

# IVAR

---

HYDRONIC COMPONENTS & SYSTEMS

# L'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E IL GENERATORE

# ■ IMPIANTI DI RISCALDAMENTO

Apparecchiature atte ad **assicurare il mantenimento di una determinata temperatura all'interno di uno spazio confinato**. Possono essere classificati:

- 1- sulla base del tipo di calore scambiato:
  - sensibile;
  - latente;
- 2- sulla base della presenza o meno di un **circuito** di distribuzione;
- 3- sulla base della tipologia dei terminali:
  - **radiatori**;
  - **pannelli radianti**;
  - ventilconvettori;
- 4- sulla base del fluido termovettore:
  - **acqua**;
  - vapore;
  - aria;
- 5- sulla base del tipo di generatore:
  - **caldaia**;
  - pompa di calore;
- 6- sulle condizioni di moto del fluido.

# ■ RENDIMENTO GLOBALE \1

Quali sono i parametri che vanno ad incidere sulla **resa complessiva dell'impianto di riscaldamento**?

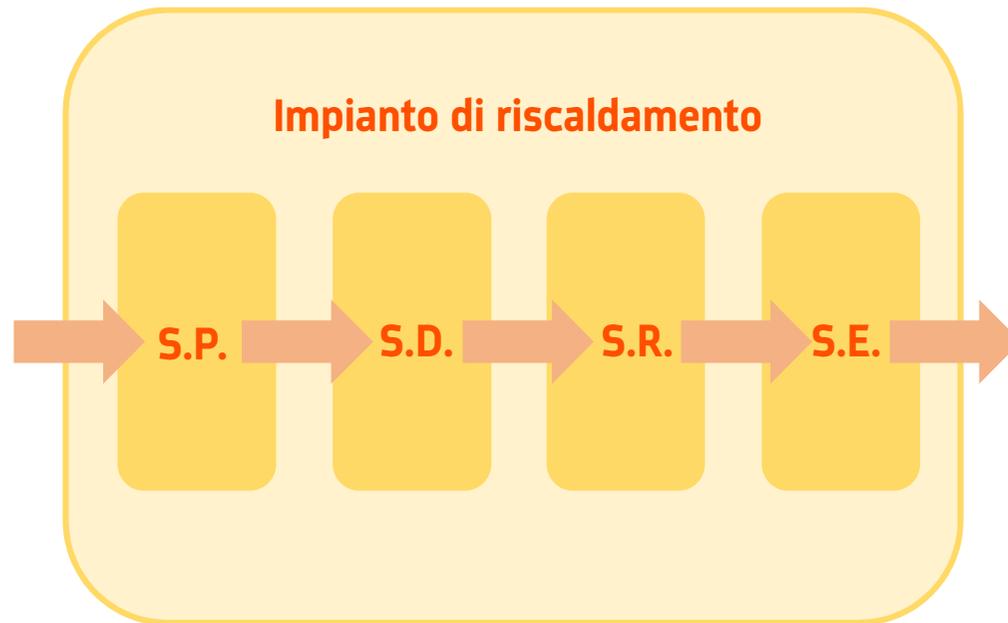
$$\textit{Rendimento globale, } \eta_g = \eta_p \times \eta_d \times \eta_r \times \eta_e$$

Dove:

- $\eta_p$  indica il rendimento di **produzione** del generatore di calore;
- $\eta_d$  è il rendimento della rete di **distribuzione** del fluido termo-vettore;
- $\eta_r$  è la componente che riguarda i sistemi di **regolazione**;
- $\eta_e$  indica il rendimento di **emissione** dei singoli corpi scaldanti installati e dipende dalla loro natura specifica.

## ■ RENDIMENTO GLOBALE \2

*Rendimento globale,  $\eta_g = \eta_p \times \eta_d \times \eta_r \times \eta_e$*



