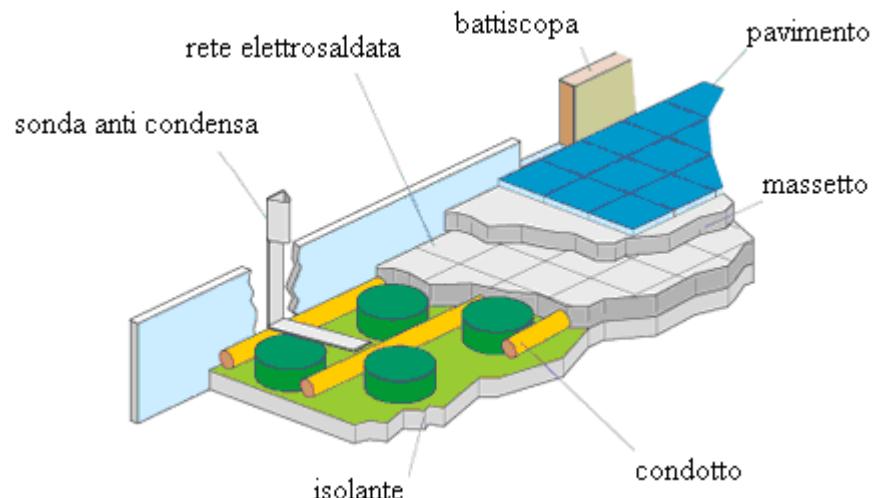
# Terminali idronici: pannelli radianti

- ▶ Poggiati al di sopra della struttura del solaio su opportuni elementi di fissaggio.
- ▶ I pannelli annegati sono per loro natura dotati di elevata inerzia termica. Per limitarne l'entità, i moderni impianti vengono a volte realizzati con la tecnica del pavimento flottante.



# Terminali idronici: pannelli radianti – regolazione

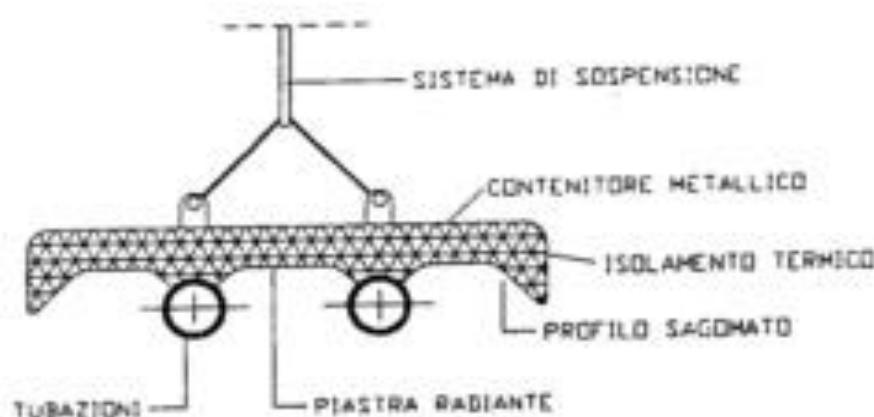
- Il moto del fluido è attivato da elettropompe: al fine di evitare prevalenze eccessive, si suddivide l'impianto in porzioni uguali (in parallelo) non superiori a  $20\text{ m}^2$
- La regolazione della T in ambiente può essere effettuata attraverso una centralina (più valvola a tre vie miscelatrice) che modula la temperatura di mandata secondo la necessità. Inoltre, il sistema di regolazione deve provvedere d'inverno a non far superare il limite massimo di temperatura superficiale consentito, e d'estate, attraverso una sonda di temperatura di rugiada in ambiente, ad impedire la condensa sui pannelli.
- È anche possibile inserire una **valvola a due vie modulante** (spesso vicino al collettore complanare che serve i vari pannelli radianti – valvola micrometrica) per la regolazione della T in ogni singolo locale.



# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

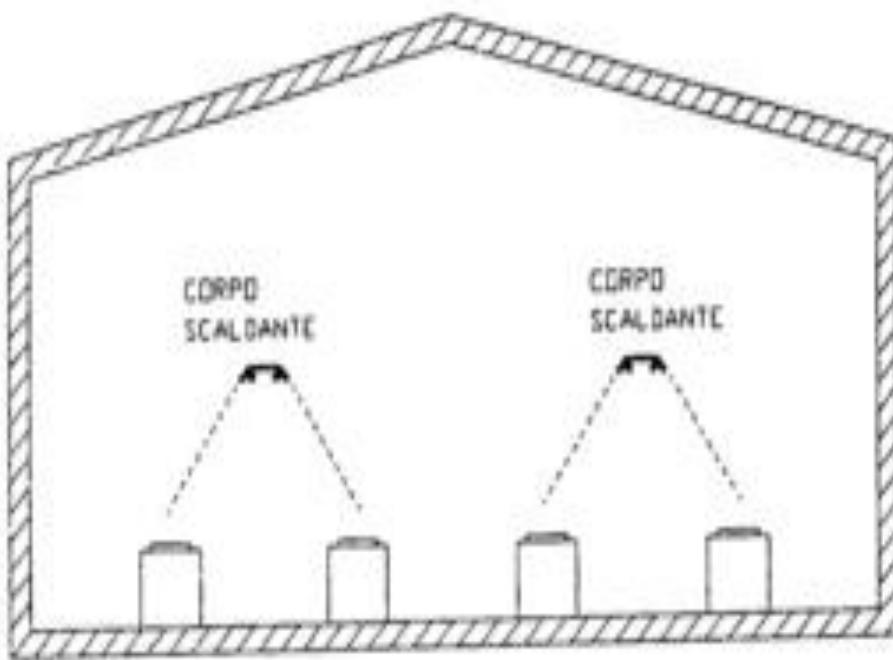
## Strisce radianti

Le strisce radianti sono realizzate mediante una piastra sagomata di materiale ad elevata conduttività termica, in genere acciaio o alluminio, dello spessore di 1÷1.5 mm, che supporta le tubazioni in cui scorre il fluido termovettore.



a) sezione trasversale del corpo scaldante

# Strisce radianti



b) posizionamento: disegno in sezione di un locale in cui sono installate strisce radianti

## Strisce radianti

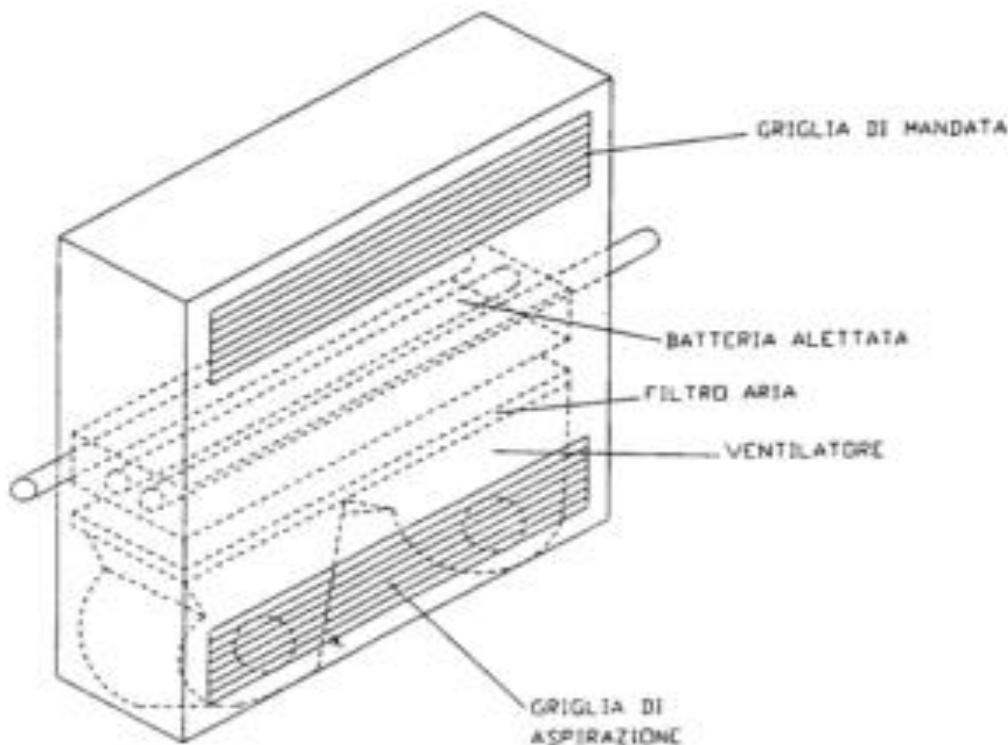
- Un particolare tipo di sistema appartenente alla famiglia dei pannelli radianti è quello delle **strisce radianti**, simili ai pannelli, ma di estensione più limitata, in genere sospese a soffitto, in cui il fluido termovettore (solitamente vapore d'acqua o oli diatermici) è introdotto ad **alte temperature (fino a 200 °C)**, in modo da consentire scambi termici più efficaci.
- Questo sistema, caratterizzato da **inerzia termica molto bassa**, è particolarmente indicato per **locali di grandi dimensioni in cui l'aspetto estetico non sia fondamentale**, quali officine, capannoni industriali, ed anche palestre, piscine, saloni, ecc.

# Ventilconvettori

- I ventilconvettori sono anche detti **fan-coil**, dall'inglese *fan* (ventilatore) e *coil* (batteria);
- sono simili ai termoconvettori, in quanto sono costituiti da un mobiletto con due aperture per il passaggio dell'aria, contenente una batteria alettata ed un filtro, ma differiscono da essi per la presenza di un **ventilatore** dotato di regolatore di velocità a comando manuale (la selezione di una delle **tre velocità** – minima, media e massima – si effettua generalmente manualmente, mentre un'eventuale regolazione automatica sul ventilatore è del tipo on-off).
- Rispetto ai corpi scaldanti tradizionali, le dimensioni di questi apparecchi sono molto ridotte, a parità di potenza termica fornita all'ambiente.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

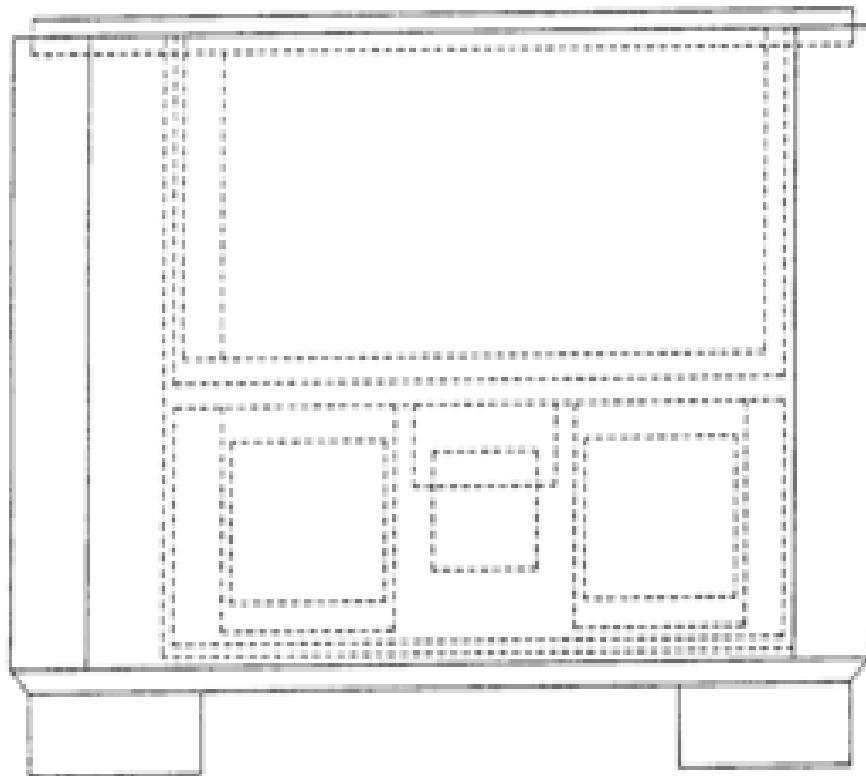
## Ventilconvettori



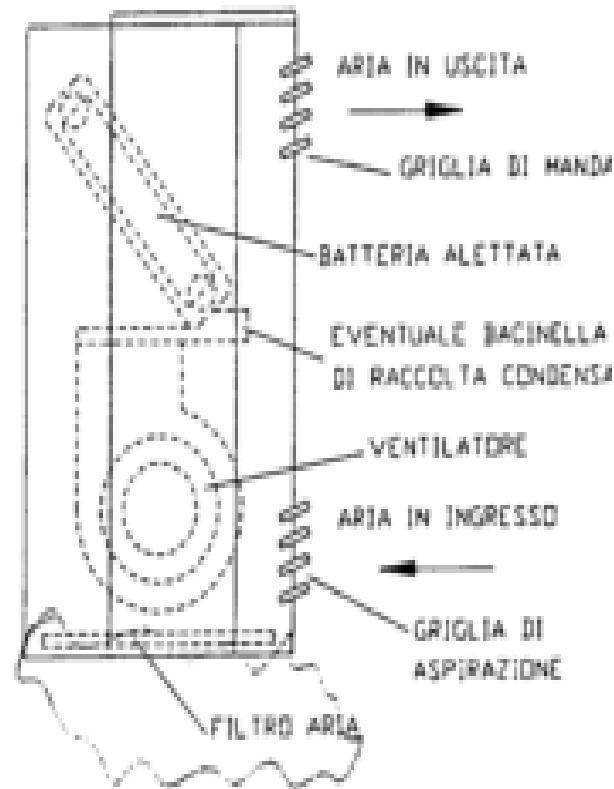
a) assonometria

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Ventilconvettori



b) vista frontale



c) vista laterale

# Ventilconvettori

- In sostanza un ventilconvettore è costituito da:
  - batteria o batterie di scambio termico (serpento di tubazioni);
  - filtro sull'aria;
  - ventilatore centrifugo o tangenziale;
  - bacinella (vaschetta) di raccolta condensa (solo nel caso di funzionamento anche in regime di raffrescamento);
  - custodia dell'apparato (mobiletto metallico).
- Lo scambio termico avviene per **convezione forzata**
- I ventilconvettori sono impiegati soprattutto negli impianti di climatizzazione sia estiva che invernale (per evitare il doppio impianto - es. radiatori + split system), in quanto possono **non solo riscaldare l'aria, ma anche raffreddarla** e talvolta deumidificiarla (per cui è necessaria una bacinella di raccolta dell'acqua condensata).
- La loro installazione è consigliata in ambienti in cui è necessario il **controllo automatico e per singolo locale della temperatura**, al variare del carico termico.

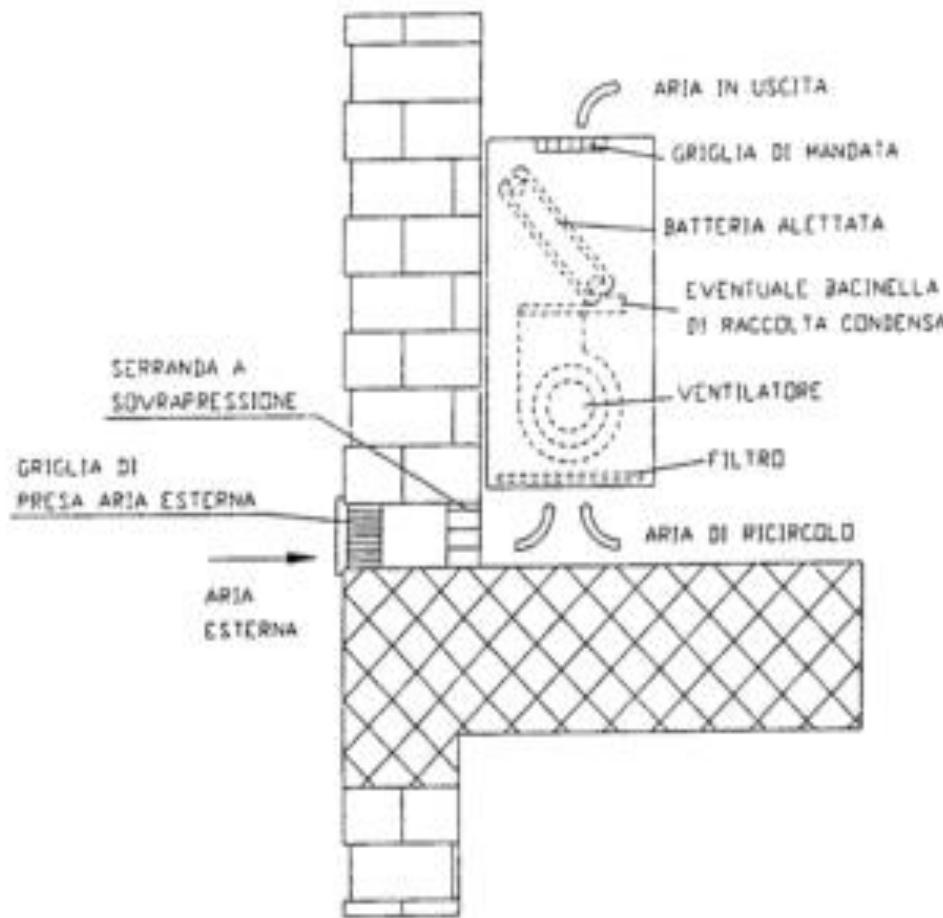
# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Ventilconvettori

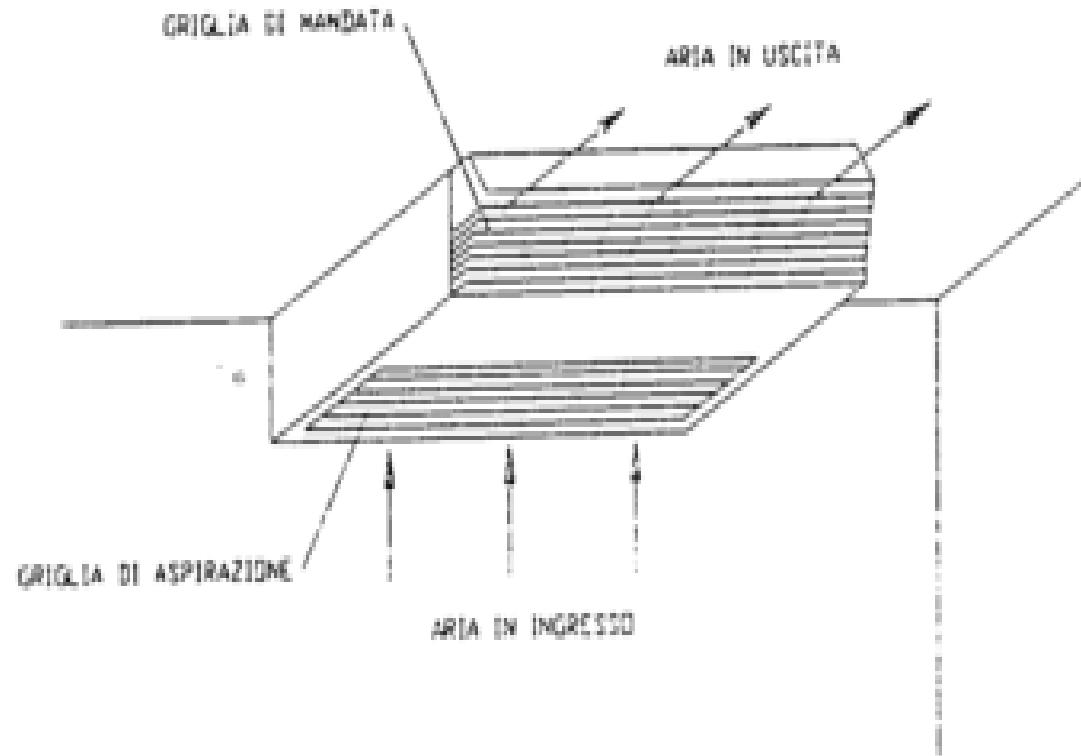
- Temperatura acqua di alimentazione in inverno (valori usuali mandata-ritorno): **50 °C – 45 °C**; salto usuale 5 °C.
- Nella scelta degli apparecchi occorre porre particolare attenzione al livello di rumorosità prodotto dai ventilatori: per contenere tale rumorosità sono particolarmente adatti i ventilconvettori dotati di ventilatore tangenziale.
- In genere ai ventilconvettori è associato un sistema di ventilazione meccanica che consenta il ricambio dell'aria (impianto ad aria primaria). Se tale ricambio è necessario ma non è possibile installare un impianto di aria primaria, si possono talvolta utilizzare, come alternativa di minor pregio, ventilconvettori dotati di presa di aria esterna.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Ventilconvettore con presa di aria esterna

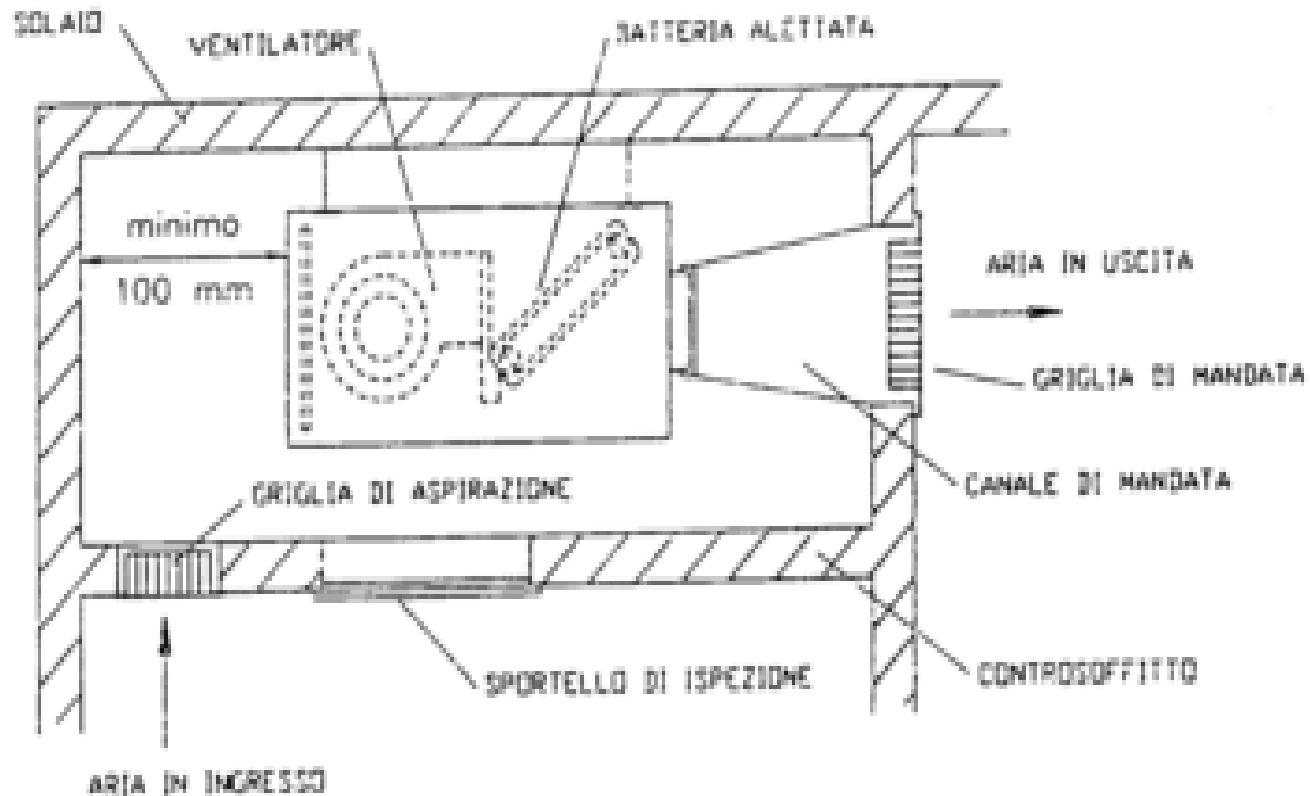


# Ventilconvettori



a) installazione a soffitto

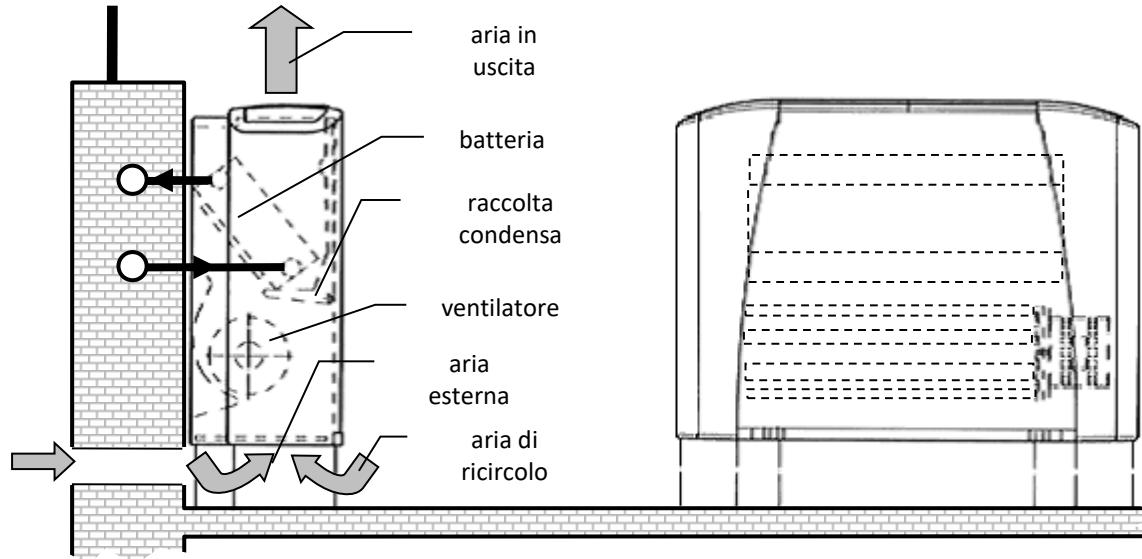
# Ventilconvettori



b) installazione in controsoffitto

# Terminali idronici: Ventilconvettori

- ▶ I moderni ventilconvettori possono essere a due o quattro tubi, a pavimento o a soffitto
- ▶ Presentano rese elevate
- ▶ Possono essere utilizzati accessori quali: termostato ambiente, valvole di regolazione modulanti a due o a tre vie



# Terminali idronici: Ventilconvettori

- ▶ È anche possibile prevedere un collegamento aeraulico per l'aria esterna (20–30 % del totale), come nella diapositiva precedente
- ▶ Possono anche essere installati sul canale di immissione dell'aria primaria proveniente dall'UTA
- ▶ Sono alimentati con acqua refrigerata (7–12 °C o 10–15 °C) in estate ed acqua calda in inverno (45–40 °C o 50–45 °C)

## Vantaggi

- ▶ Basso Costo
- ▶ Ingombro ridotto
- ▶ Adattabilità
- ▶ Funzionamento invernale con basse temperature dell'acqua
- ▶ Capacità di regolare la temperatura localmente
- ▶ Possibilità di escludere dal funzionamento una o più unità

## Svantaggi

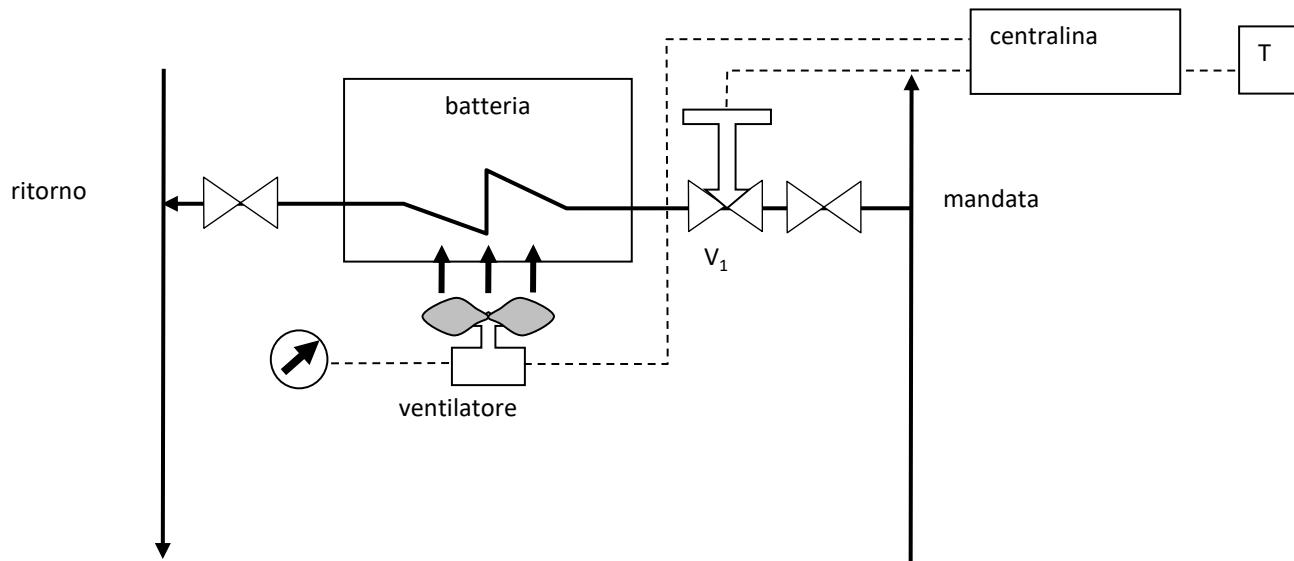
- ▶ Rumorosità
- ▶ Manutenzione periodica filtri
- ▶ Movimento aria in ambiente
- ▶ Scarso controllo dell'umidità ambiente sia in estate che in inverno

## Terminali idronici: Ventilconvettori – regolazione

- ▶ La commutazione estate-inverno può essere manuale o automatica
- ▶ La regolazione della temperatura ambiente si realizza in diversi modi:
  - variando la velocità del ventilatore, sia manualmente che attraverso un termostato ambiente;
  - variando la portata di acqua in ingresso alla batteria mediante una valvola a due vie posta a monte della stessa e comandata da un termostato ambiente;
  - variando la portata di acqua in ingresso alla batteria mediante una valvola a tre vie posta a valle della stessa e comandata da un termostato ambiente.
- ▶ Durante il regime estivo, la temperatura dell'acqua refrigerata nei vari circuiti idraulici di zona può essere mantenuta costante da un termostato posto sulla mandata della pompa di zona che modula una valvola a tre vie.
- ▶ Talvolta, in regime invernale, un termostato submaster posto sulla mandata delle pompe di zona viene compensato da un termostato master sensibile alla T esterna in modo da mantenere una temperatura dell'acqua calda nei circuiti di zona crescente al diminuire della temperatura esterna («regolazione climatica»). Ciò sempre modulando la valvola a tre vie prima menzionata (in aspirazione della pompa).

# Terminali idronici: Ventilconvettori – regolazione

- Il più semplice schema di regolazione prevede assenza di valvola modulante a due vie o tre vie su ciascun terminale e presenza di sola regolazione on-off sul ventilatore.
- Se invece si usa una valvola modulante a due vie, è generalmente necessario munire le pompe di zona di un by-pass per impedire che al diminuire della portata d'acqua utilizzata dai ventilconvettori (e quindi al diminuire della portata della pompa), la prevalenza della pompa salga a valori anormali. In alternativa al by-pass, pompa a portata variabile (inverter), che consente anche risparmi energetici.
- Se sui ventilconvettori vengono impiegate valvole modulanti a tre vie, tale by-pass non è necessario (ma aumentano i costi energetici della pompa, rispetto alla soluzione con valvola due vie).



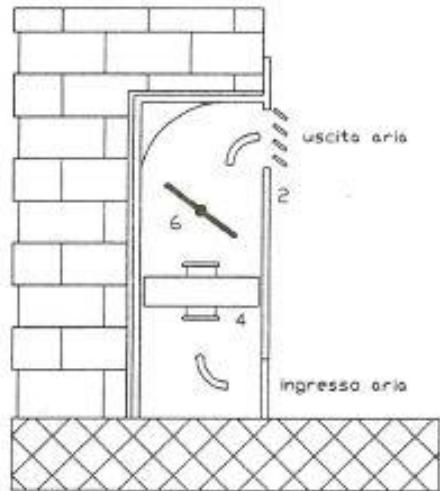
# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Termoconvettori

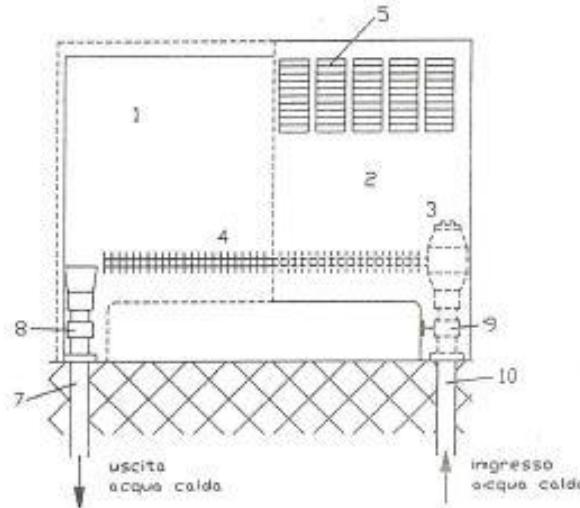
- I termoconvettori, in cui lo scambio avviene essenzialmente per **convezione naturale**, sono realizzati mediante batterie di scambio termico costituite da tubi alettati in cui scorre il fluido termovettore, in genere collocate in mobiletti metallici o in opportune nicchie in parete dotate di un pannello di chiusura frontale.
- La batteria alettata è alimentata di solito con acqua calda alla temperatura di **60 ÷ 80 °C**, talvolta con acqua surriscaldata.
- I materiali impiegati sono generalmente ferro e rame per i tubi, rame e bronzo per le testate collettrici, acciaio ed alluminio per le alette.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Termoconvettori



b) installazione in nicchia



### LEGENDA

- 1 . fondo sagomato
- 2 . pannello frontale smontabile
- 3 . scaricatore d'aria
- 4 . batteria alettata
- 5 . griglia

- 6 . serrando di regolazione
- 7 . ritorno acqua caldo
- 8 . valvola di taratura
- 9 . valvola di regolazione
- 10. mandata acqua calda

# **Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati**

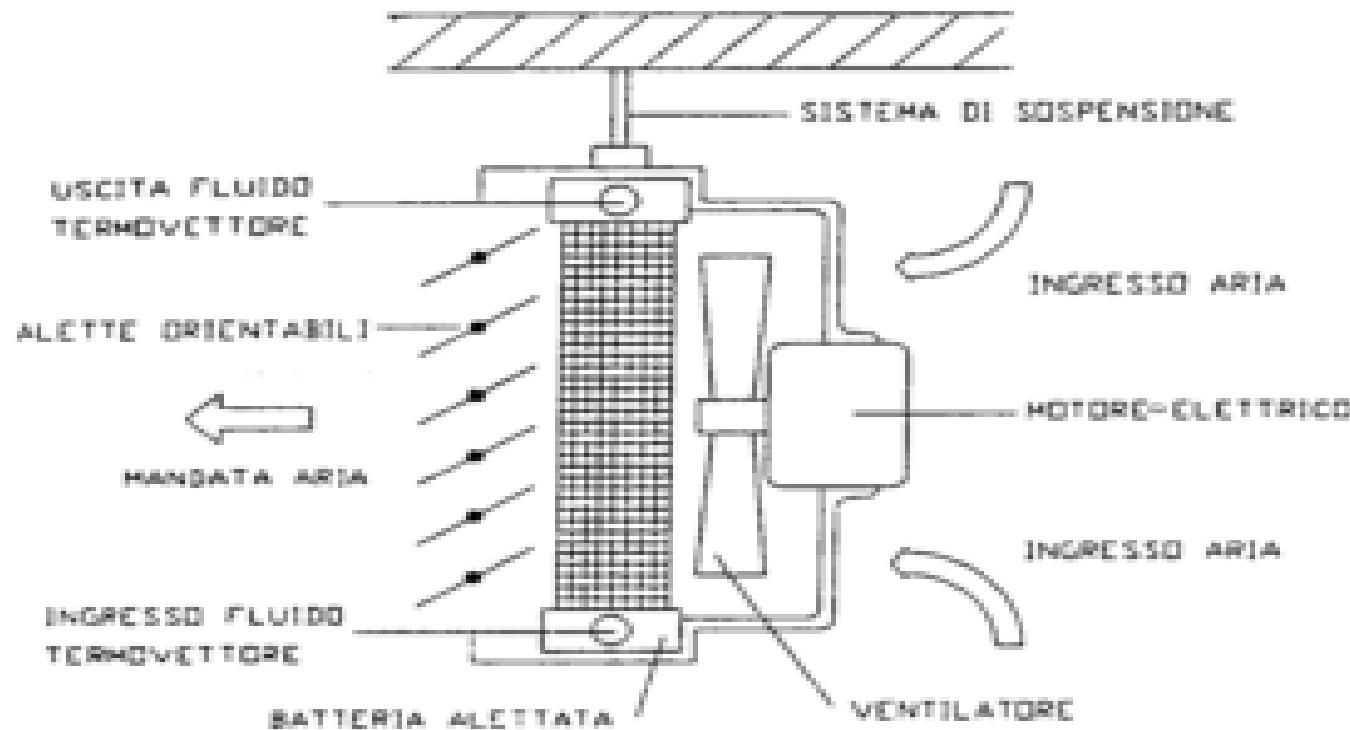
## **Termoconvettori**

- I termoconvettori sono caratterizzati da una inerzia termica molto bassa rispetto ai radiatori ed alle piastre radianti e si prestano ad applicazioni di tipo civile, in particolare scuole, uffici, ecc.
- Per evitare l'insorgenza di problemi dovuti all'accumulo di polvere sulle alette (riduzione della resa termica), è necessario effettuare una **frequente manutenzione**.
- **Oggi sono poco usati** (ad essi si preferiscono i fan-coil).

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati: Aerotermi

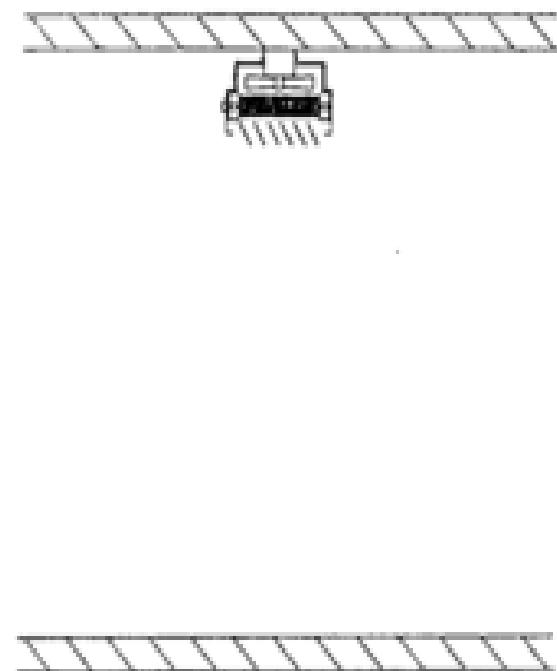
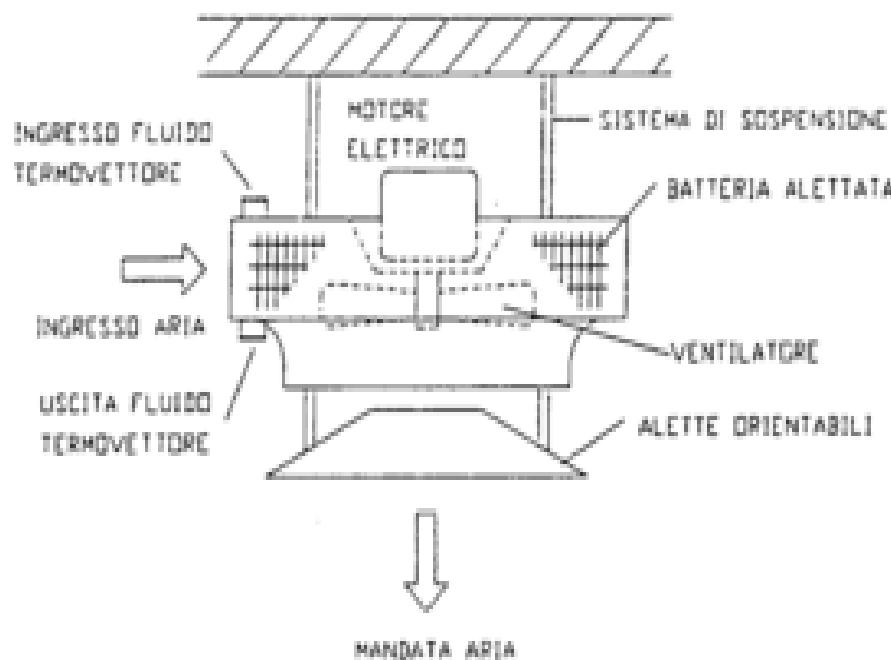
- Gli aerotermi, detti anche termoareatori, sono costituiti da un involucro che racchiude una batteria alettata in cui scorre il fluido termovettore (nella maggior parte dei casi acqua calda a bassa pressione), sulla quale viene fatta circolare una portata d'aria prelevata dall'ambiente, mediante un ventilatore elicoidale.
- L'aria, dopo essere stata riscaldata, viene immessa nuovamente in ambiente.
- I rendimenti massimi si ottengono se come fluido termovettore si impiega vapore a bassa pressione, sovente disponibile nelle industrie.
- **Possono essere usati anche in regime estivo** (alimentandoli con acqua refrigerata a circa 7-10°C).

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati: Aerotermi



a) aerotermino a lancio orizzontale (in:

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati: Aerotermini



b) aerotermo a lancio verticale (pensile)

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

## Aerotermi

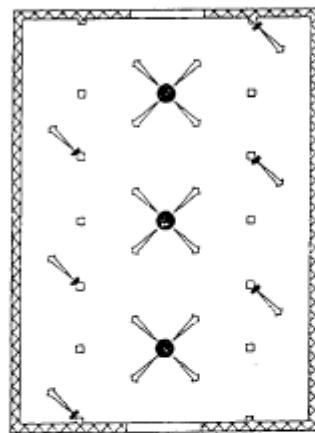
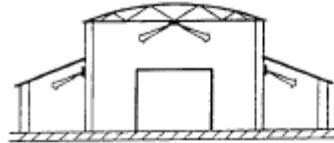
- Gli aerotermi si distinguono in apparecchi a proiezione o lancio orizzontale (o a parete) ed apparecchi a proiezione o lancio verticale (o pensili). I primi, essendo il flusso d'aria diretto orizzontalmente, sono adottati in ambienti di non elevata altezza, mentre i secondi sono indicati per ambienti in cui le altezze di installazione possono raggiungere anche i 15÷20 m, come ad esempio gli ambienti industriali.
- L'altezza di montaggio ed il raggio d'azione sono in genere forniti dalle ditte costruttrici; tali parametri dipendono strettamente dalla temperatura, velocità e portata del flusso d'aria.
- Uno dei principali difetti degli aerotermi è la rumorosità, dovuta all'impatto dei filetti fluidi d'aria forzati dal ventilatore.

# Descrizione dei corpi scaldanti più frequentemente utilizzati

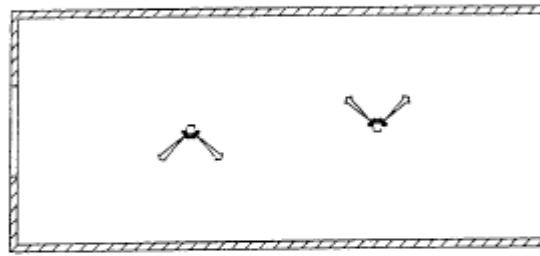
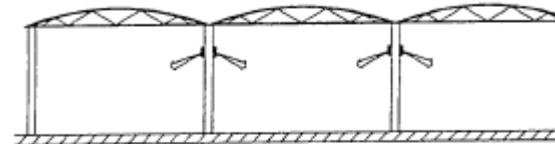
## Aerotermi

- Data la bassa inerzia del sistema e la possibilità di trattare notevoli portate d'aria con un piccolo ingombro, tali apparecchi sono particolarmente indicati per il riscaldamento di **locali molto ampi** in cui è necessario installare un numero limitato di unità e che, a causa del funzionamento intermittente dell'impianto, necessitano di una **rapida messa a regime**, quali officine, capannoni, palestre, saloni per esposizione, autorimesse, ecc.
- E' importante effettuare con accuratezza la scelta della collocazione degli aerotermi in ambiente, al fine di orientare i getti in modo tale da ottenere una distribuzione uniforme della temperatura in ambiente e da non creare disagio agli occupanti investendoli con getti d'aria calda. A tal fine gli aerotermi sono corredati di diffusori o di alette deflettrici orientabili.

# Aerotermi



a) installazione a parete e pensile



b) installazione a parete

Fig. 4-19: ESEMPI DI CORRETTO POSIZIONAMENTO DI AEROTERMI

# Calcolo delle portate d'acqua da veicolare ai corpi scaldanti

- Per dimensionare la rete di distribuzione dell'acqua riscaldata è necessario calcolare le portate veicolate dai vari tratti del circuito: a tal fine occorre calcolare preventivamente la **portata da addurre a ciascun corpo scaldante**. Con riferimento al caso in cui il fluido termovettore è acqua in fase liquida, si utilizza la relazione:

$$Q = m_w * c * (T_m - T_r)$$

da cui

$$m_w = Q / [c * (T_m - T_r)] \quad (4.9)$$

dove:

- $Q$  = potenza termica fornita (resa termica) dal corpo scaldante, kW;
- $m_w$  = portata massica d'acqua a corpo scaldante, kg/s o kg/h;
- $c$  = calore specifico dell'acqua in fase liquida = 4,18 kJ/(kgK);
- $T_m$  = temperatura di mandata dell'acqua, K (o °C);
- $T_r$  = temperatura di ritorno dell'acqua, K (o °C).

# Calcolo delle portate d'acqua da veicolare ai corpi scaldanti

Si noti che la relazione (4.9) vale per una generica apparecchiatura di scambio termico in cui uno dei due fluidi interagenti sia acqua in fase liquida (caldaie ad acqua calda, condensatori di pompe di calore raffreddati con acqua, scambiatori di calore per acqua calda sanitaria).

## Esempio n. 4/2: Calcolo della portata d'acqua di alimentazione di un corpo scaldante

Dati

$$Q = 1,2 \text{ kW (} 1.032 \text{ kcal/h})$$

e

$$(T_m - T_o) = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

la portata d'acqua di alimentazione del corpo scaldante risulta:

$$m_w = 1,2 / (4,18 \cdot 10) = 0,029 \text{ kg/s} = 103 \text{ kg/h} \Rightarrow V_w \equiv 103 \text{ l/h}$$

$$m_w = 1.032 / (1 \cdot 10) = 103 \text{ kg/h} \Rightarrow V_w \equiv 103 \text{ l/h}$$

In definitiva, utilizzando la relazione (4.9) si calcolano le portate d'acqua da addurre a ciascun corpo scaldante e, sommando tali valori, è possibile valutare le portate d'acqua per ciascun tronco della rete di distribuzione.

# Calcolo delle portate d'acqua da veicolare ai corpi scaldanti: dimostrazione della relazione analitica usata



$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{uscita} = \dot{m}_W$$

$$\begin{aligned}\sum \dot{m}_i \cdot (h + \cancel{\rho g z} + \cancel{\frac{\rho v^2}{2}})_i + \cancel{\sum Q_i} + \cancel{\sum E_i} &= \\ = \sum \dot{m}_u (h + \cancel{\rho g z} + \cancel{\frac{\rho v^2}{2}})_u + \sum Q_u + \cancel{\sum E_u} &\end{aligned}$$

$$\dot{m}_W \cdot h_i + = \dot{m}_W \cdot h_u + \dot{\alpha}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_W \cdot (h_i - h_u) =$$

$$= \dot{m}_W \cdot (h_{\text{madv}} - h_{\text{rit.}}) =$$

$$\rightarrow \boxed{\dot{Q} = \dot{m}_W \cdot c \cdot (T_{\text{madv.}} - T_{\text{rit.}})}$$

$$\Delta h \approx c \cdot \Delta T \text{ (PER LA FASE LIQUIDA)}$$

# Tubazioni: materiali impiegati

- Le tubazioni utilizzate negli impianti di riscaldamento sono in **acciaio** ed in **rame**; oggi si vanno sempre più diffondendo, soprattutto per impianti autonomi, tubazioni in materiale plastico (**"multistrato"**).
- I tubi di **rame**, rispetto a quelli in acciaio, sono più costosi ma più adatti per l'installazione sotto pavimento e, per diametri fino a 22 mm, più comodi da installare, giacché è disponibile il tipo flessibile già coibentato: per questi diametri le curve si fanno a mano e senza la necessità di pezzi speciali.

Per tale ragione i tubi di rame si utilizzano per piccoli diametri, quindi per i tronchi secondari di tubazione (quelli più a ridosso dei corpi scaldanti), mentre i tubi in **acciaio** sono impiegati per i circuiti principali di distribuzione: un classico esempio di applicazione di tale logica è quello di un impianto a radiatori con rete di distribuzione dotata di collettori complanari, in cui le tubazioni principali fino ai collettori complanari sono in acciaio, mentre i successivi tratti sono in rame flessibile coibentato.

# Tubazioni: materiali impiegati

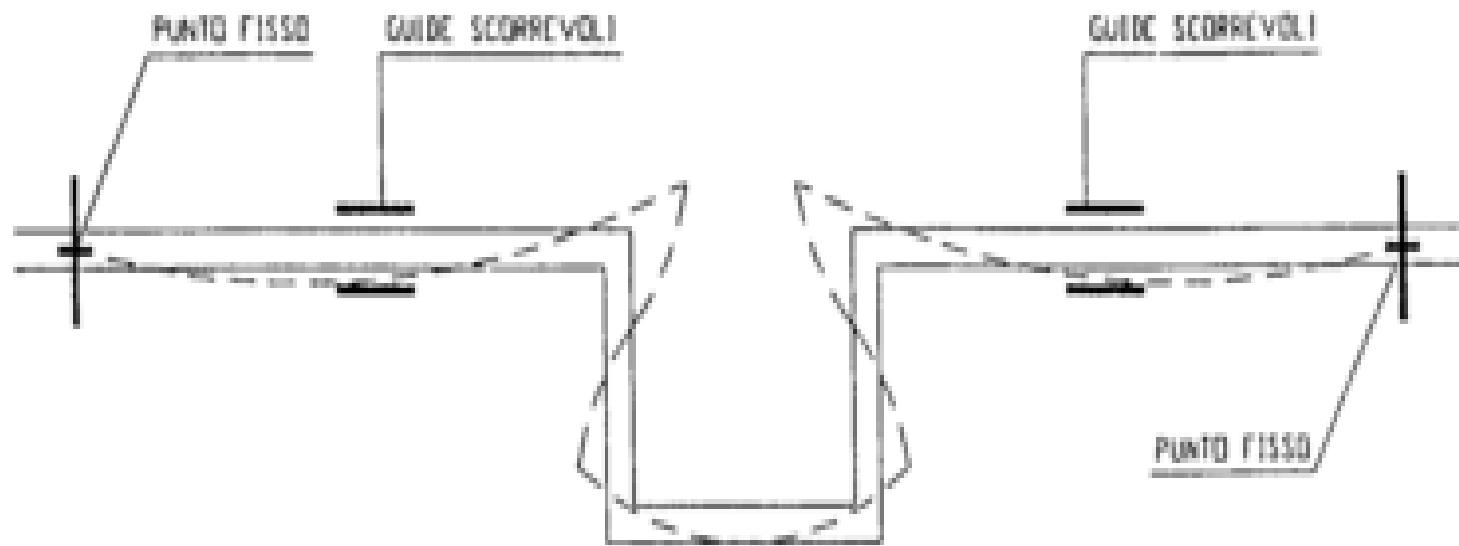
- Recentemente sono state proposte anche per gli impianti di riscaldamento tubazioni di **materiale plastico**, più comunemente usate per la distribuzione di acqua calda sanitaria e per gli scarichi (polipropilene PP, polietilene ad alta densità PEAD, cloruro di polivinile PVC).