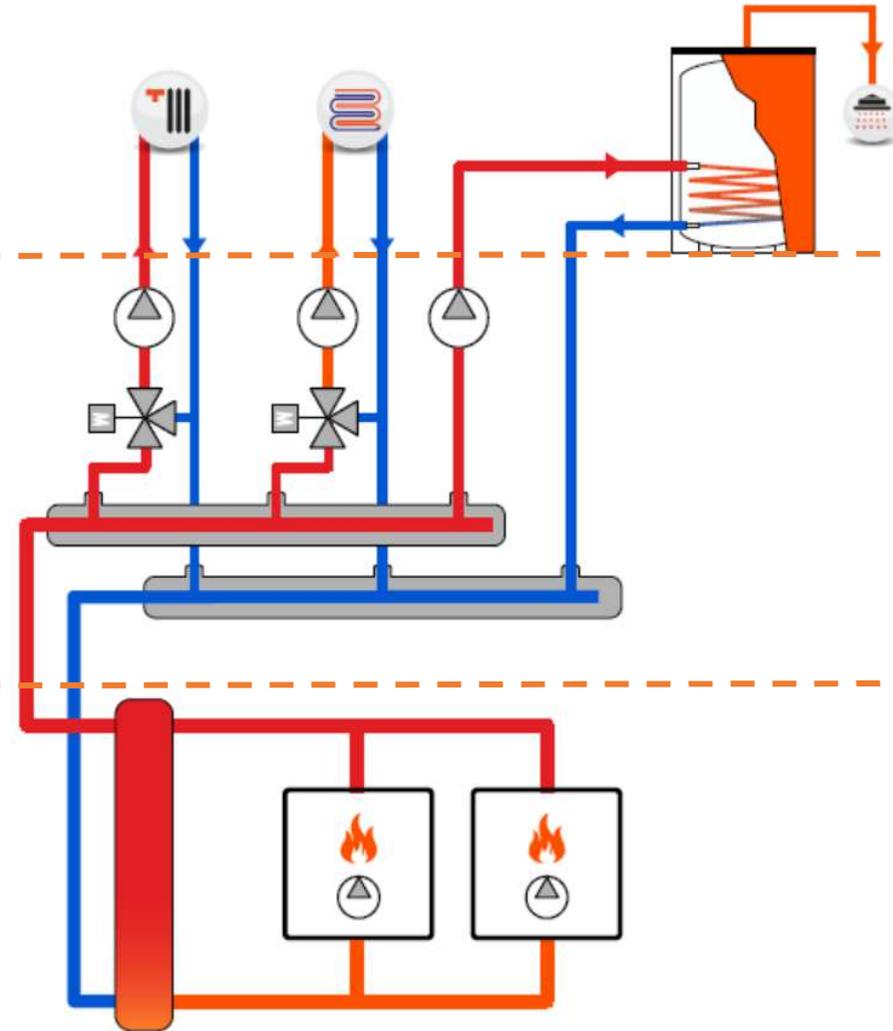
# ■ RENDIMENTO GLOBALE \3

$\eta_e$  indica il rendimento di emissione dei corpi scaldanti utilizzati dall'impianto

$\eta_r$  è il componente che riguarda i sistemi di regolazione

$\eta_d$  indica il rendimento della rete di distribuzione del fluido termo-vettore