In particolare, per impianti di riscaldamento a bassa temperatura come quelli con **serpentina a pavimento (pannelli radianti)**, si sta affermando l'impiego di polietilene reticolato PE-X.

# Compensazione delle dilatazioni termiche

- Affinché le dilatazioni dei tubi, dovute agli aumenti di temperatura, non comportino danni meccanici ai tubi stessi ed alle apparecchiature connesse, sono necessari **compensatori di dilatazione** lungo la rete.
- Le tubazioni sotto traccia vanno rivestite con materiali che permettano lo scorrimento dei tubi rispetto alla muratura, mentre i tratti di attraversamento di solai o di muri spessi vanno inseriti in tubi di guaina più larghi delle tubazioni.
- Per i tubi installati in vista bisogna prevedere delle staffe di sostegno che ne permettano la dilatazione; le colonne montanti vanno installate in cavedi ispezionabili.

# Compensazione delle dilatazioni termiche



COMPENSATORE A "U"

# Isolamento termico dei tubi (obbligatorio da DPR 412/93)

## Caratteristiche di alcuni comuni isolanti utilizzati per tubazioni e canali

| Materiale  | Conduttività termica $\lambda$ W/m K | Temperatura massima di impiego °C | Densità kg/m <sup>3</sup> |
|--|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Lana di roccia (coppelle)  | 0,028 ÷ 0,058                        | 750                               | 100 ÷ 125                 |
| Lana di vetro (coppelle)   | 0,029 ÷ 0,056                        | 400                               | 60                        |
| Polistirolo espanso (coppelle)   | 0,021 ÷ 0,031                        | 75                                | 18 ÷ 20                   |
| Elastomero a cellule chiuse a base di gomma sintetica (in tubi flessibili o in lastre) | 0,030 ÷ 0,040                        | 105                               | 30 ÷ 40                   |

# Isolamento termico dei tubi (obbligatorio da DPR 412/93)

Tab. 1

| Conduttività termica utile dell'isolante (W/m °C) | Diametro esterno della tubazione (mm) |            |            |            |            |       |
|---|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------|
|   | < 20                                  | da 20 a 39 | da 40 a 59 | da 60 a 79 | da 80 a 99 | > 100 |
| 0,030   | 13                                    | 19         | 26         | 33         | 37         | 40    |
| 0,032   | 14                                    | 21         | 29         | 36         | 40         | 44    |
| 0,034   | 15                                    | 23         | 31         | 39         | 44         | 48    |
| 0,036   | 17                                    | 25         | 34         | 43         | 47         | 52    |
| 0,038   | 18                                    | 28         | 37         | 46         | 51         | 56    |
| 0,040   | 20                                    | 30         | 40         | 50         | 55         | 60    |
| 0,042   | 22                                    | 32         | 43         | 54         | 59         | 64    |
| 0,044   | 24                                    | 35         | 46         | 58         | 63         | 69    |
| 0,046   | 26                                    | 38         | 50         | 62         | 68         | 74    |
| 0,048   | 28                                    | 41         | 54         | 66         | 72         | 79    |
| 0,050   | 30                                    | 44         | 58         | 71         | 77         | 84    |

- Per valori di conduttività termica utile dell'isolante differenti da quelli indicati in tabella 1, i valori minimi dello spessore del materiale isolante sono ricavati per interpolazione lineare dei dati riportati nella tabella 1 stessa.
- I montanti verticali delle tubazioni devono essere posti al di qua dell'isolamento termico dell'involucro edilizio, verso l'interno del fabbricato ed i relativi spessori minimi dell'isolamento che risultano dalla tabella 1, vanno moltiplicati per 0,5.
- Per tubazioni correnti entro strutture non affacciate né all'esterno né su locali non riscaldati gli spessori di cui alla tabella 1 vanno moltiplicati per 0,3.

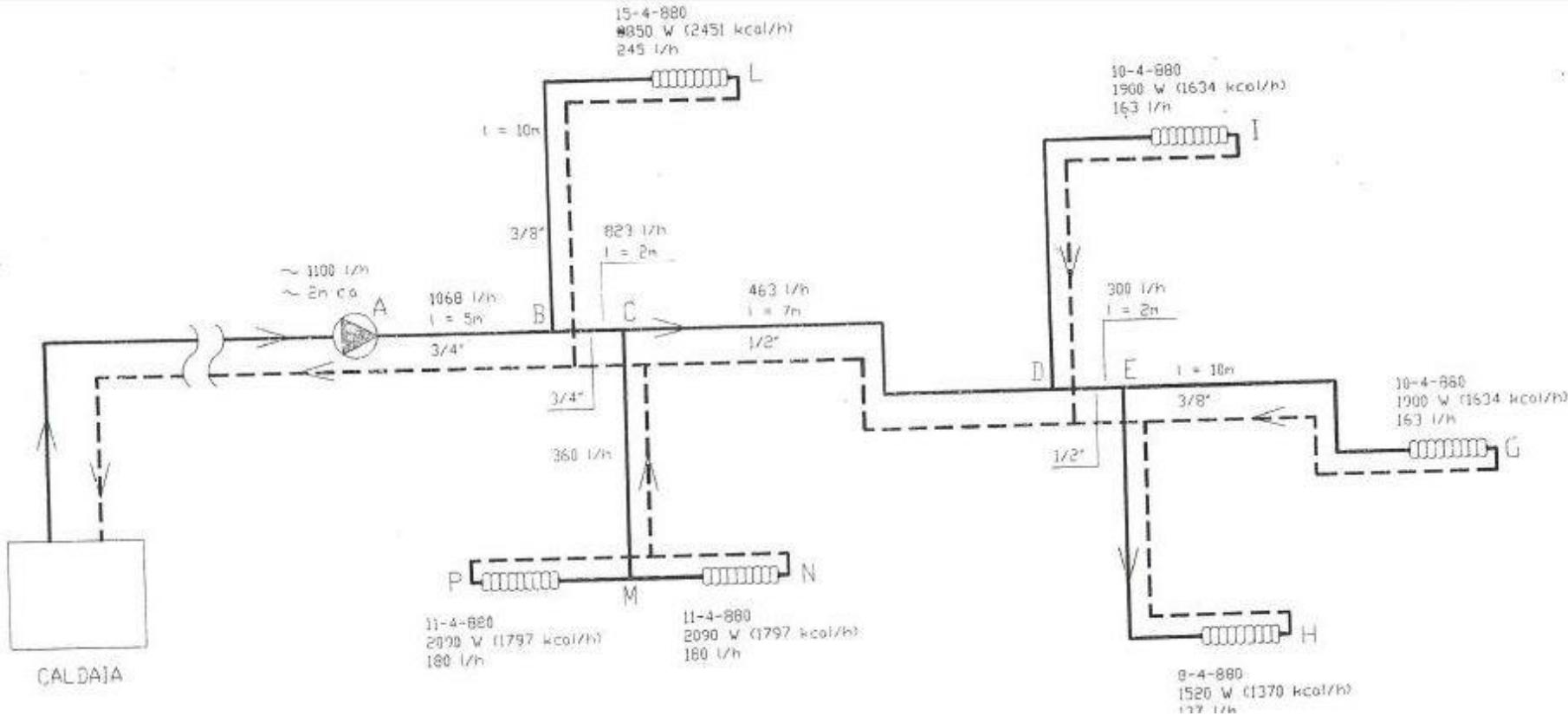
**Sfiali d'aria:** si veda manuale ENEA a pag. 234

**Dimensionamento delle tubazioni dell'acqua:**  
si veda manuale ENEA da pag. 234 a pag. 248

# Dimensionamento delle tubazioni dell'acqua

## ESEMPIO DI CIRCUITO DI TUBAZIONI DI ALIMENTAZIONE DI RADIATORI

(circuito senza collettori complanari)



# Elettropompe di circolazione

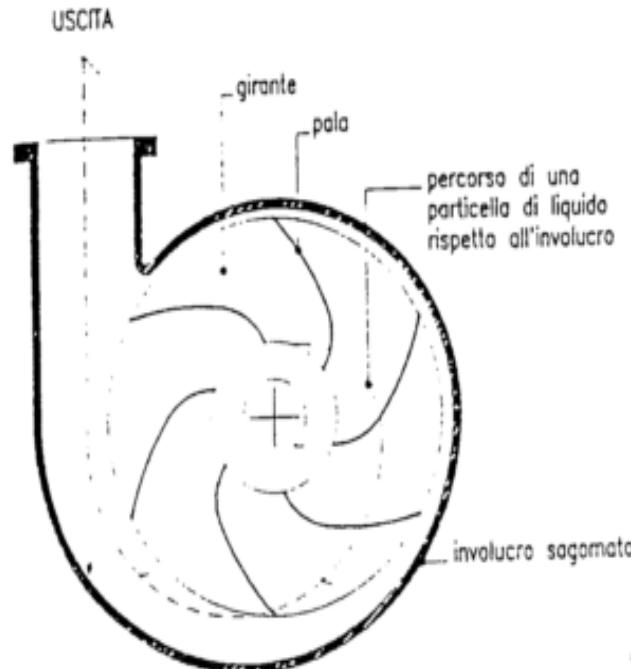
- Le **macchine a fluido operativi** sono macchine che trasferiscono energia meccanica, ricevuta dall'esterno, ad un fluido: se questo è in fase liquida, sono dette **pompe**, se è in fase aeriforme sono *ventilatori* o *compressori*.
- Le pompe (in generale le macchine a fluido sia motrici che operativi) possono essere volumetriche o dinamiche.
- Le **pompe volumetriche**, a cui appartengono ad esempio le pompe alternative, sono quelle in cui la cessione dell'energia al fluido avviene con discontinuità.
- Le **pompe dinamiche** sono invece caratterizzate da un continuo trasferimento dell'energia dalla macchina al fluido. Le pompe dinamiche (e più in generale le macchine a fluido dinamiche sia motrici che operativi) si suddividono a loro volta in **assiali** e **radiali**.
- Nel caso delle pompe **radiali** il moto del liquido ha andamento radiale-centrifugo, per cui si parla più frequentemente di **pompe centrifughe**.

# Elettropompe di circolazione

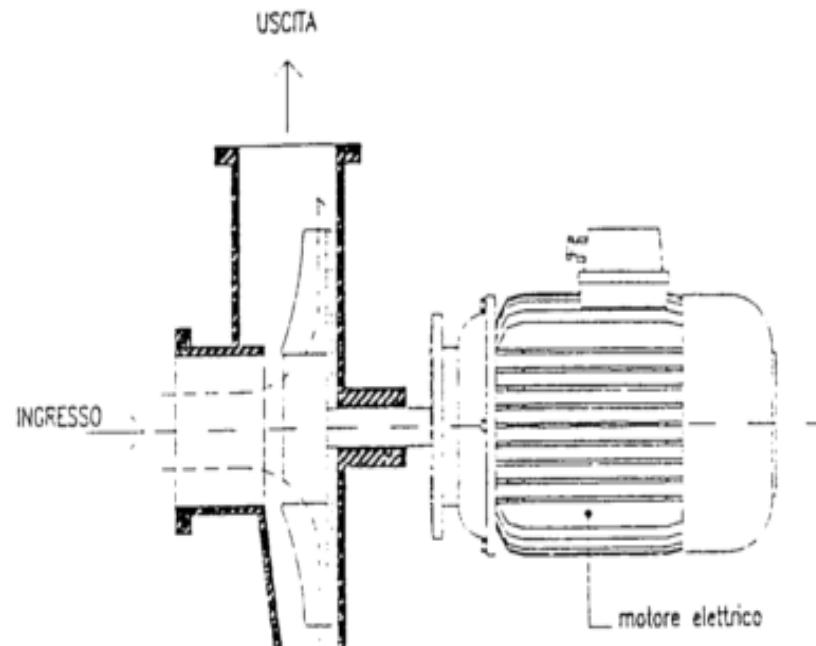
Le pompe centrifughe, di solito usate negli impianti di riscaldamento ad acqua calda, sono essenzialmente costituite da:

- un organo in moto rotatorio (**girante**) dotato di palette, che trasferisce al liquido in ingresso l'energia meccanica fornita dal motore che trascina la pompa;
- un **diffusore**, in cui il fluido rallentando perde energia cinetica ed acquista energia di pressione;
- una **cassa a spirale**, che, oltre ad esplicare una funzione analoga a quella del diffusore, convoglia il liquido verso la tubazione di mandata.
- Inoltre le pompe possono essere mosse da motore elettrico, per cui l'insieme di pompa e motore prende il nome di **elettropompa**, o da motore alternativo a combustione interna, per cui si parla di **motopompa**.
- Negli impianti di riscaldamento ad acqua calda vengono usualmente utilizzate **elettropompe centrifughe**.

# Elettropompe di circolazione



a) sezione secondo un piano perpendicolare  
all'asse di rotazione



b) sezione secondo un piano contenente  
l'asse di rotazione

# Elettropompe di circolazione

Parametri caratteristici di una elettropompa sono:

- la **portata volumetrica**, cioè il volume di liquido veicolato nell'unità di tempo, m<sup>3</sup>/s o m<sup>3</sup>/h;
- la **prevalenza totale**, cioè l'incremento di energia che l'unità di massa del fluido subisce nell'attraversare la pompa, J/kg (o Pa, o m);
- la **potenza elettrica** richiesta dal motore elettrico (W o kW);
- il **rendimento** della pompa, cioè il rapporto tra l'energia meccanica trasferita al fluido e l'energia meccanica ricevuta dall'esterno (circa pari a 0,4 ÷ 0,6 per pompe piccole, a 0,6 ÷ 0,75 per pompe medie, 0,75 ÷ 0,85 per pompe grandi);
- la **velocità di rotazione** della girante.

# Elettropompe di circolazione

Per calcolare la **potenza elettrica assorbita** dal motore della pompa, è possibile anche utilizzare la seguente relazione generale:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{\eta}$$

in cui:

- P è la potenza elettrica assorbita all'asse della pompa, W;
- Q è la portata volumetrica di acqua veicolata dalla pompa, m<sup>3</sup>/s;
- ρ è la densità dell'acqua, kg/m<sup>3</sup>;
- η è il rendimento della pompa;
- H è la prevalenza fornita dalla pompa, m;
- g è l'accelerazione di gravità, 9,81 m/s<sup>2</sup>.

# Elettropompe di circolazione ed apparecchiature accessorie

Generalmente l'impianto è munito di due pompe disposte in parallelo, **una di riserva** in caso di avaria dell'altra, che quindi non funzionano contemporaneamente, ma di solito alternativamente.

E' buona norma corredare ciascuna delle due pompe anche di:

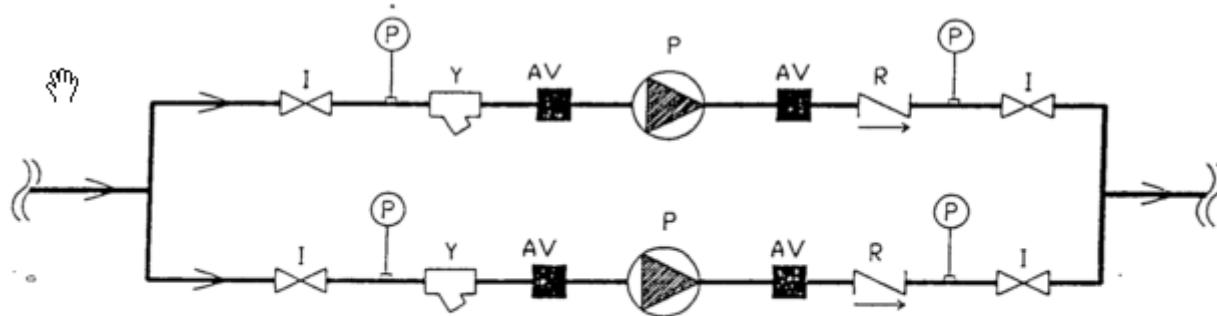
- **due valvole di sezionamento o intercettazione**, una sull'aspirazione ed una sulla mandata;
- **due giunti antivibranti**, uno sull'aspirazione ed uno sulla mandata, per poter collegare la pompa alle tubazioni mediante giunti elastici;
- **due manometri**, uno sull'aspirazione ed uno sulla mandata, per poter valutare la prevalenza che la pompa sta realmente fornendo;

# Elettropompe di circolazione ed apparecchiature accessorie

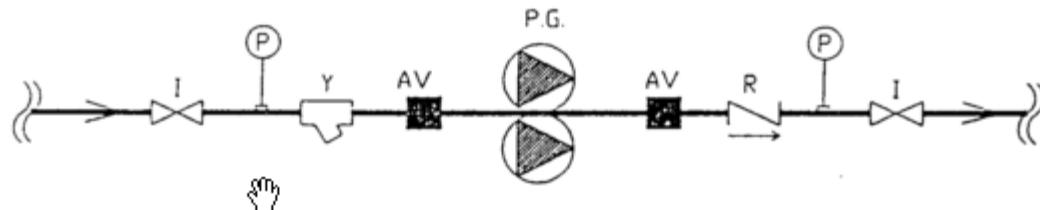
- *un filtro*, per evitare che possano entrare impurità nella pompa;
- *una valvola di non ritorno*, per evitare che, ad impianto fermo, l'acqua possa far ruotare la girante della pompa nel senso sbagliato, danneggiandola, e per evitare, ad impianto in funzione, che l'acqua possa circolare nel verso sbagliato nel ramo in cui è installata la pompa momentaneamente disattivata (pompa di riserva).

Talvolta, per piccoli impianti, al posto di due pompe una di riserva all'altra, si installa un sistema di pompe accorpate in un unico blocco (*gruppi gemellari di pompe*, o semplicemente *pompe gemellari*): si dimezza il numero di apparecchiature accessorie.

# Elettropompe di circolazione ed apparecchiature accessorie



a) caso di due pompe, una di riserva all'altra



b) caso di pompe gemellari

## SIMBOLOGIA:

Valvola di intercettazione

Manometro

Filtro a Y

Antivibrante

Pompa

Pompe gemellari

# Elettropompe di circolazione

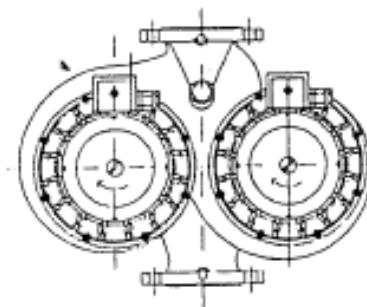
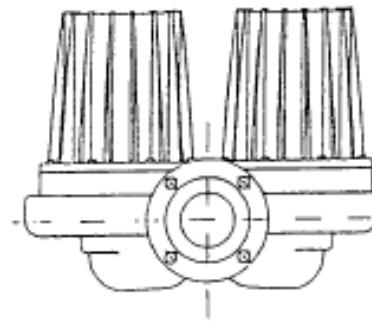


FIG. 4-37: POMPE GEMELLARI

# **Reti di distribuzione dell'acqua ai corpi scaldanti**

Con riferimento ad impianti con circolazione forzata mediante pompa, una possibile classificazione degli schemi più utilizzati è la seguente:

**a) reti in cui i corpi scaldanti sono disposti in serie:**

**a1) distribuzione monotubo**

**b) reti in cui i corpi scaldanti sono disposti in parallelo (distribuzione bitubo):**

**b1) circuiti a ritorno diretto**

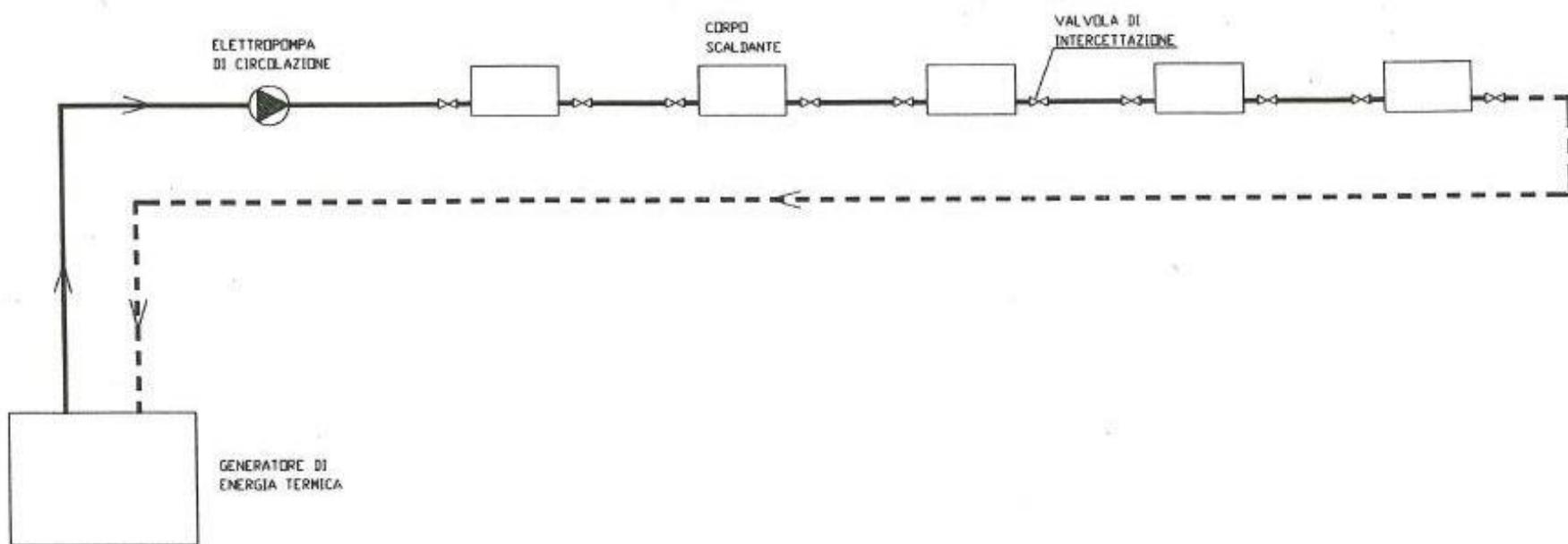
**b1.1) distribuzione senza collettori complanari**

**b1.2) distribuzione a collettori complanari**

**b2) circuiti a ritorno inverso**

## Distribuzione monotubo (non usata)

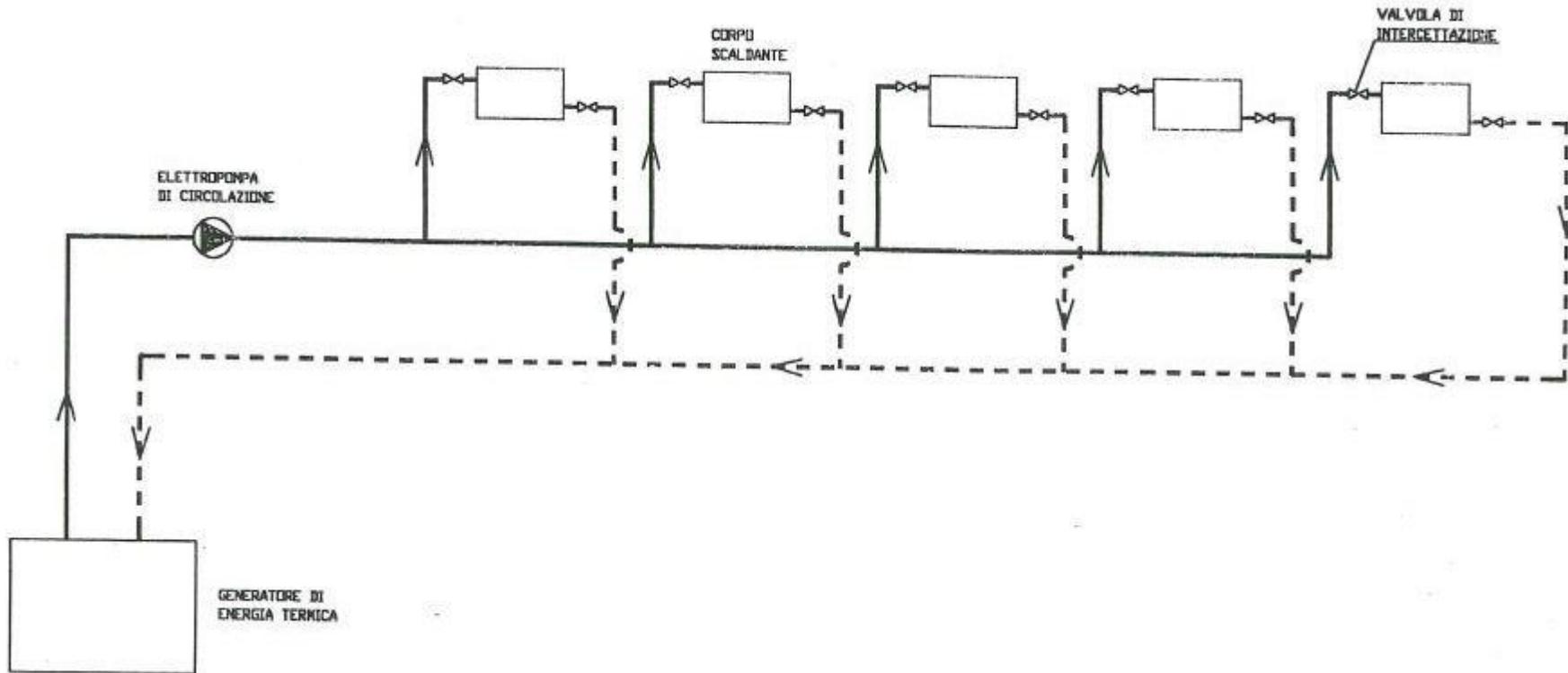
Per questo tipo di distribuzione **i corpi scaldanti sono disposti in serie**, nel senso che il fluido termovettore li attraversa uno dopo l'altro. Pertanto la portata è la stessa per tutti i corpi scaldanti, mentre la temperatura dell'acqua in ingresso diminuisce durante il percorso.



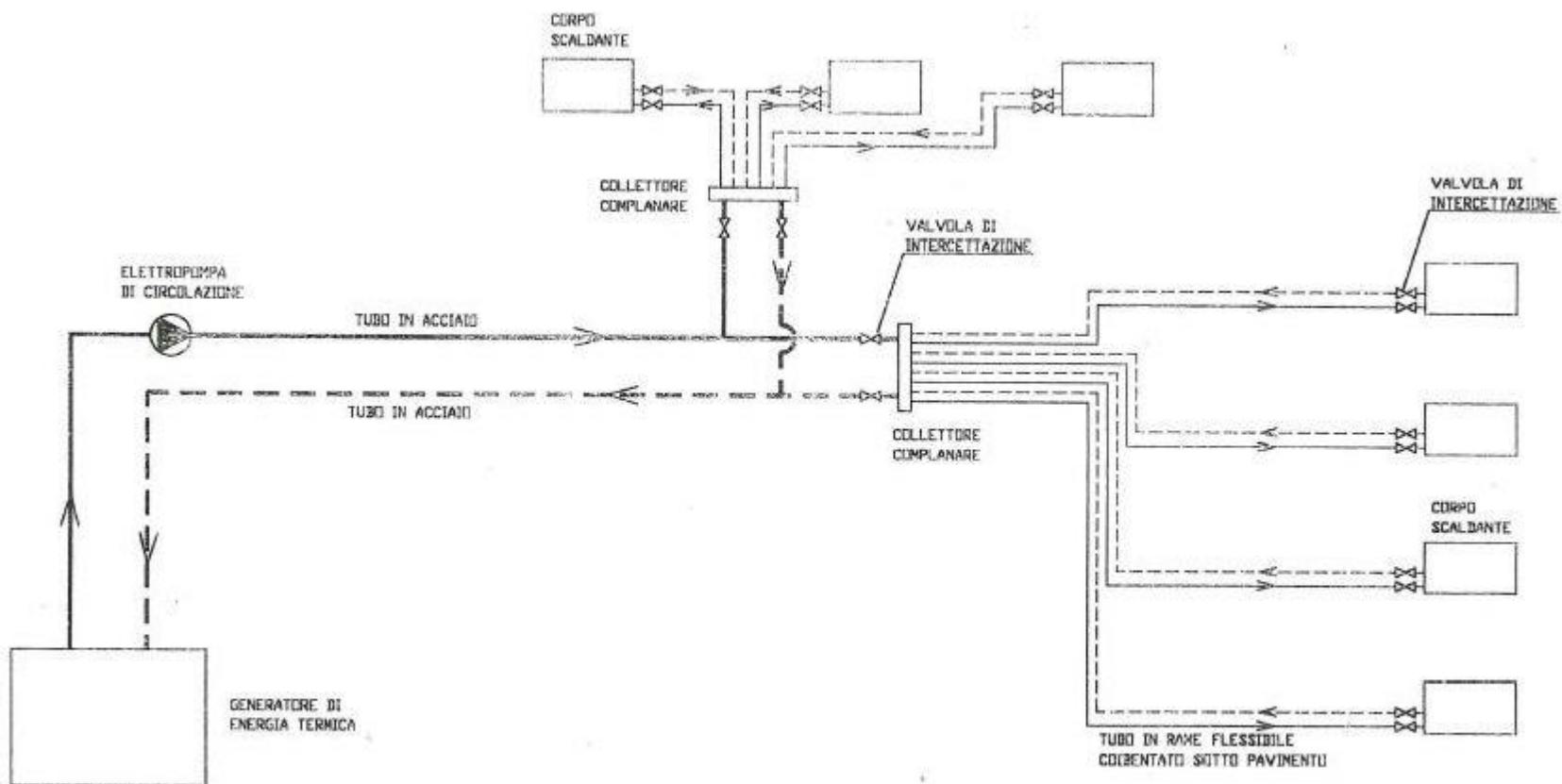
## **Reti in cui i corpi scaldanti sono disposti in parallelo (distribuzione bitubo)**

I sistemi bitubo sono caratterizzati dalla presenza di due tubazioni separate per la mandata e per il ritorno dell'acqua: pertanto la temperatura d'ingresso è all'incirca la stessa per tutti i corpi scaldanti e quasi coincidente con quella all'uscita del generatore di calore.

### **Circuiti a ritorno diretto senza collettori complanari**



# Circuiti a ritorno diretto con collettori complanari



# Circuiti a ritorno diretto con collettori complanari

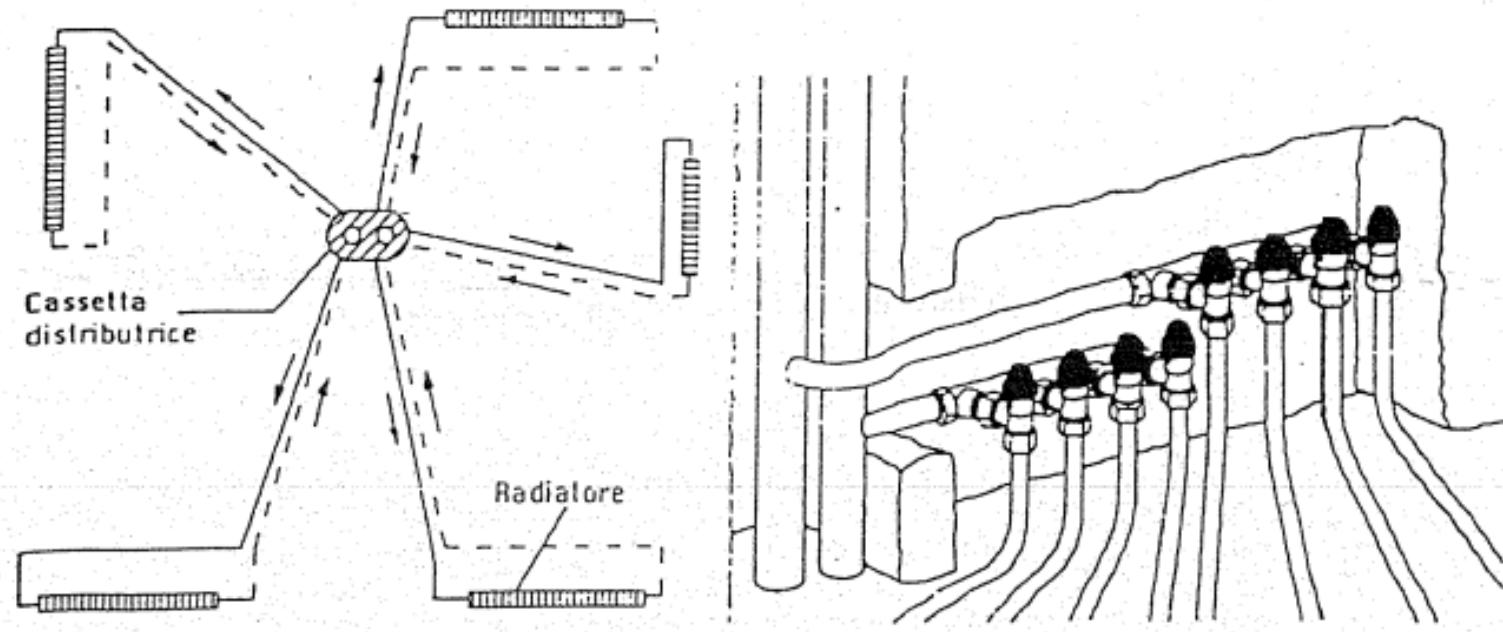
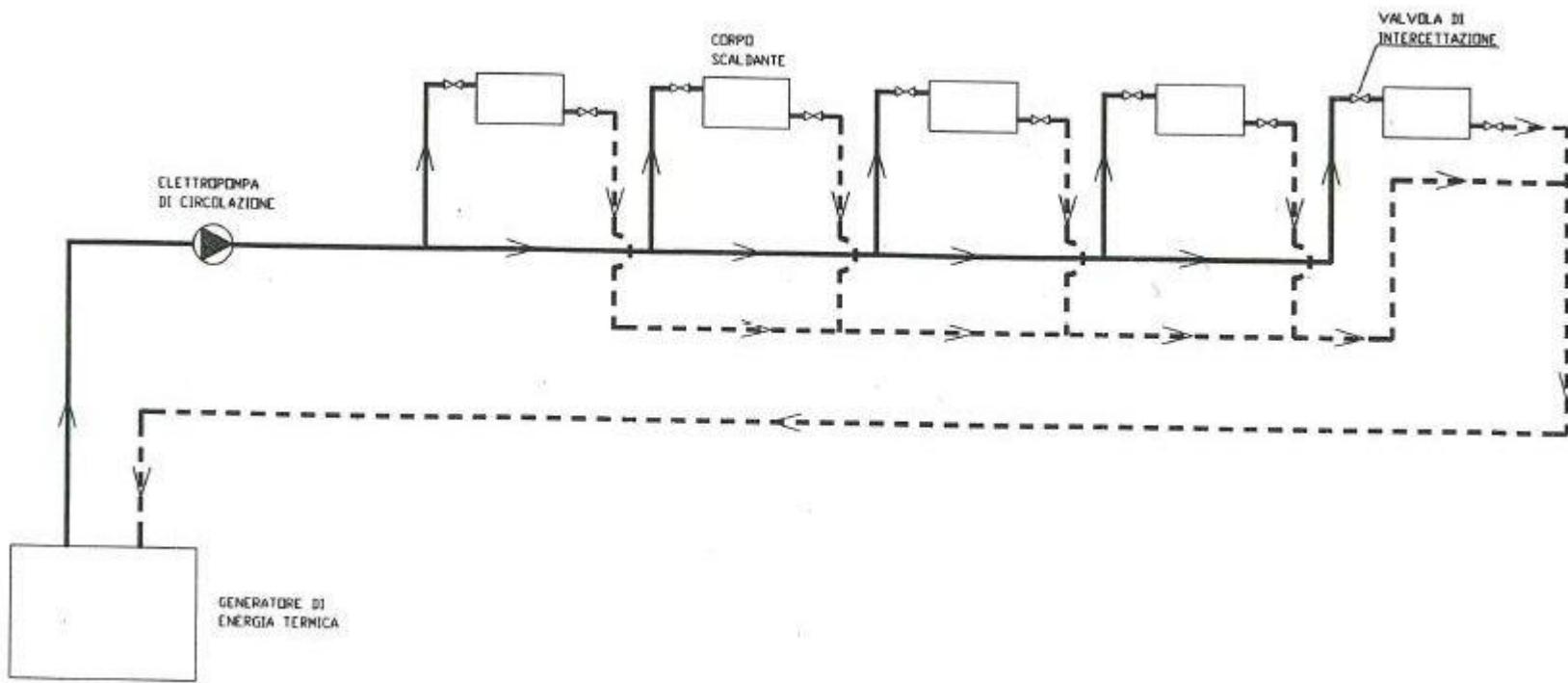


Fig.59 - Rete di distribuzione a collettori complanari e cassetta distributrice

# Reti di distribuzione dell'acqua ai corpi scaldanti

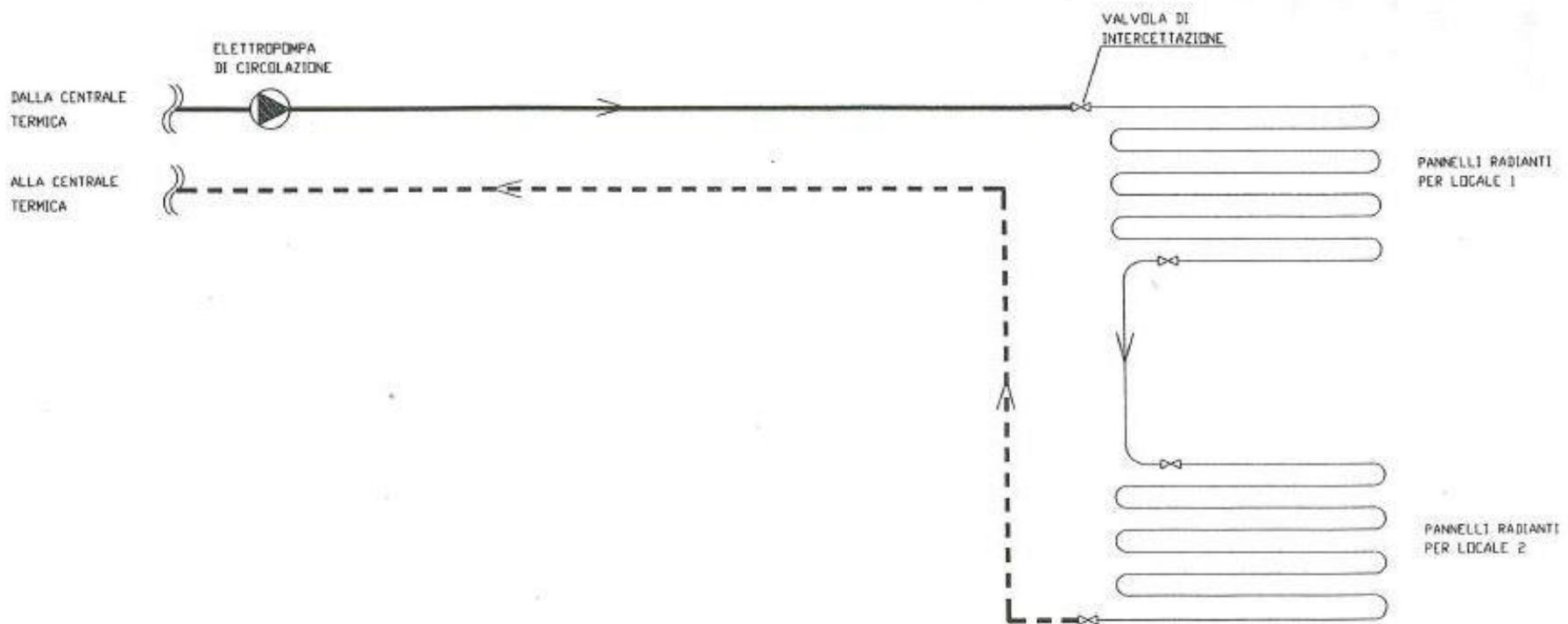
## Circuiti a ritorno inverso

Tale circuito si distingue da quello a ritorno diretto per il fatto che la lunghezza dell'intero percorso di mandata e ritorno relativo ad un corpo scaldante è uguale a quella del percorso relativo a qualsiasi altro corpo scaldante. Ciò garantisce un **ottimo bilanciamento idraulico della rete**; ma costi d'impianto più elevati a causa di una maggiore quantità di tubazioni.

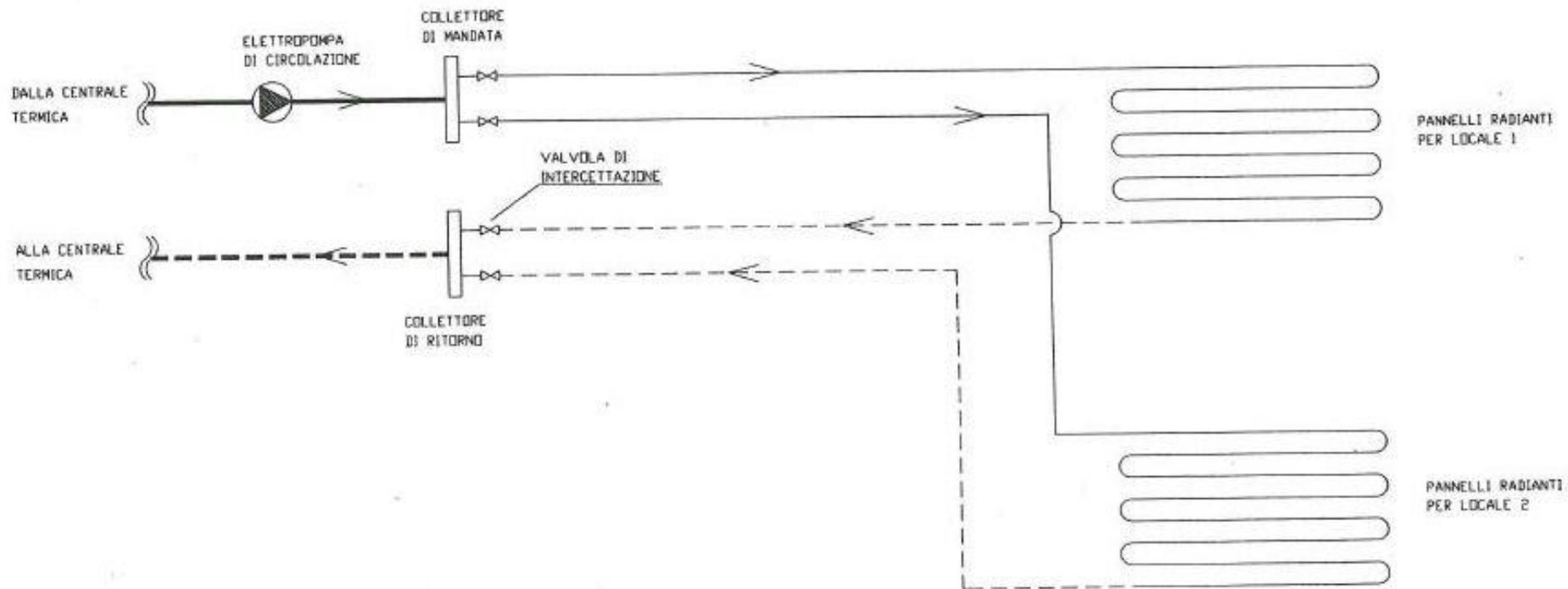


# Reti di distribuzione dell'acqua ai corpi scaldanti

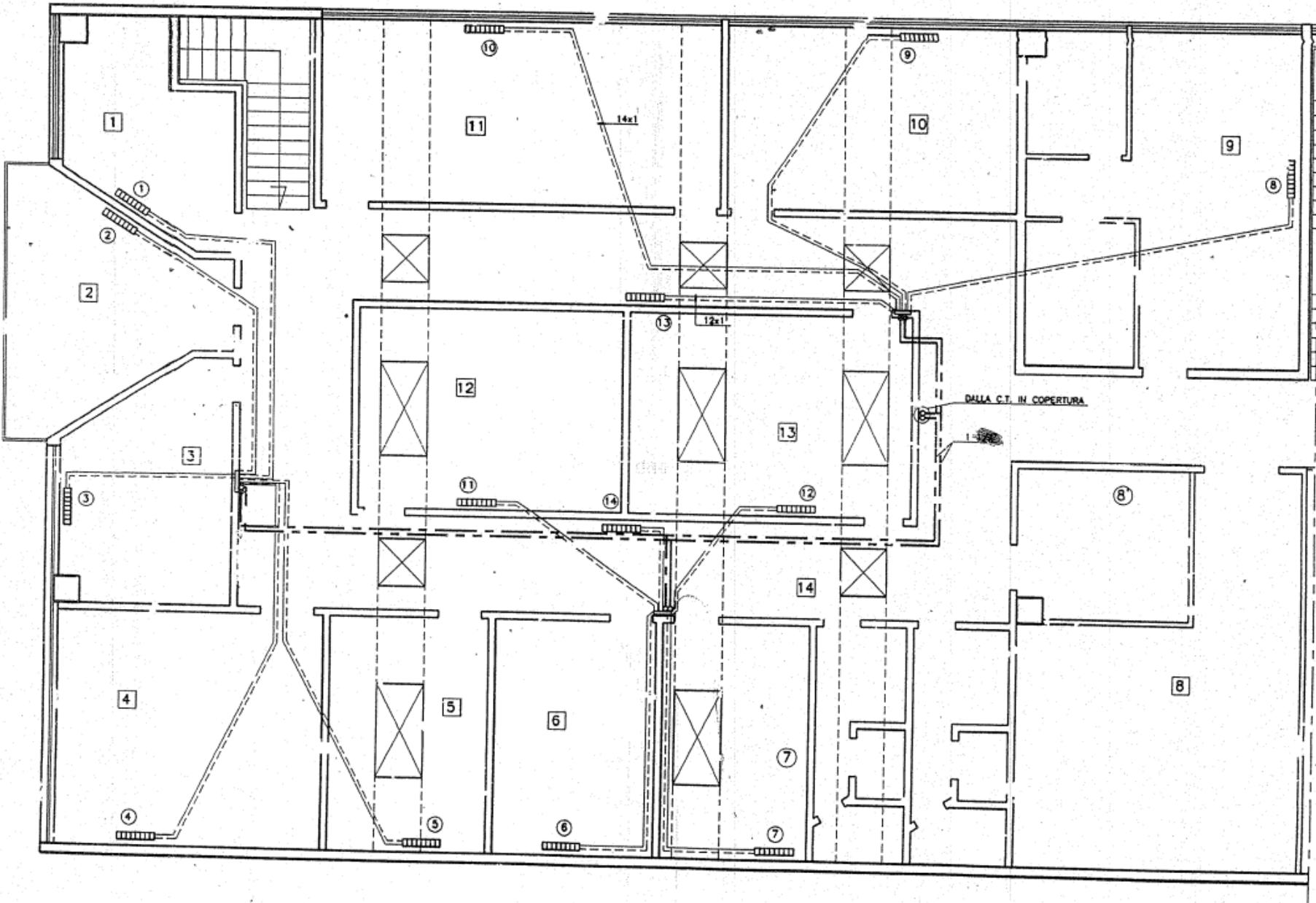
## Distribuzione per impianti a pannelli radianti (in serie)



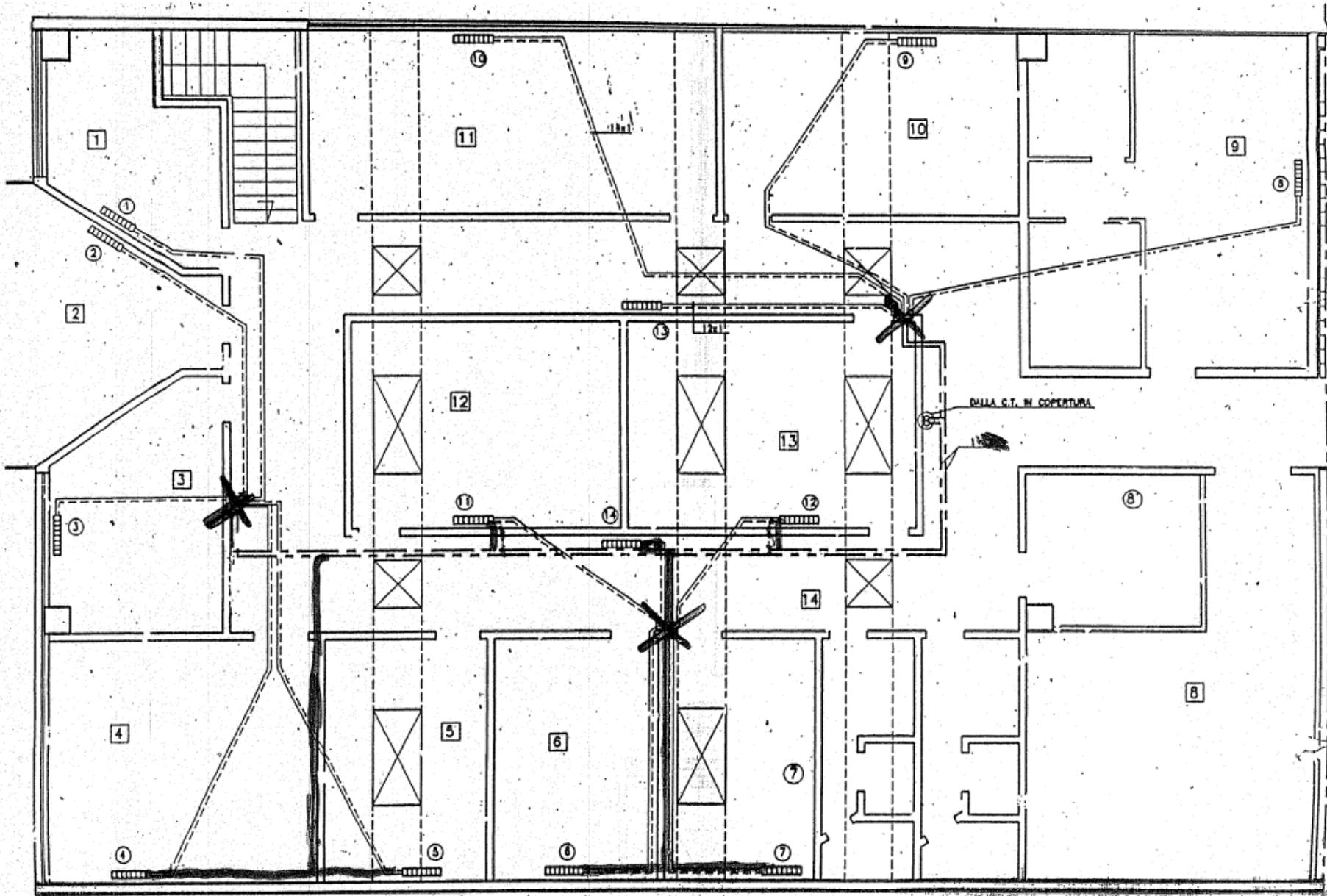
# Distribuzione in parallelo per impianti a pannelli radianti



# Esempio di circuito a ritorno diretto con collettori complanari



# Esempio di circuito a ritorno diretto senza collettori complanari



# Regolazione (automatica) dell'impianto di riscaldamento

Gli organi di regolazione automatica degli impianti di riscaldamento hanno il compito di adeguare la potenza termica fornita ai locali, in base alle variazioni dei carichi termici, in modo da garantire:

- garantire condizioni termoigrometriche quanto più vicine possibile a quelle di **benessere termico**;
- **evitare sprechi energetici.**

# Regolazione (automatica) dell'impianto di riscaldamento

Un sistema di regolazione è costituito essenzialmente da tre parti:

- *uno o più **sonde** che rilevano i valori dei parametri da controllare;*
- *una **centralina elettronica** che riceve i segnali provenienti dalle sonde, li elabora e manda opportuni segnali agli organi di attuazione;*
- *gli **organi di attuazione** che, in base ai segnali provenienti dalla centralina elettronica, modificano il funzionamento di una o più apparecchiature dell'impianto.* Gli organi di attuazione sono principalmente elettropompe di circolazione, bruciatore della caldaia, valvole servocomandate a due, a tre e a quattro vie, serrande servocomandate, ventilatori.