$\eta_p$  indica il rendimento di produzione del generatore di calore



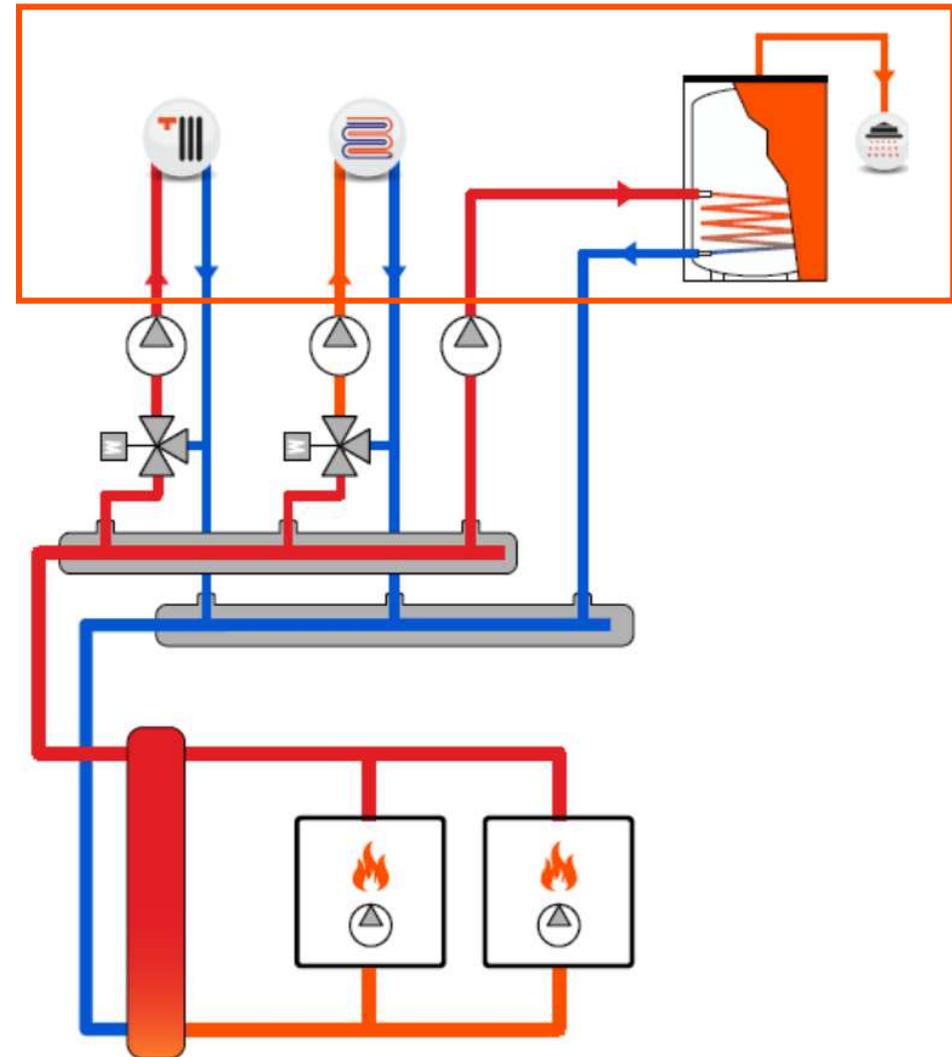
# ■ RENDIMENTO DI EMISSIONE \1

$\eta_e$  indica il rendimento di emissione dei corpi scaldanti utilizzati dall'impianto:

Questo è fornito dal rapporto tra energia termica richiesta in condizioni di emissione ideali ( $Q_h$ ) e l'energia termica effettivamente richiesta ( $Q_{hae}$ ):

$$\eta_e = \frac{Q_h}{Q_{hae}}$$

*N.B: le condizioni di emissione ideali sono quelle dove viene mantenuta una temperatura costante dell'aria e delle pareti, sempre e comunque.*