# **Regolazione dell'impianto di riscaldamento**

I sistemi di regolazione degli impianti di riscaldamento si possono distinguere in:

- I) sistemi di regolazione locale per locale (anche chiamata «regolazione ambiente»);**
- II) sistemi di regolazione centralizzata;**
- III) sistemi di regolazione di zona.**

# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

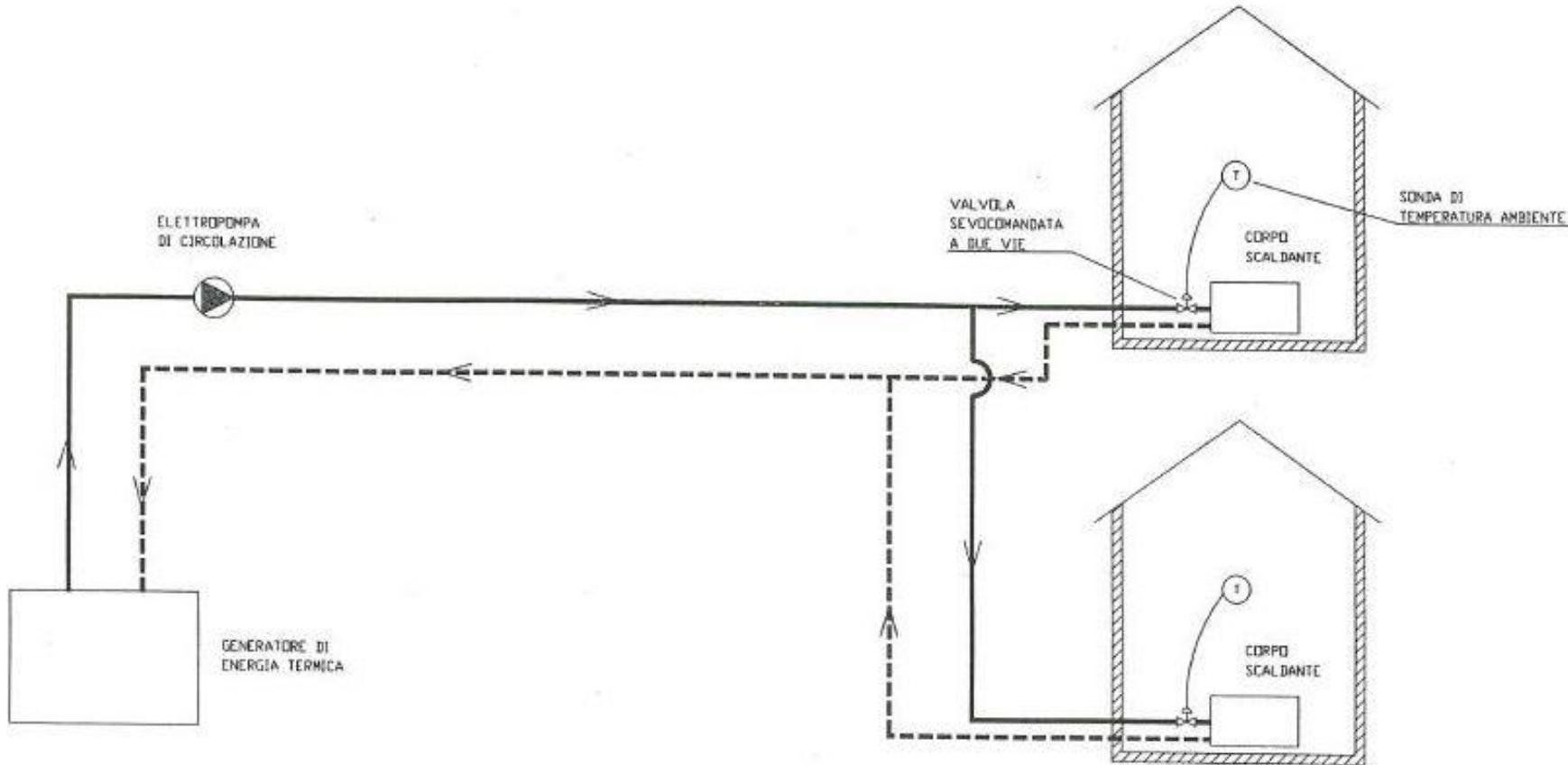
## Sistemi di regolazione locale per locale

- Il sistema di regolazione ottimale delle condizioni termiche ambientali è quello che garantisce locale per locale l'adeguamento della potenza termica fornita in base alla variazione dei carichi termici. Nel caso di impianti di riscaldamento, tale situazione si può ottenere mediante l'utilizzo di una **valvola servocomandata a due vie o a tre vie** in corrispondenza di ciascun corpo scaldante.
- Per impianti con corpi scaldanti dotati di ventilatori (mobiletti ventilconvettori ed aerotermi) è possibile realizzare un sistema di regolazione locale meno dispendioso di quelli con valvola servocomandata, basato sulla **regolazione on-off sul ventilatore**.

# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione locale per locale

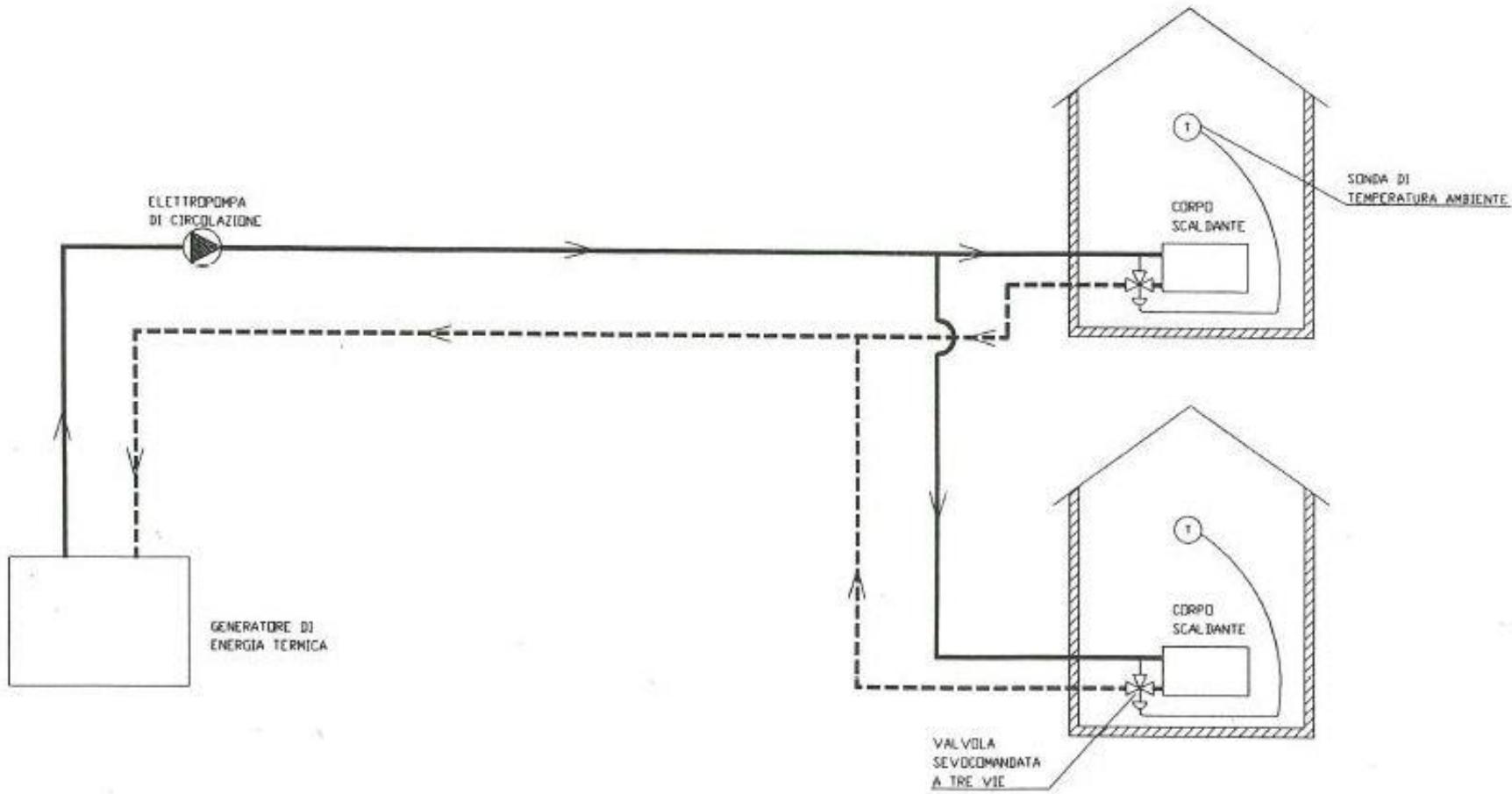
Sistema di regolazione con valvola a due vie (“valvola termostatica”) in corrispondenza di ciascun corpo scaldante



# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione locale per locale

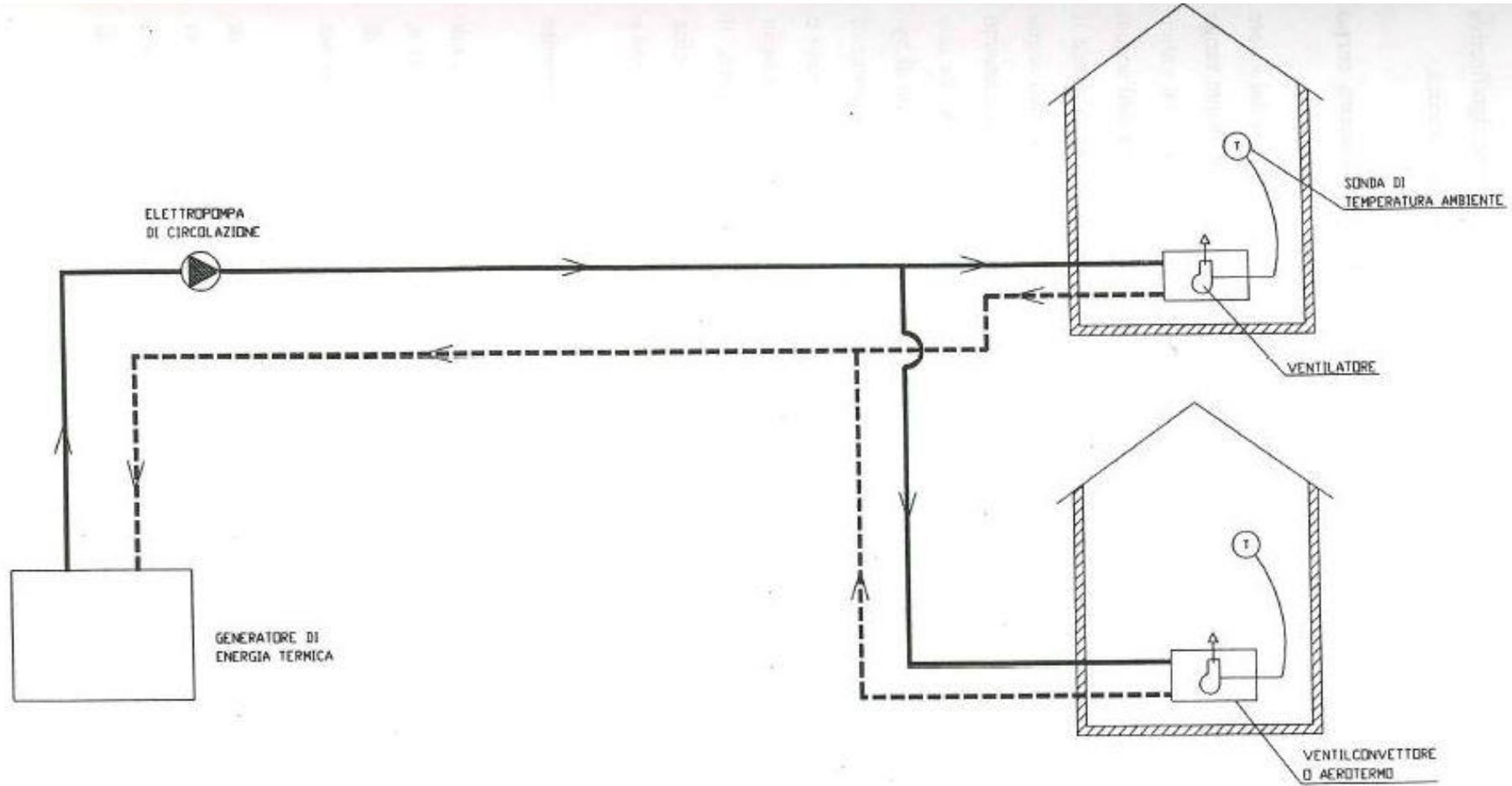
Sistema di regolazione con una valvola a tre vie in corrispondenza di ciascun corpo scaldante



# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione locale per locale

Sistema di regolazione “on-off” con azione di accensione/spegnimento del ventilatore del mobiletto



# **Regolazione dell'impianto di riscaldamento**

## **Sistemi di regolazione centralizzata**

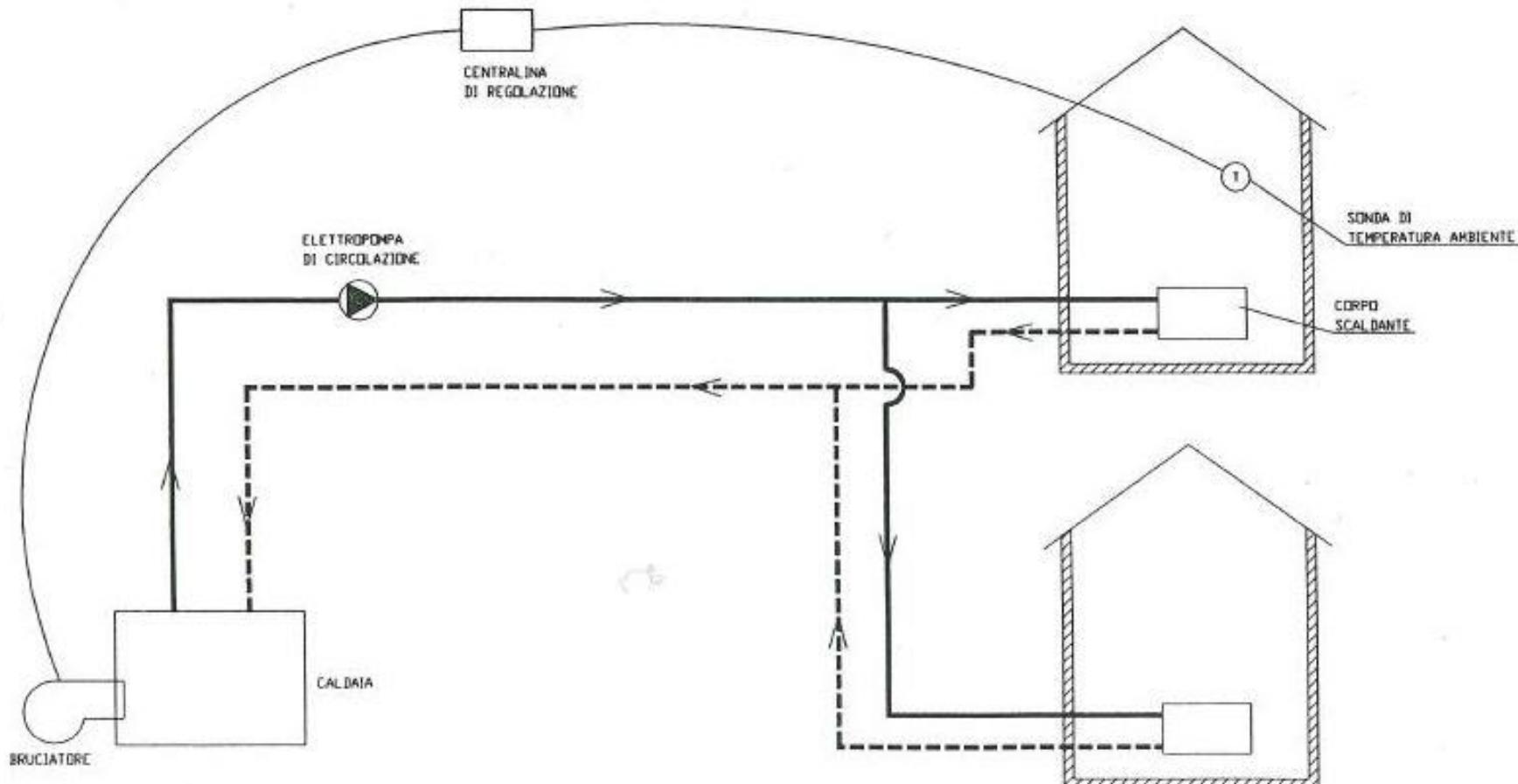
A causa dell'onerosità dei sistemi di regolazione locale per locale in alcuni casi si preferisce installare sistemi di **regolazione centralizzata o di zona**, che necessitano di un numero molto minore di valvole servocomandate e consentono, quindi, di ridurre i costi di impianto.

Di seguito saranno innanzitutto esaminati i principali sistemi di regolazione centralizzata, che si utilizzano in sostituzione o in integrazione ai sistemi di regolazione locale sopra descritti.

# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione centralizzata

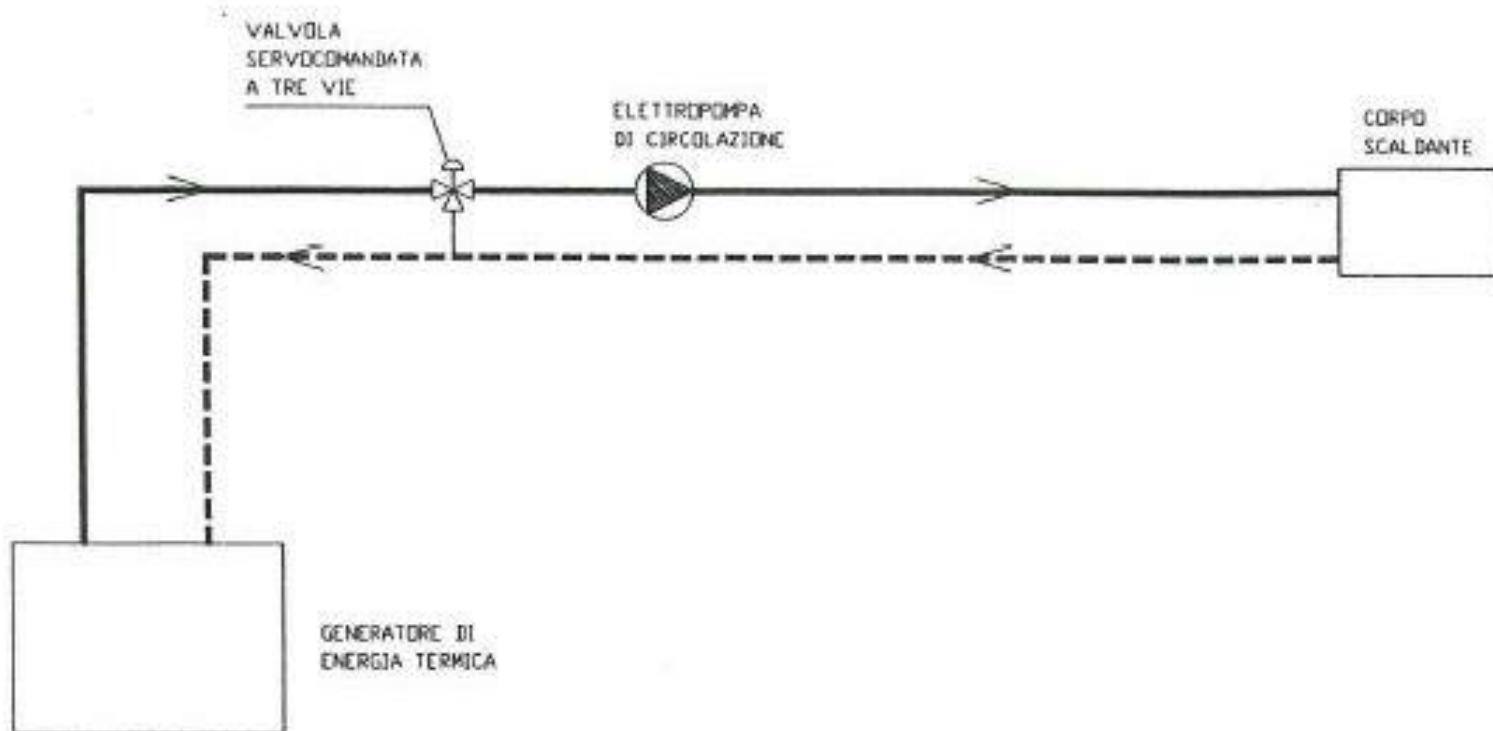
### Regolazione centralizzata con azione sul bruciatore



# **Regolazione dell'impianto di riscaldamento**

## **Sistemi di regolazione centralizzata**

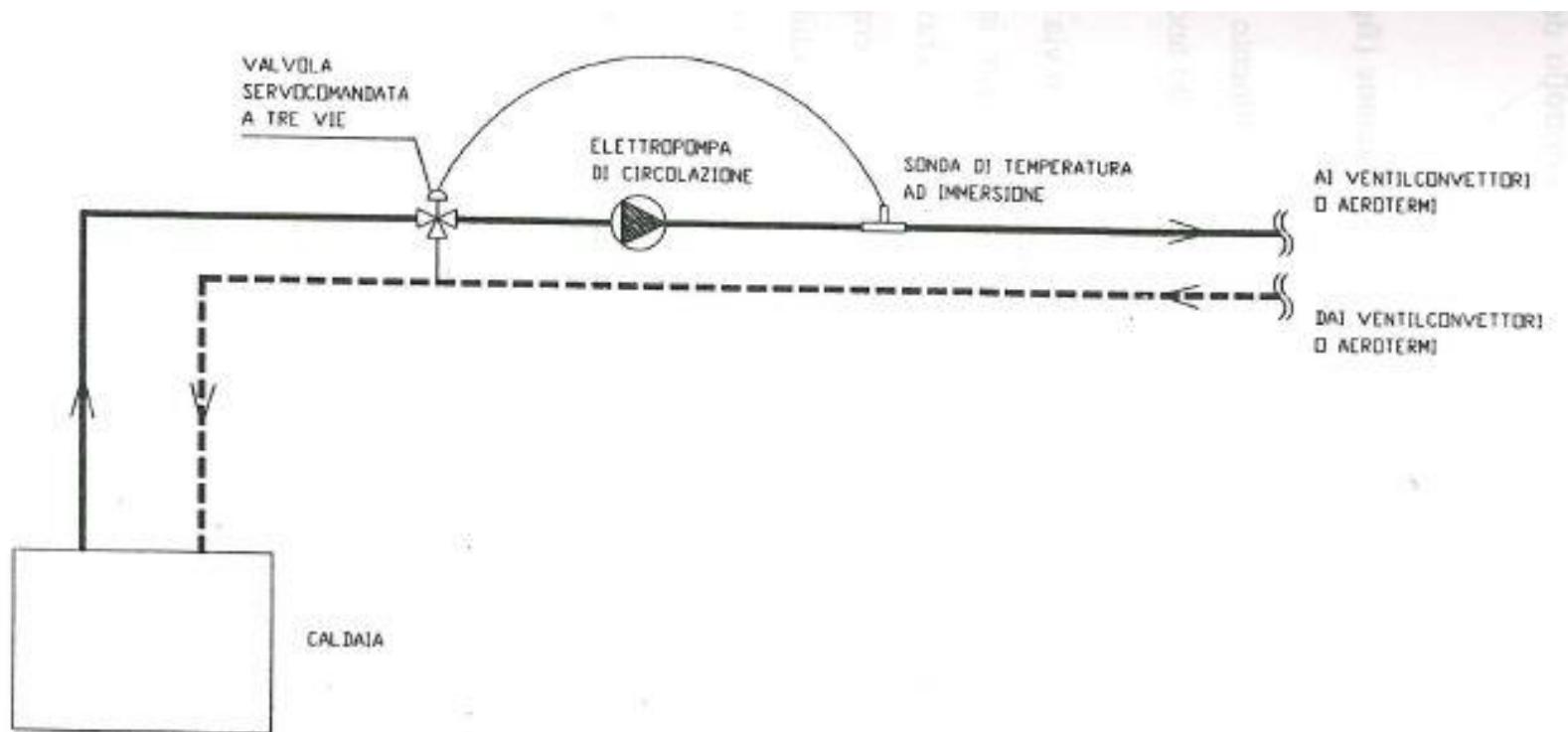
**Sistema di regolazione centralizzata della temperatura dell'acqua di mandata mediante valvola a tre vie e “circuito in miscelazione”**



# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione centralizzata

Sistema di regolazione centralizzata con valvola a tre vie e “circuito in miscelazione” per il controllo della temperatura dell’acqua di mandata nel caso di impianto di riscaldamento con mobiletti ventilconvettori e caldaia tradizionale



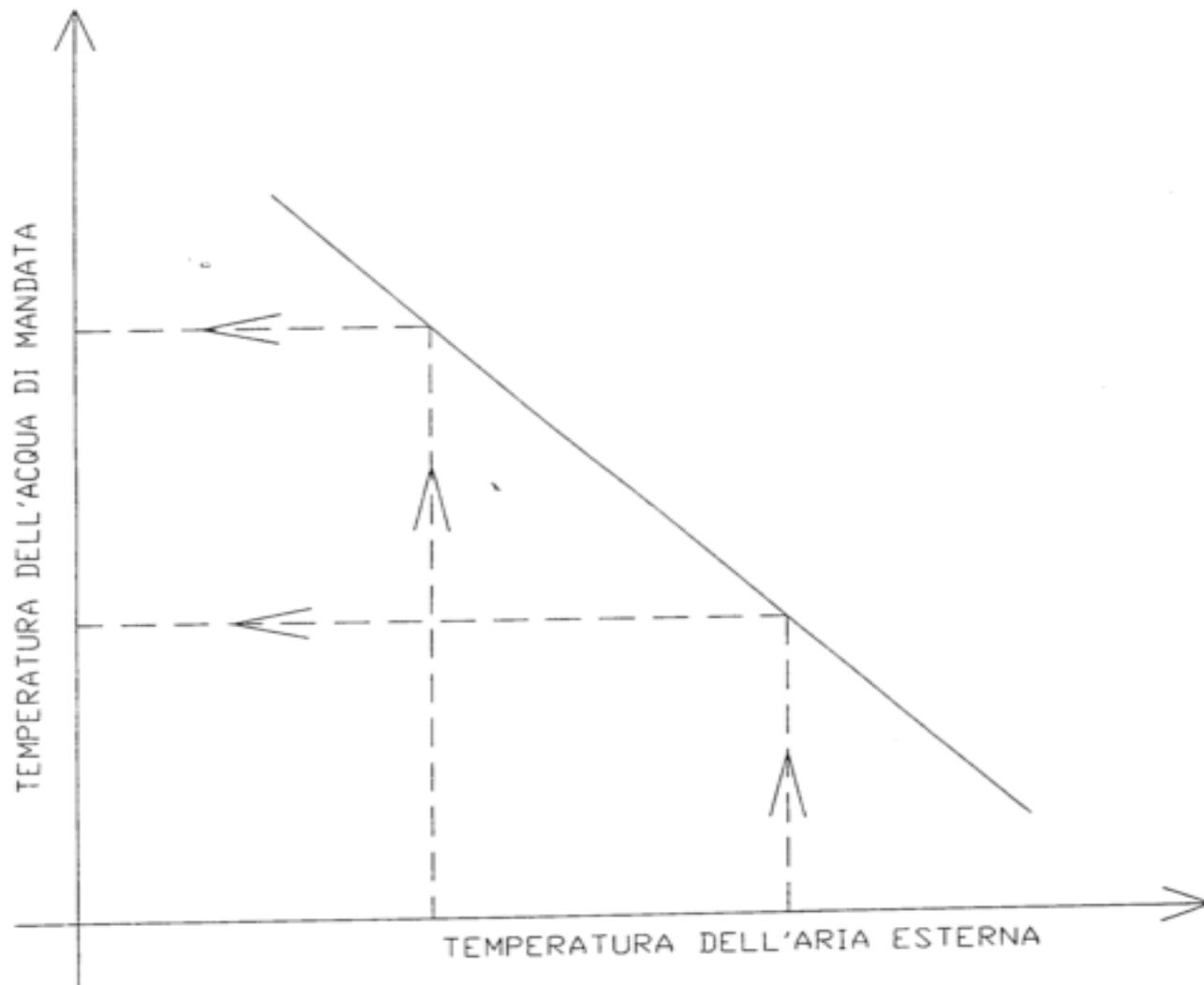
# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione centralizzata:

### REGOLAZIONE (O «COMPENSAZIONE») CLIMATICA

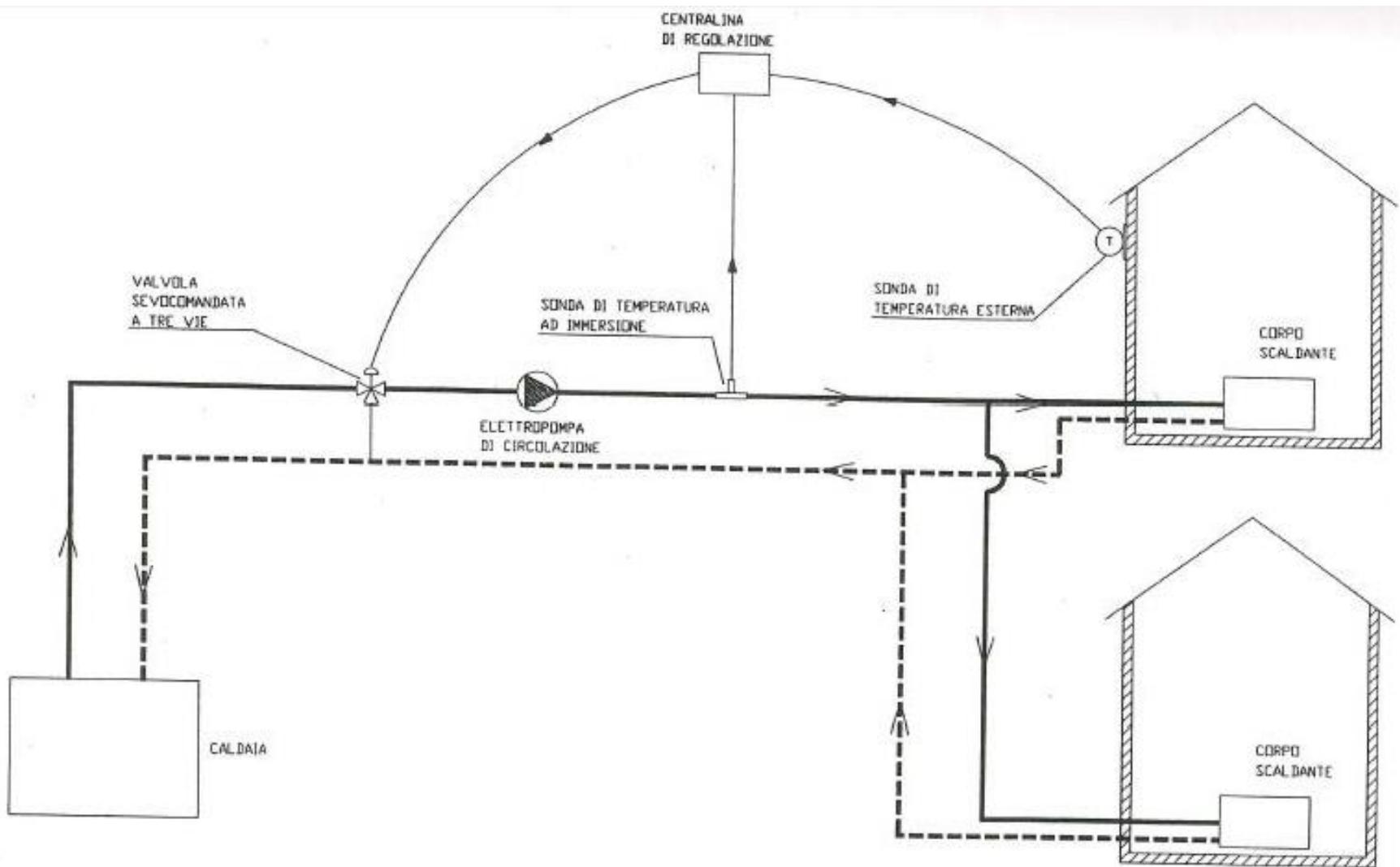
- La logica di base prevede l'adduzione ai corpi scaldanti di **acqua a temperatura via via decrescente con l'aumentare della temperatura esterna** rispetto alle condizioni di progetto: in tal modo si ottiene un risparmio energetico in tutte le condizioni termiche esterne meno gravose rispetto a quelle di progetto. Non vengono però considerati gli apporti gratuiti al carico termico dovuti alla radiazione solare, alla presenza di persone e di apparecchiature interne agli ambienti.
- La **sonda esterna** rileva la temperatura dell'aria esterna e la trasmette alla **centralina** di regolazione climatica, che funziona in base ad una **curva**, associando alla temperatura esterna di progetto la temperatura massima dell'acqua di alimentazione In particolare, la temperatura dell'acqua di mandata viene rilevata da una **sonda ad immersione** posta a valle della valvola a tre vie.

## Sistema di “regolazione climatica”: curva di taratura



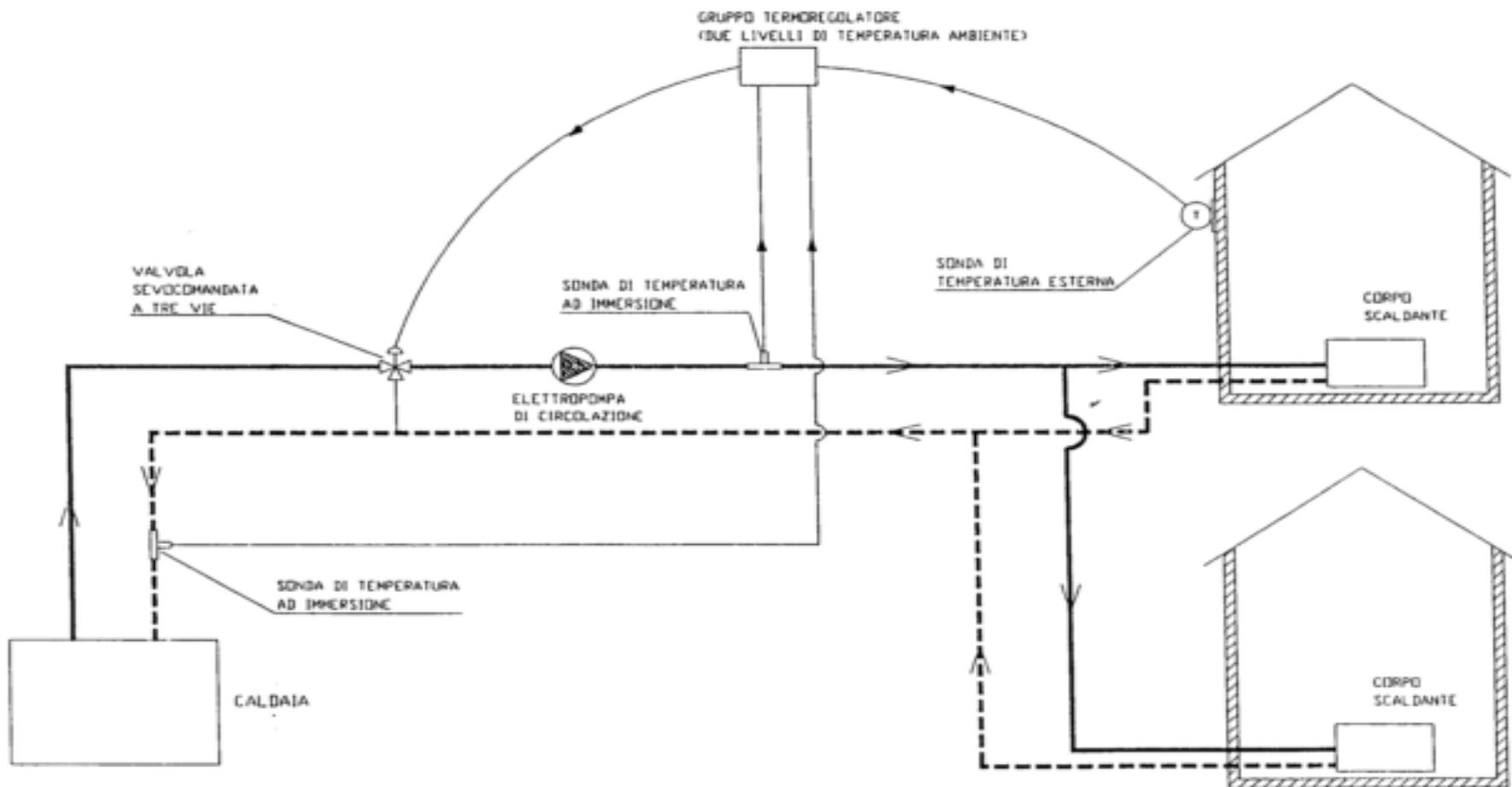
# Sistemi di regolazione centralizzata

## Sistema di “regolazione climatica” con valvola a tre vie e circuito in miscelazione



# Sistemi di regolazione centralizzati

## Regolazione climatica secondo Legge 10/91 (DPR 412/93)



# Regolazione climatica secondo Legge 10/91 (DPR 412/93)

## – doppia curva di taratura

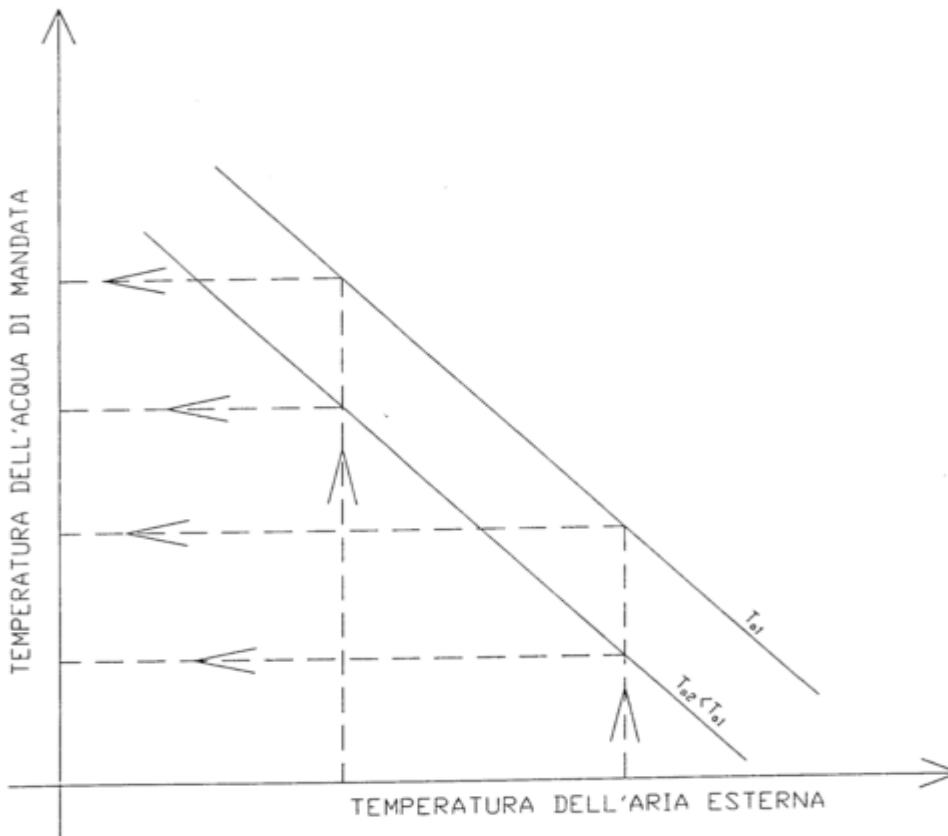
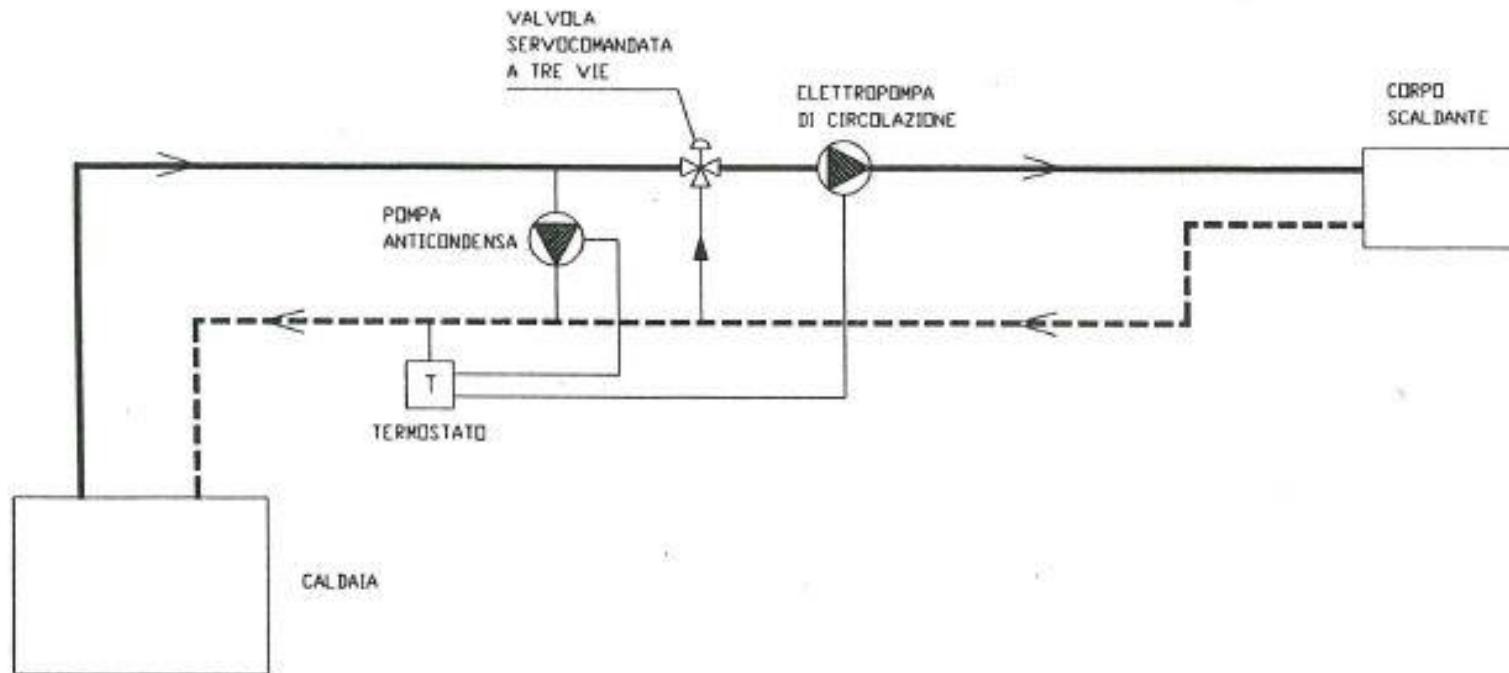


Fig. 4-63: DOPPIA CURVA DI TARATURA PER DUE LIVELLI DI TEMPERATURA AMBIENTE ( $T_{a1}$  e  $T_{a2}$ )

# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione centralizzata

Sistema di regolazione centralizzata della temperatura dell'acqua di mandata mediante valvola a tre vie (“circuito in miscelazione”) e caldaia protetta con pompa anticondensa



# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione di zona

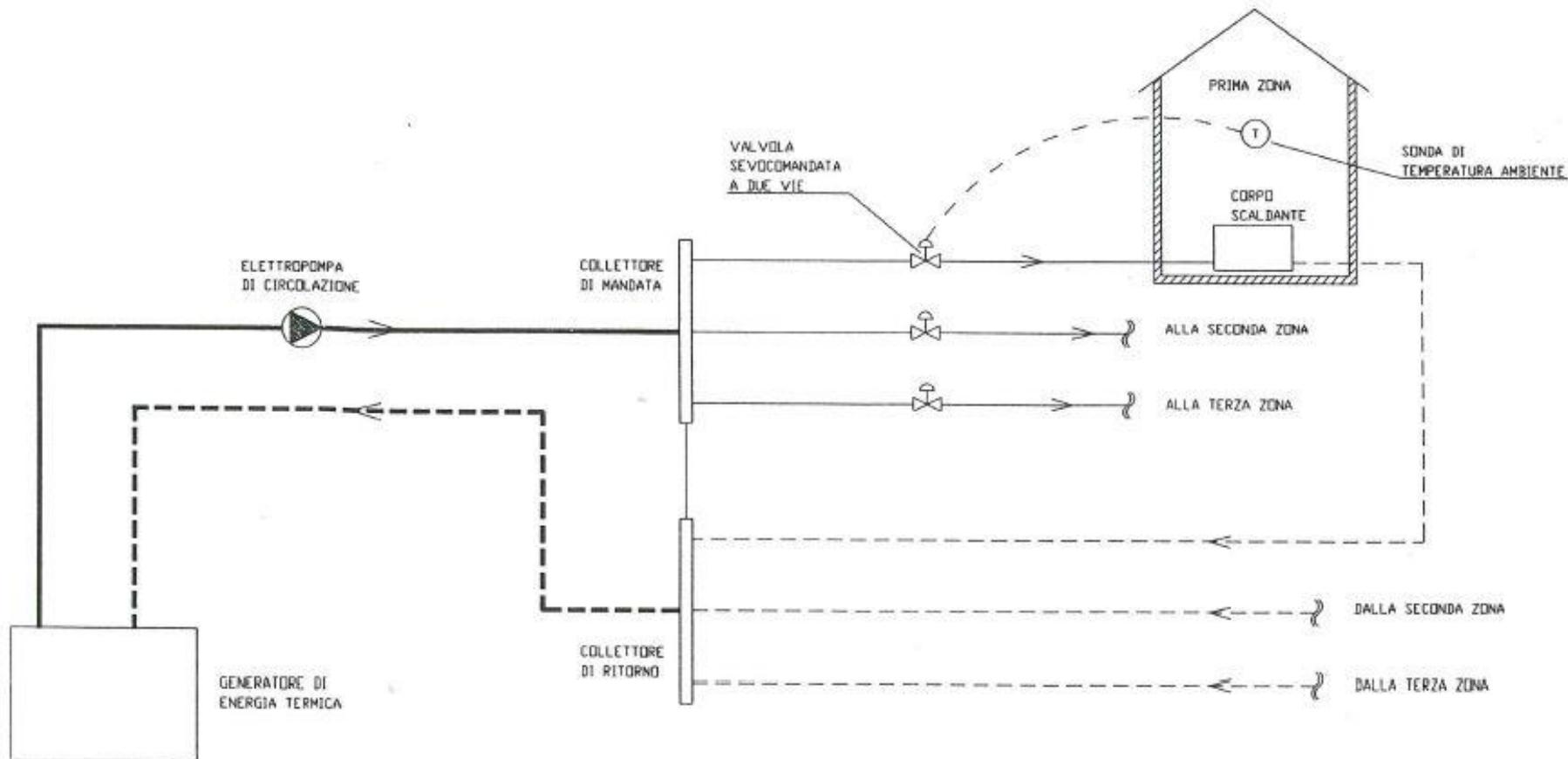
- Si deve innanzitutto osservare che la suddivisione dell'edificio da riscaldare in **“zone termiche”** ( dette anche semplicemente “zone”), può rispondere a due diverse esigenze, relative a due differenti concetti di “zona”:
  - per “zona” si può intendere un insieme di più locali da mantenere tutti alla stessa temperatura e da riscaldare negli stessi intervalli di tempo;
  - per “zona” si può anche intendere un insieme di più locali caratterizzati da andamenti temporali simili dei fabbisogni termici.

Rimane comunque il **limite** intrinseco della regolazione centralizzata, cioè l'impossibilità di garantire stabilmente in tutti gli ambienti la temperatura interna di progetto (20 °C): ciò si può ottenere solo con un sistema di regolazione locale per locale, ovviamente più costoso.