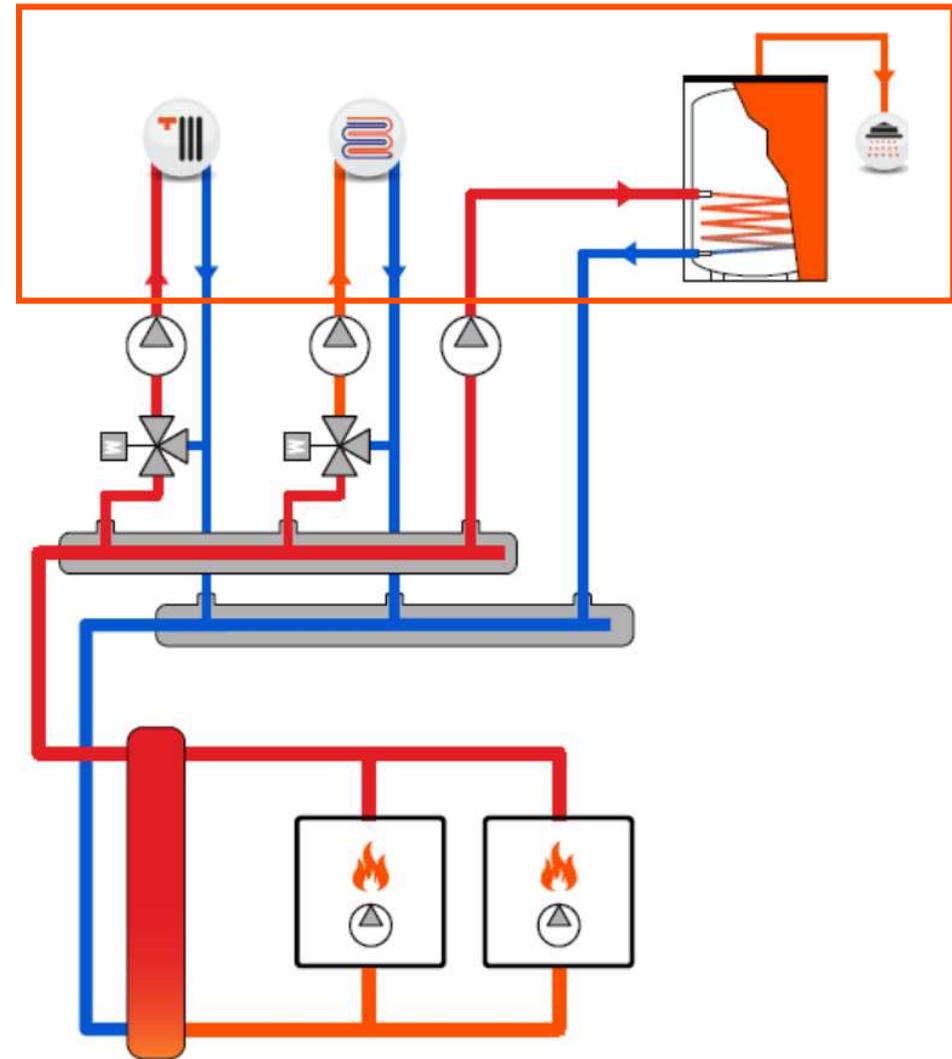


## ■ RENDIMENTO DI EMISSIONE \2

Come detto, dipende dalla **tipologia di terminale** utilizzato e può variare tra 95 e 98 %.

Il rendimento di emissione tiene anche conto di:

- 1- **disuniformità** di temperatura indotte all'interno delle zone dovute alla tipologia di terminale;
- 2- incremento delle **dispersioni** termiche per trasmissione e ventilazione dovuto alla tipologia di terminale.



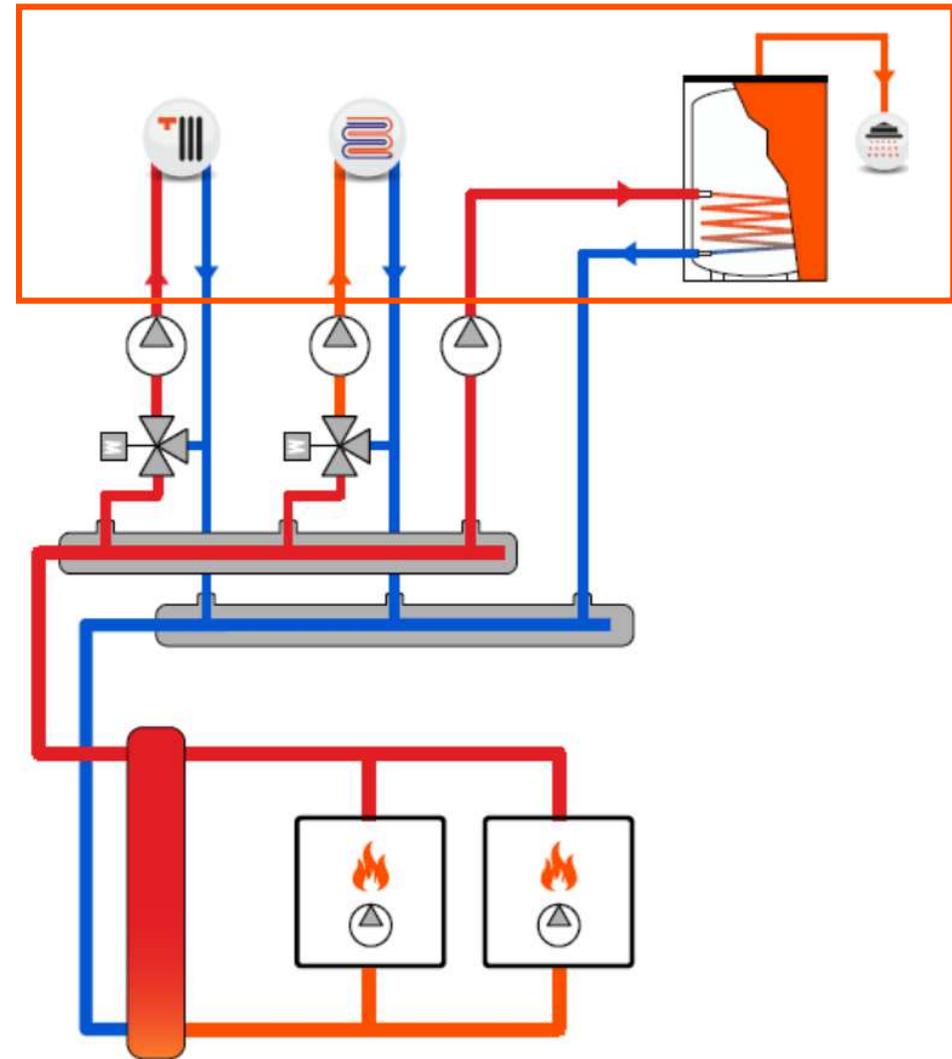
## ■ RENDIMENTO DI EMISSIONE \3

Le perdite di emissione possono consistere in due termini:

- 1- perdite per **surriscaldamento** del locale;
- 2- Perdite per **emissione verso l'esterno**.

Questi due fattori dipendono dal carico termico medio annuo per unità di volume e dall'altezza dei locali.

Il **carico termico** medio annuo di un locale può essere calcolato in maniera tabellare secondo normativa UNI TS 11300, seguendone la **definizione**, ovvero «*il rapporto tra fabbisogno energetico annuo ed il prodotto del volume lordo del locale per le ore di utilizzo annue di questo*».



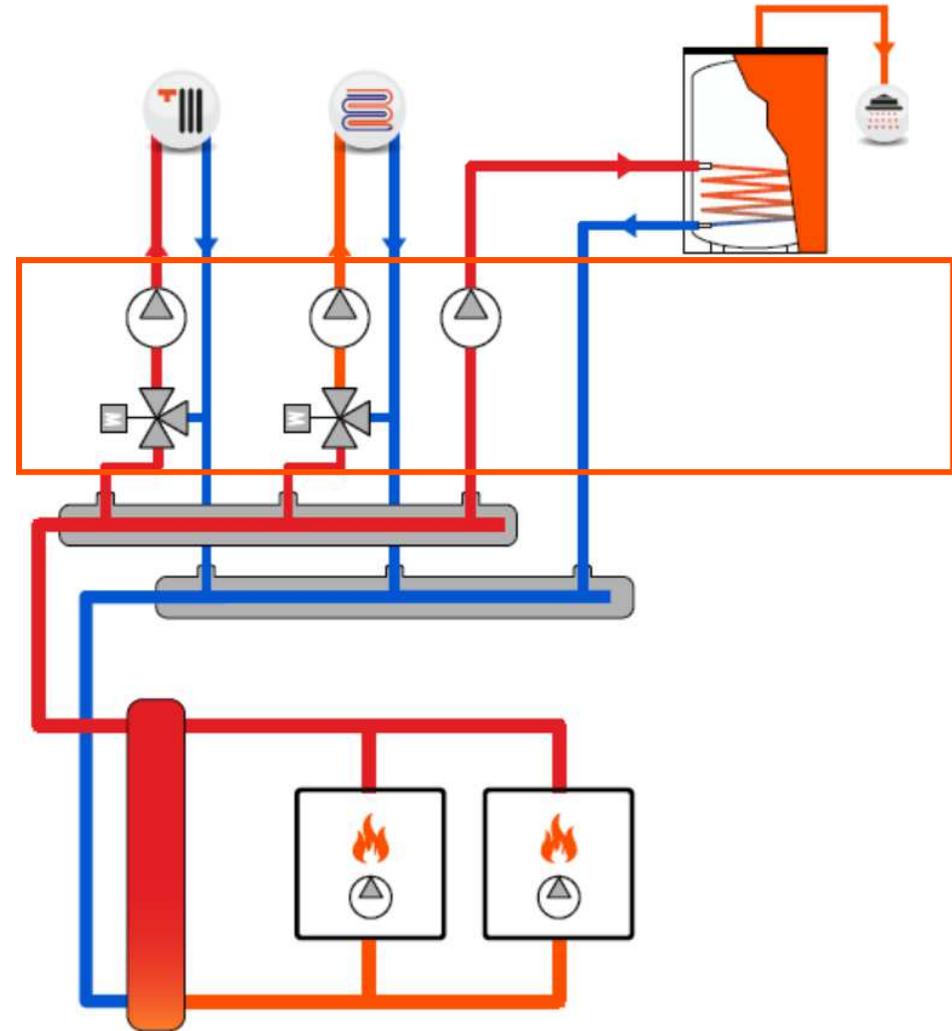
# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \1

$\eta_r$  è il componente che riguarda i sistemi di **regolazione**:

Si calcola come il rapporto tra energia termica richiesta in condizioni di regolazione ideali ( $Q_h$ ) e quella invece effettivamente richiesta ( $Q_{hac}$ ):