# Regolazione dell'impianto di riscaldamento

## Sistemi di regolazione di zona

Sistema di regolazione con una sola elettropompa ed una valvola a due vie per ogni zona



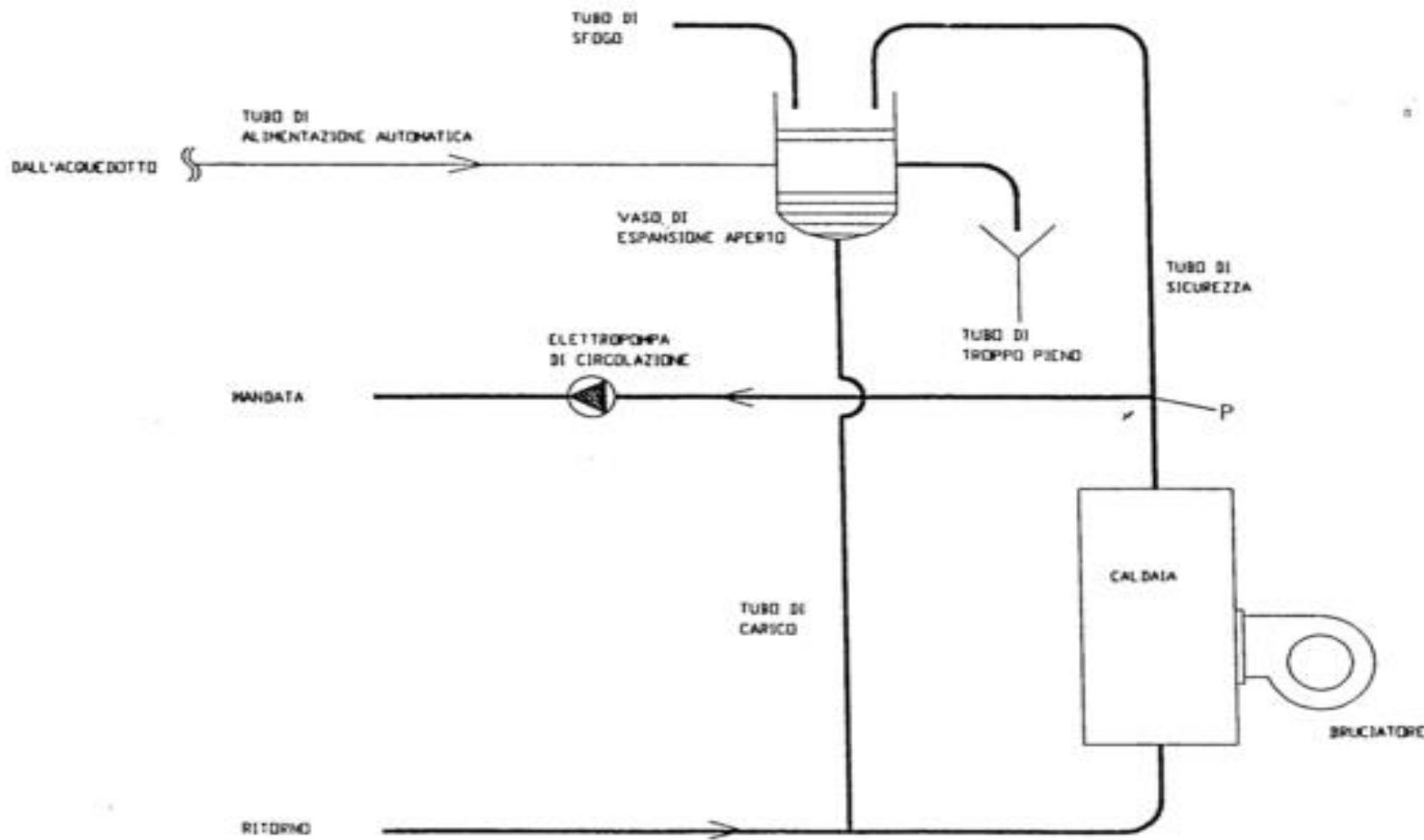
# Vasi di espansione

- L'acqua contenuta in un impianto di riscaldamento, inizialmente prelevata dall'acquedotto ad una temperatura di circa 10÷15 °C, viene successivamente riscaldata dalla caldaia ad una temperatura di circa 80÷90 °C, subendo un aumento di volume specifico e quindi di volume totale: tale **aumento di volume**, se non fosse compensato, provocherebbe un aumento della pressione, con rischi di deformazioni, di perdite e di rottura nelle tubazioni e nelle apparecchiature del circuito idrico.
- Risulta quindi indispensabile che la suddetta espansione del fluido termovettore avvenga non nelle tubazioni dell'impianto ma in un volume appositamente predisposto, detto **vaso di espansione**.
- I vasi di espansione possono essere di tipo **aperto** o **chiuso**, a seconda che l'acqua del vaso sia o meno a contatto con l'atmosfera.

# Vaso di espansione di tipo aperto

- Il vaso aperto è costituito da un recipiente in cemento o in lamiera metallica in cui il fluido termovettore si può espandere liberamente a seguito di un aumento di temperatura; il recipiente, essendo a contatto con l'atmosfera, deve essere installato nel punto più alto raggiunto dall'acqua in circolazione nell'impianto, che altrimenti si scaricherebbe.
- Il vaso aperto deve essere corredata di tubo di sicurezza, tubo di carico, tubo di sfogo, tubo di troppo pieno, tubo di alimentazione automatica.

# Vaso di espansione di tipo aperto



# Vaso di espansione di tipo chiuso

Il vaso di espansione chiuso è caratterizzato dal fatto che l'acqua in esso contenuta non è in contatto con l'atmosfera, e le sue dilatazioni termiche sono possibili perché l'acqua comprime una massa di gas contenuta nel vaso.

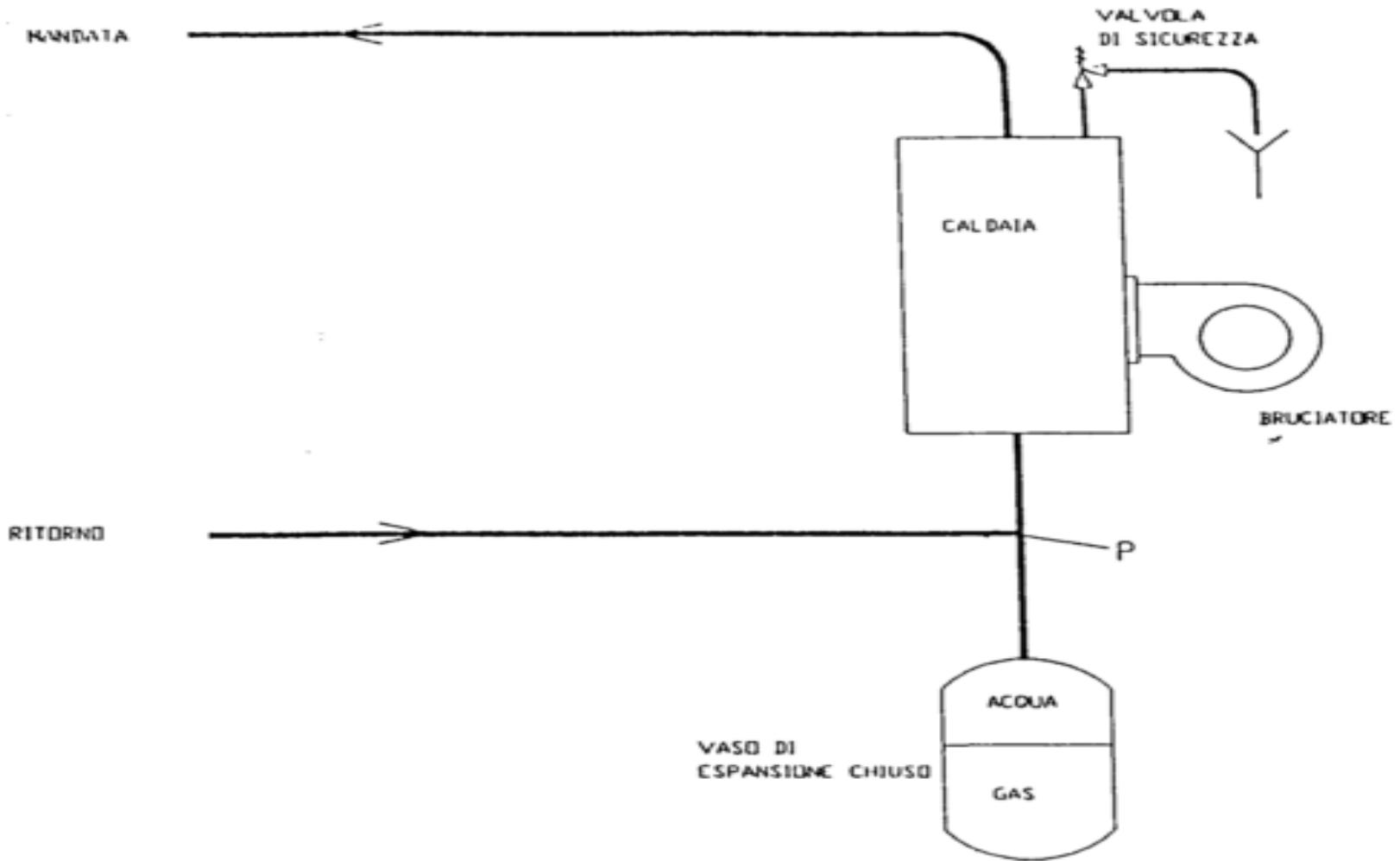
L'adozione di un vaso di espansione chiuso consente alcuni **vantaggi**, di seguito riportati, rispetto a quello di tipo aperto, che sono pertanto sempre meno frequentemente utilizzati.

- A differenza del vaso aperto, che deve essere installato nel punto più alto dell'impianto, il vaso chiuso può essere posizionato in un punto qualunque, il che comporta un risparmio per le tubazioni e soprattutto risparmi e semplificazioni relativi alle **opere murarie**.
- Sono **limitati i rischi di gelo**, poiché il vaso è generalmente installato non all'aperto, ma all'interno della centrale termica.

## Vaso di espansione di tipo chiuso

- Non ci sono rischi di allagamento, che si può invece verificare con impianti a vaso aperto, ad esempio per l'intasamento del tubo di troppo pieno.
- Non essendoci contatto tra acqua ed aria atmosferica, si riduce l'evaporazione di acqua che, nel caso di impianti a vaso aperto, induce l'introduzione nell'impianto di acqua di rinnovo proveniente dall'acquedotto, contenente sali che precipitano provocando la formazione di incrostazioni.
- Inoltre, sempre per la mancanza di contatto tra acqua ed aria atmosferica, si evita che l'acqua assorba aria e quindi si riducono le possibilità di sacche d'aria nell'impianto.
- Svantaggio: maggior pericolosità.

# Vaso di espansione di tipo chiuso



# Dispositivi di sicurezza, protezione e controllo

I dispositivi di sicurezza, protezione e controllo sono organi che garantiscono il regolare funzionamento dell'impianto di riscaldamento, pronti a intervenire in caso di anomalie per **evitare danni a persone e cose.**

I dispositivi in esame sono così catalogati:

- **dispositivi di sicurezza**, azionati dallo stesso fluido controllato, senza necessità di altra forma di energia: servono a garantire che pressione e temperatura non superino i valori limite di progetto;
- **dispositivi di protezione** che intervengono al raggiungimento di un determinato valore del parametro controllato (temperatura e pressione), agendo sul bruciatore della caldaia prima che entrino in funzione i dispositivi di sicurezza; come si vedrà più avanti, talvolta possono essere anche utilizzati come dispositivi di regolazione;
- **dispositivi di controllo**, atti a consentire la lettura della temperatura e della pressione del fluido.

# Dispositivi di sicurezza, protezione e controllo

## Sono dispositivi di sicurezza:

- a1) tubo di sicurezza;
- a2) valvola di sicurezza;
- a3) valvola di scarico termico (anche detto scarico di sicurezza termico);
- a4) valvola di intercettazione del combustibile.

## Sono dispositivi di protezione:

- b1) termostato (o interruttore termico automatico) di regolazione;
- b2) termostato (o interruttore termico automatico) di blocco (a riarmo manuale);
- b3) pressostato di blocco (a riarmo manuale);
- b4) flussostato o asservimento del bruciatore alle elettropompe.

## Sono dispositivi di controllo:

- c1) termometro, corredata di pozzetto termometrico per l'applicazione di un termometro di controllo;
- c2) indicatore di pressione (manometro o idrometro), corredata di flangia (o di rubinetto portamanometro) per l'applicazione di un manometro di controllo.

*Per il dimensionamento del vaso di espansione e degli organi di sicurezza, si rimanda al libro.*

# Dispositivi di sicurezza, protezione e controllo nel caso di vaso di espansione aperto

## ■ VASO DI ESPANSIONE APERTO

## ■ DISPOSITIVI DI SICUREZZA:

TUBO DI SICUREZZA

## ■ DISPOSITIVI DI PROTEZIONE:

1 = THERMOSTATO DI BLOCCO A RIARMO MANUALE

## ■ DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE:

TR = THERMOSTATO DI REGOLAZIONE

## ■ DISPOSITIVI DI CONTROLLO:

T = TERMOMETRO (MONO SCALA  $\leq 120^\circ\text{C}$ )

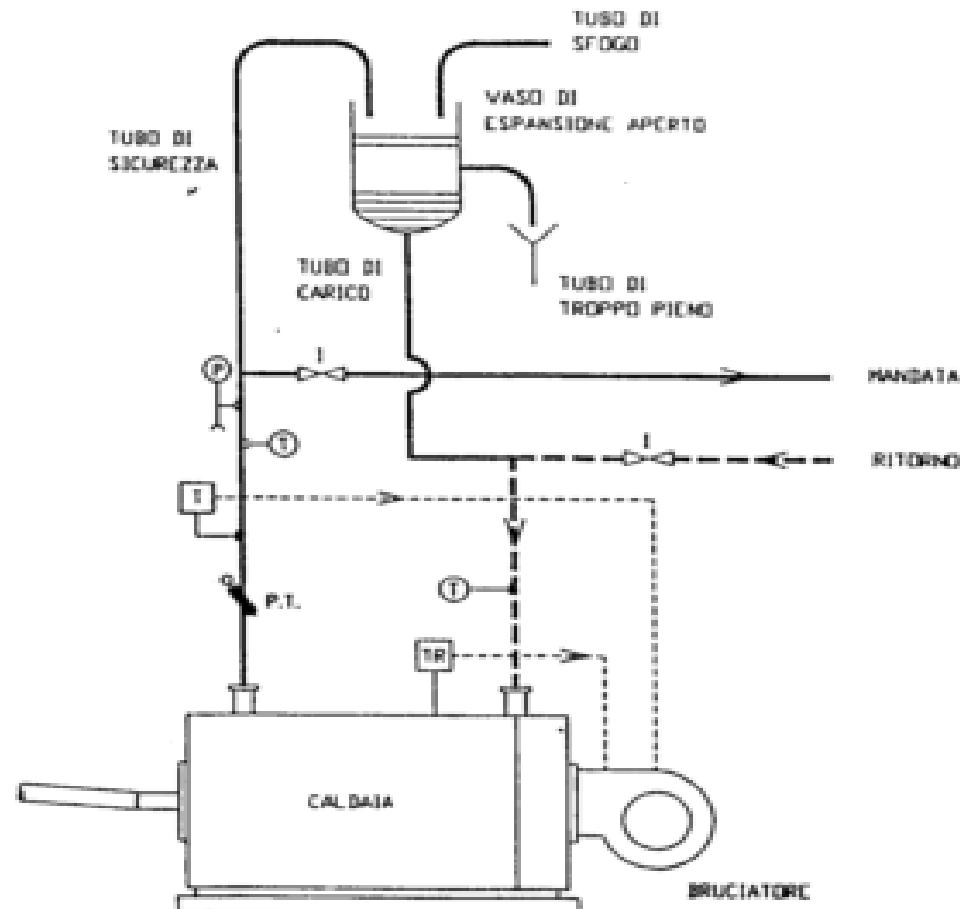
P.T. = FORZETTO TERMOMETRICO AD ASSE VERTICALE O

INCLINATO PER APPLICAZIONE DI UN TERMOMETRO DI CONTROLLO

HM = MANOMETRO CON RUBINETTO PORTAMANOMETRO

## ■ ALTRI DISPOSITIVI:

I = VALVOLA DI INTERCETTAZIONE



# Dispositivi di sicurezza, protezione e controllo nel caso di vaso di espansione chiuso

## \* VASO DI ESPANSIONE CHIUSO

## \* DISPOSITIVI DI SICUREZZA:

VS = VALVOLA DI SICUREZZA

## \* DISPOSITIVI DI PROTEZIONE:

T = THERMOSTATO DI BLOCCO A RIARMO MANUALE

P = PRESSOSTATO DI BLOCCO A RIARMO MANUALE

F = FLUSSOSTATO (O ASSERVIMENTO DEL BRUCIATORE ALLE ELETROPOMPE)

## \* DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE:

TR = THERMOSTATO DI REGOLAZIONE

## \* DISPOSITIVI DI CONTROLLO:

T = TERMOMETRO (FONDO SCALA  $\leq 120^{\circ}\text{C}$ )

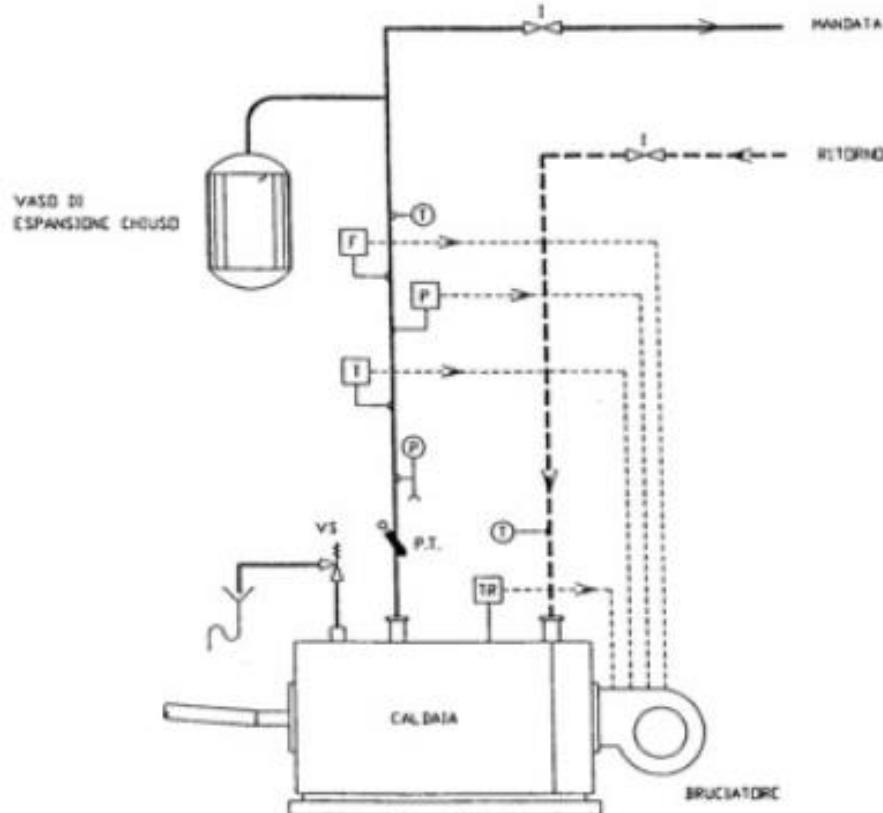
P.T. = POZZETTO TERMOMETRICO AD ASSE VERTICALE O

INCLINATO PER APPLICAZIONE DI UN TERMOMETRO DI CONTROLLO

P = MANOMETRO CON RUBINETTO PORTAMANOMETRO

## \* ALTRI DISPOSITIVI:

I = VALVOLA DI INTERCETTAZIONE



# CAMINI E CANNE FUMARIE

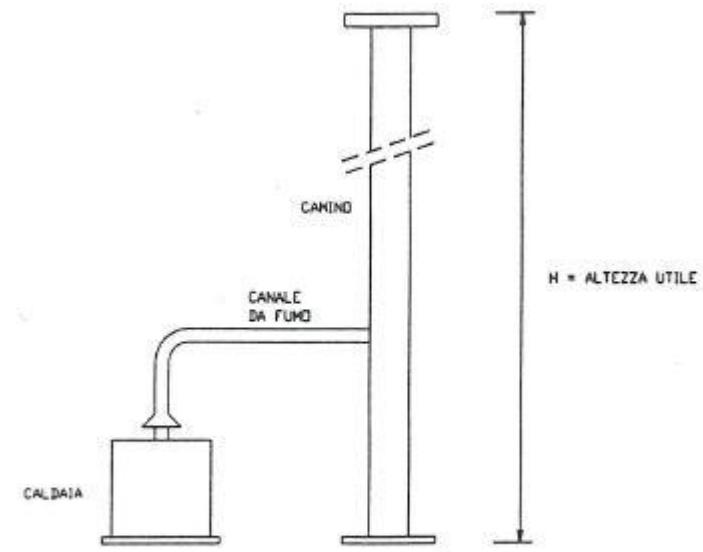
Ogni impianto termico deve essere fornito di un sistema atto allo smaltimento dei prodotti del processo di combustione, ossia fumi ed, eventualmente, cenere.

Il sistema di smaltimento è in genere costituito da un insieme di canalizzazioni attraversate dai fumi.

I tratti sub-orizzontali sono detti “**canali da fumo**”.

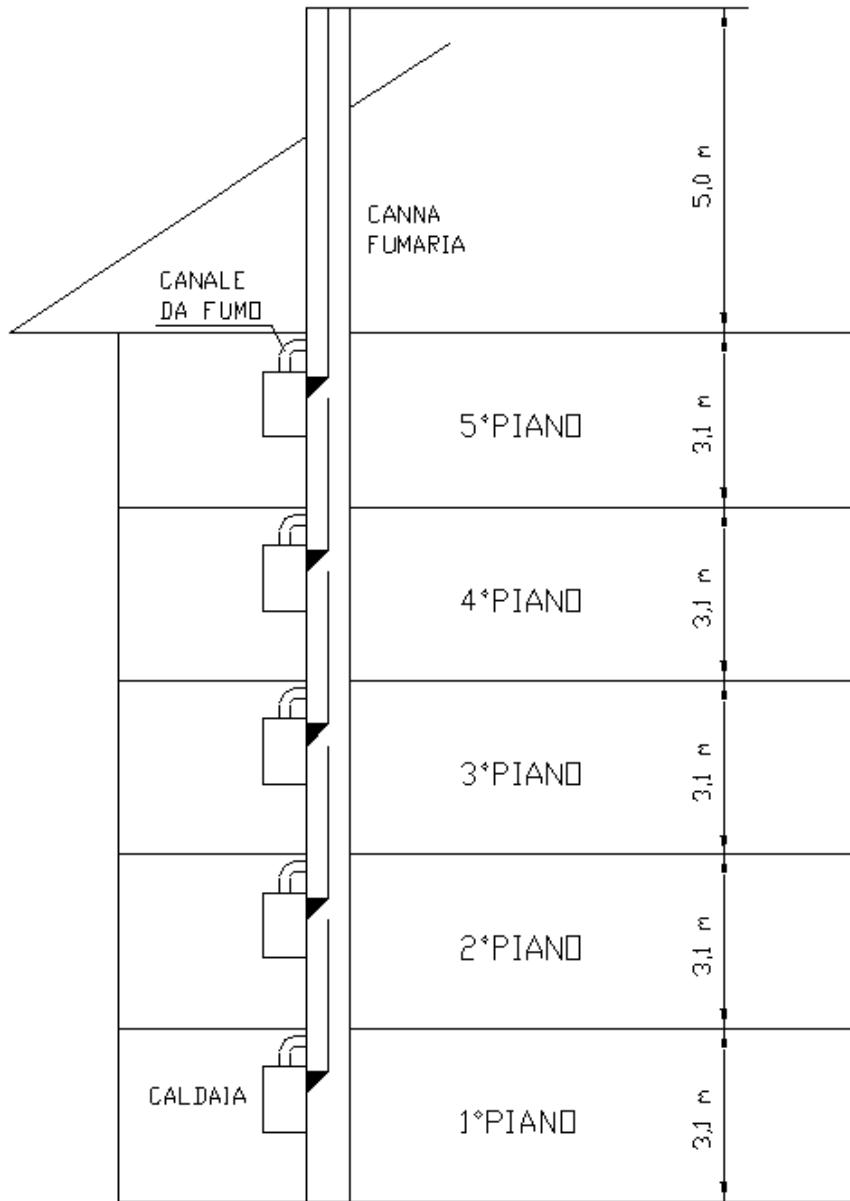
Le porzioni verticali dei canali, sono dette **“camini”**.

Più in particolare, si parla di **“camini”** quando i fumi provengono da un solo apparecchio, di **“canne fumarie”**, quando smaltiscono i fumi provenienti da più apparecchi posti su più piani.



L'evacuazione dei prodotti della combustione è consentita dal **"tiraggio naturale"** del camino (o canna fumaria), ovvero dal moto ascensionale dei fumi, dovuto al fatto che i fumi (più caldi) sono caratterizzati da una minor densità rispetto all'aria circostante (più fredda).

**Il tiraggio è proporzionale all'altezza del camino ed alla differenza di densità dell'aria esterna e dei fumi, determinata dalla differenza di temperatura.**



## **Tiraggio naturale del camino**

Il tiraggio (depressione)  $\Delta p$  (Pa) è proporzionale all'altezza  $H$  (m) del camino (misurata tra il piano mediano della fiamma e lo sbocco del camino) ed alla differenza di densità dell'aria esterna e dei fumi<sup>19</sup>  $\rho_{\text{aria}} - \rho_{\text{mediofumi}}$  ( $\text{kg/m}^3$ ):

$$\Delta p = H \cdot (\rho_{\text{aria}} - \rho_{\text{mediofumi}}) \cdot g$$

Poiché mediamente, nel campo di interesse,

$$\rho_{\text{aria}} - \rho_{\text{mediofumi}} = 1,2 - 0,85 = 0,35 \text{ kg/m}^3,$$

E' opportuno notare che i restringimenti di camini e canne fumarie sono da evitarsi; qualora ciò non sia possibile è meglio realizzare un restringimento graduale.

Se il tiraggio risulta insufficiente, i fumi tendono a ristagnare nella camera di combustione, ostacolando la combustione stessa.

Il ruolo espletato dal camino nel funzionamento dell'impianto è rilevante, in quanto il corretto smaltimento dei fumi non solo migliora le prestazioni dell'impianto stesso, ma consente inoltre di ridurre al minimo il danno ambientale provocato dai prodotti della combustione.

Lo smaltimento dei fumi può anche essere attivato da mezzi meccanici: **“tiraggio forzato”** o **“tiraggio meccanico”**.

## Alcune indicazioni del D.P.R. 412/93 sui camini

Il D.P.R. 412/93 fa riferimento in più punti al sistema caldaia-camino:

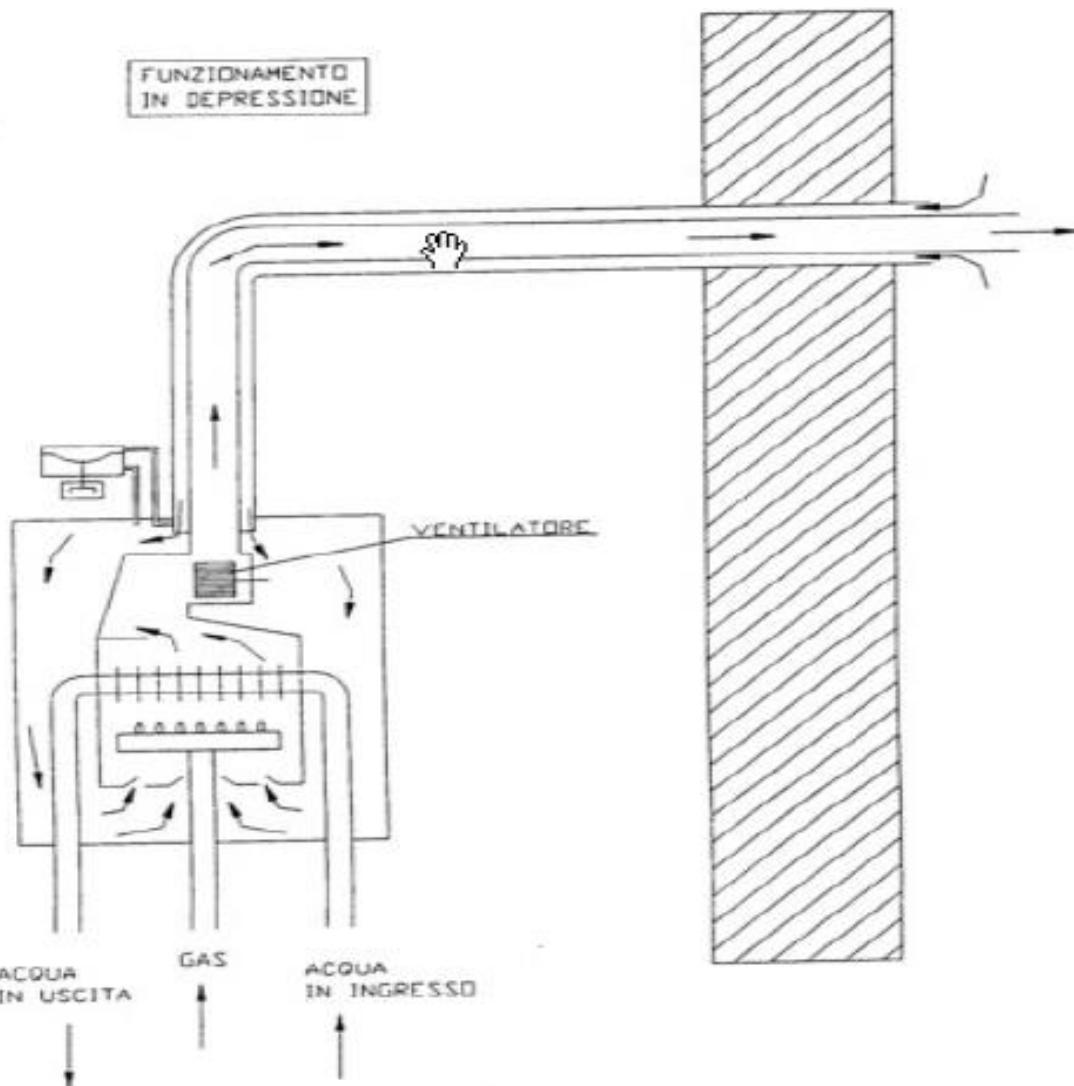
- obbligatorietà di almeno un punto di prelievo dei prodotti della combustione sul condotto tra il generatore ed il camino per la determinazione del rendimento di combustione e della composizione dei gas di scarico ai fini del rispetto delle normative vigenti;
- obbligatorietà, per gli edifici multipiano, di condotti di evacuazione dei fumi con sboocco sopra il tetto dell'edificio;
- obbligatorietà di impiego di generatori isolati rispetto all'ambiente abitato (caldaie a camera stagna), da realizzare ad esempio mediante apparecchi di tipo C.

Gli apparecchi a gas vengono classificati in base al metodo di prelievo dell'aria comburente e di scarico dei prodotti della combustione.

**Tipo A** - apparecchio non previsto per il collegamento a canna fumaria o a dispositivo di scarico dei prodotti della combustione all'esterno del locale in cui l'apparecchio è installato.

**Tipo B** - apparecchio previsto per il collegamento a canna fumaria o a dispositivo di scarico dei prodotti della combustione, posti all'esterno del locale in cui l'apparecchio è installato.

**Tipo C** - apparecchio il cui circuito di combustione (prelievo dell'aria comburente, camera di combustione, scambiatore di calore e scarico dei prodotti della combustione) è a tenuta rispetto all'ambiente in cui l'apparecchio è installato. Sia il prelievo dell'aria comburente che lo scarico dei fumi avvengono direttamente all'esterno del locale.



SCHEMA DI APPARECCHIO DI TIPO C<sub>12</sub> (CONDOTTI CONCENTRICI)  
E VENTILATORE A VALLE DELLA CAMERA DI COMBUSTIONE)

La determinazione della sezione del camino va effettuata in base alla UNI 7129 ed alla UNI 9615.

Il metodo di dimensionamento previsto dal DPR 1391/70, sebbene approssimato e superato, può essere però indicativo delle dipendenze dai vari parametri in gioco:

$$S = K \cdot \frac{Q}{\sqrt{h}}$$

in cui:

S = area della sezione del camino

Q = portata termica o potenza termica al focolare

h = altezza virtuale del camino

K = coefficiente dipendente dal tipo di combustibile

## LOCALE CENTRALE TERMICA

Nel locale adibito a **centrale termica** (o **centrale termofrigorifera**), *necessario solo per caldaie di potenza termica superiore a 35 kW*, sono ubicati:

- componenti necessari per produrre l'acqua calda e refrigerata;
- collettori principali di distribuzione;
- pompe di circolazione;
- vasi di espansione (nel caso di vaso chiuso);
- dispositivi di sicurezza, protezione, controllo e regolazione di caldaie e gruppi frigoriferi;
- quadro elettrico principale dell'impianto;
- circuiti idrici di centrale.

Talvolta sono anche presenti le seguenti apparecchiature:

- scambiatori di calore;
- apparecchiature per l'addolcimento dell'acqua di reintegro dell'impianto di riscaldamento;
- serbatoio di servizio per impianti alimentati con olio combustibile.

La centrale termica o terмоfrigorifera può essere ubicata in un manufatto separato dall'edificio (locale esterno) o nell'edificio stesso (in genere in copertura, o a livello stradale, o al 1° livello interrato).

Ubicazione, struttura e caratteristiche delle centrali termiche sono vincolati da leggi, norme, circolari. I principali riferimenti legislativi relativi alle centrali termiche sono:

- D.P.R. n. 1391 del 22.12.1970
- Ministero degli Interni - Circolare n. 73 del 29.7.1971
- D.M. del 12 Aprile 1996

I principali disposti di legge inerenti il locale centrale termica riguardano ubicazione, caratteristiche costruttive, dimensioni, accesso e comunicazioni, porte, aperture di ventilazione (anche dette aperture di aerazione).

# Rete di adduzione (e serbatoi per il deposito) di combustibili gassosi e liquidi

Innanzitutto si calcola la **portata massica del combustibile** da addurre alla caldaia:

$$\dot{m} = \frac{P_{foc}}{\text{PCI}} = \frac{P_u}{\text{PCI} \cdot \eta_u}$$

in cui:

$m$  è la portata (massica) del combustibile, kg/s (kg/h);

$P_{foc}$  è la potenza termica al focolare della caldaia, kW (kcal/h);

$\text{PCI}$  è il potere calorifico inferiore del combustibile, kJ/kg (kcal/kg);

$P_u$  è la potenza termica utile della caldaia, kW (kcal/h);

$\eta_u$  è il rendimento termico utile della caldaia.

# Rete di adduzione (e serbatoi per il deposito) di combustibili gassosi e liquidi

La portata di combustibile ricavata, nel caso di combustibile liquido o gassoso, deve essere veicolata alla caldaia mediante opportune tubazioni.

Per descrivere le reti di adduzione ed i serbatoi per il deposito dei combustibili, è opportuno distinguere a seconda del tipo di combustibile: **gas di rete, gas di petrolio liquefatto (G.P.L.), olio combustibile o gasolio.**

Anche gli obblighi normativi e le prescrizioni per la sicurezza dipendono dal tipo di combustibile.

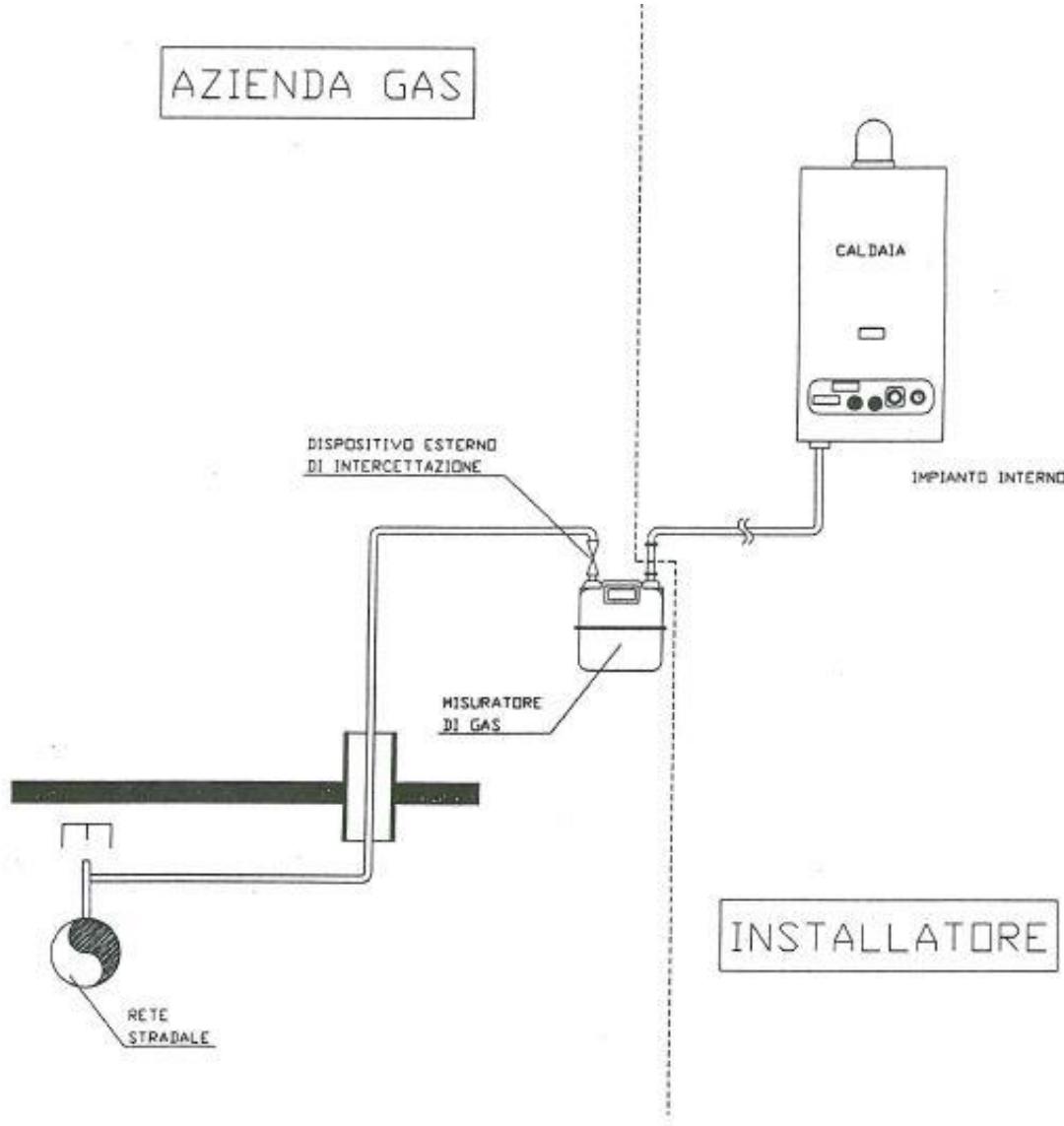
# Impianti alimentati con gas di rete

**Il combustibile gassoso veicolato nelle reti cittadine è il *gas naturale*, anche detto *gas metano* poiché il metano è il suo principale componente chimico.**

Per ciascun impianto funzionante a gas di rete, sia per riscaldamento che per produzione di acqua calda sanitaria, si ha una “*derivazione*” o “*allacciamento*” dal circuito stradale, generalmente di competenza della azienda locale distributrice del gas. A valle della derivazione sono necessari:

- ***dispositivo esterno di intercettazione*** dell'afflusso di gas al bruciatore, da porre all'esterno dell'edificio ed in posizione raggiungibile con facilità e sicurezza;
- ***misuratore di gas (contatore)***, da porre in nicchia aerata e in luogo asciutto all'esterno dello stabile ed in posizione sempre accessibile.

# Impianti alimentati con gas di rete



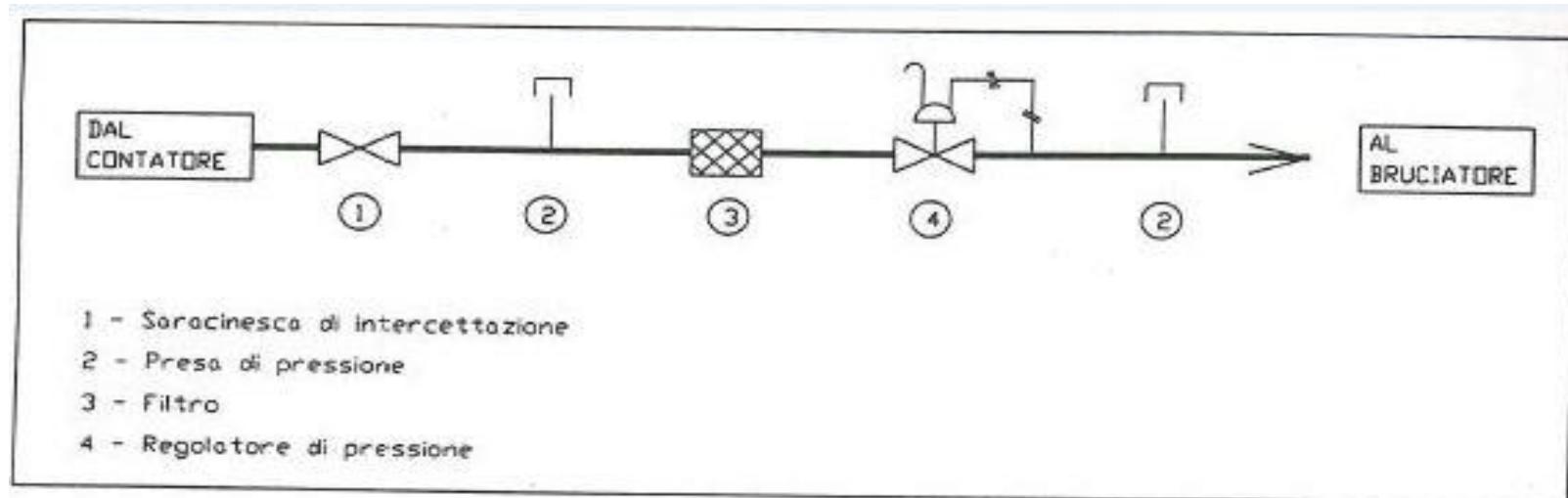
# Impianti alimentati con gas di rete

## Linea di alimentazione del gas al bruciatore – Rampa gas:

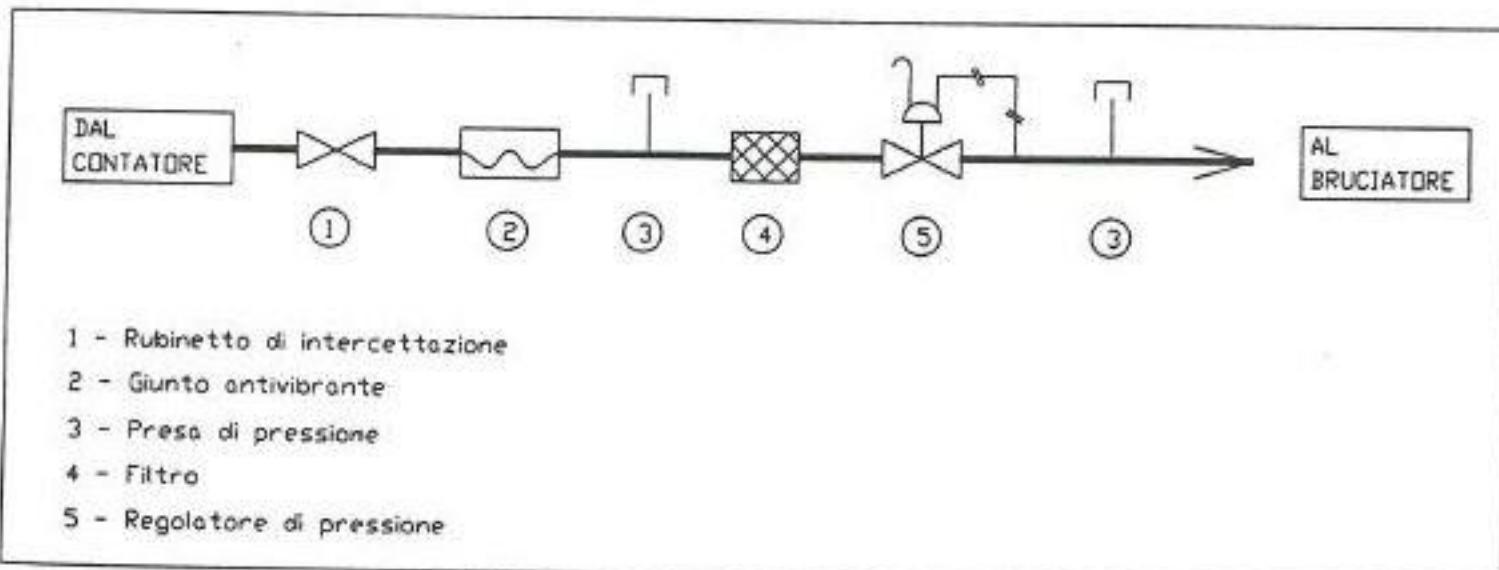
La linea di adduzione del gas, per impianti di riscaldamento con potenzialità minore di 35 kW, deve essere corredata dei seguenti dispositivi, generalmente già incorporati nel generatore:

- saracinesca di intercettazione;
- filtro, per trattenere le impurità contenute nel gas;
- presa di pressione del gas, per la misura della pressione del gas;
- regolatore di pressione, per mantenere costante la pressione di alimentazione del bruciatore.

# Linea di alimentazione del gas al bruciatore – “Rampa gas”



A- Per impianti di riscaldamento con potenzialità minore di 35 kW (30000 kcal/h)



B- Per impianti di riscaldamento con potenzialità maggiore di 35 kW (30000 kcal/h)

# Impianti alimentati con gas di rete

Per impianti di riscaldamento con potenzialità maggiore di 35 kW l'impianto di adduzione del gas al bruciatore è costituito da:

- linea di alimentazione del gas**, che va dalla zona a valle del contatore alla rampa del bruciatore e deve essere corredata di *rubinetto di intercettazione* ubicato all'esterno della centrale termica;
- **rampa di adduzione gas (rampa gas)**, provvista di:
  - rubinetto di intercettazione*;
  - filtro*, per trattenere le impurità contenute nel gas;
  - giunto antivibrante*;
  - presa di pressione del gas*;
  - regolatore di pressione*, per mantenere costante la pressione di alimentazione del bruciatore.

# **Rete di adduzione (e serbatoi per il deposito) di combustibili gassosi e liquidi**

## **Materiale delle tubazioni per gas**

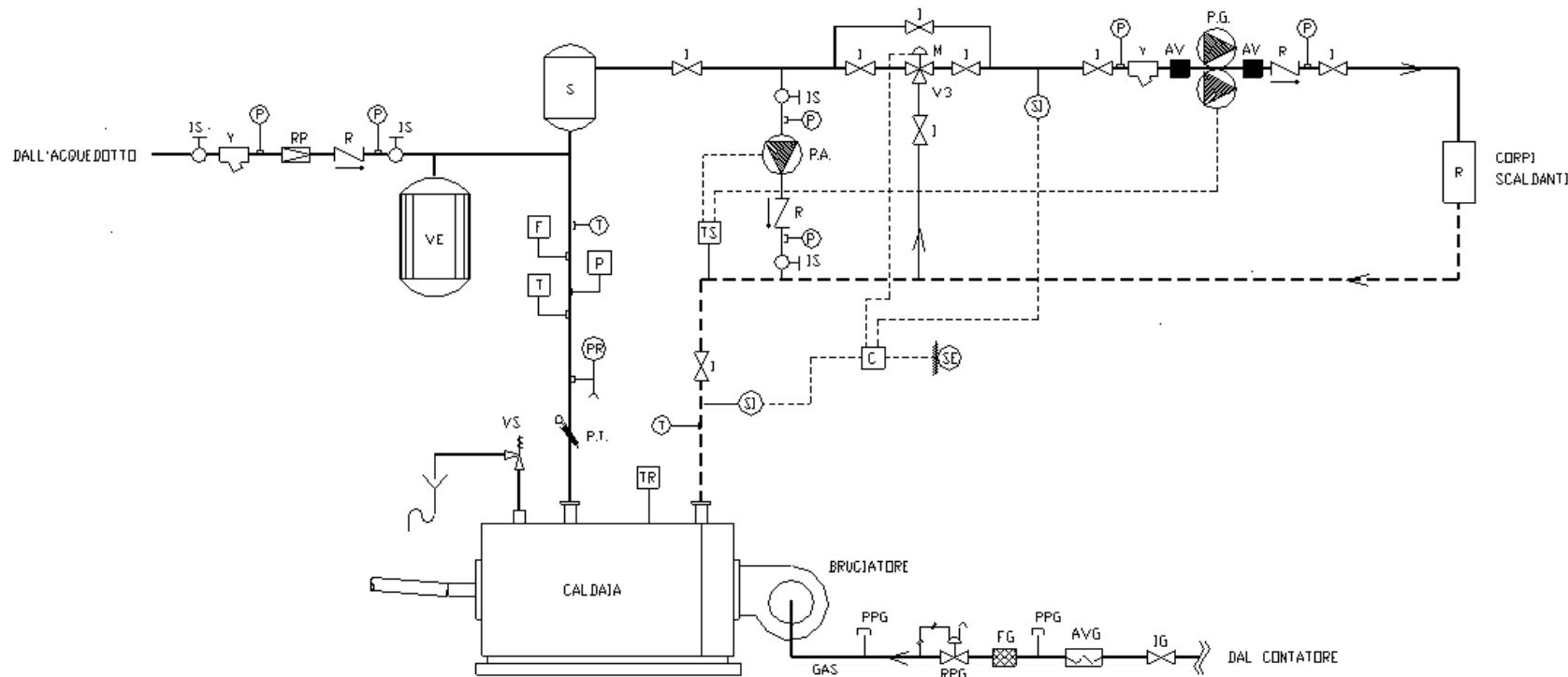
**Sono ammessi tubi in rame, acciaio, polietilene** (il riferimento normativo è il D.M. del 12 Aprile 1996, “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l’esercizio degli impianti termici alimentati da combustibili gassosi”).

# **Schema funzionale complessivo del circuito idrico di un impianto di riscaldamento**

Viene presentato, infine, un possibile schema funzionale del circuito idrico di un impianto di riscaldamento. Si notano i componenti in precedenza descritti, tra cui:

- *la caldaia a gas;*
- *vaso di espansione chiuso dotato di diaframma;*
- *elettropompa di tipo gemellare, con valvole di intercettazione, filtro “a y” e valvola di non ritorno;*
- *corpi scaldanti (ad esempio, radiatori);*
- *pompa anticondensa;*
- *dispositivi necessari al riempimento dell’impianto (“gruppo di riempimento impianto”) ed al reintegro automatico dell’acqua dall’acquedotto.*

SCHEMA FUNZIONALE COMPLESSIVO DEL CIRCUITO IDRICO DI UN IMPIANTO DI RISCALDAMENTO  
CON VASO DI ESPANSIONE CHIUSO CON DIAFRAMMA E COMBUSTIBILE GASSOSO



C = GRUPPO TERMOREGOLATORE

S1 = SONDA DI TEMPERATURA AD IMMERSIONE

SE = SONDA DI TEMPERATURA ESTERNA

V3 = VALVOLA MOTORIZZATA A 3 VIE MISCELATRICE

M = SERVOCOMANDO VALVOLA A 3 VIE

P.G. = ELETTROPOMPA GEMELLARI

P.A. = ELETTROPOMPA ANTICONDENSA

P = MANOMETRO

Y = FILTRO AD Y

AV = GIUNTO ANTIVIBRANTE

R = VALVOLA DI NON RITORNO

J = VALVOLA DI INTERCETTAZIONE

IS = VALVOLA DI INTERCETTAZIONE A SFERA

VE = VASO DI ESPANSIONE CHIUSO CON DIAFRAMMA

VS = VALVOLA DI SICUREZZA

T = TERMOSTATO DI REGOLAZIONE

T = TERMOSTATO DI BLOCCO A RIARMO MANUALE

P = PRESSOSTATO DI BLOCCO A RIARMO MANUALE

F = FLUSSOSTATO

PR = MANOMETRO CON RUBINETTO PORTAMANOMETRO

T = TERMOMETRO (FONDO SCALA < 120°C)

P.T. = POZZETTO TERMOMETRICO

S = SEPARATORE D'ARIA

RP = RIDUTTORE DI PRESSIONE

PPG = PRESA DI PRESSIONE PER GAS

RPG = REGOLATORE DI PRESSIONE PER GAS

FG = FILTRO PER GAS

AVG = GIUNTO ANTIVIBRANTE PER GAS

JG = RUBINETTO DI INTERCETTAZIONE PER GAS

**Elaborati progettuali:** i documenti, indicati anche come “elaborati”, vengono generalmente distinti in:

### **Elaborati descrittivi:**

- relazione tecnica
- capitolato speciale d'appalto
- elenco prezzi unitari
- analisi dei prezzi
- computo metrico estimativo

### **Elaborati grafici:**

- planimetria generale con distribuzione impianti
- schema funzionale impianti
- schema idrico funzionale di centrale termofrigorifera
- schemi altimetrici/assonometrici
- tavole con distribuzione impianti
- particolari costruttivi e di installazione
- schemi di regolazione
- quadri elettrici

# Una possibile sequenza progettuale:

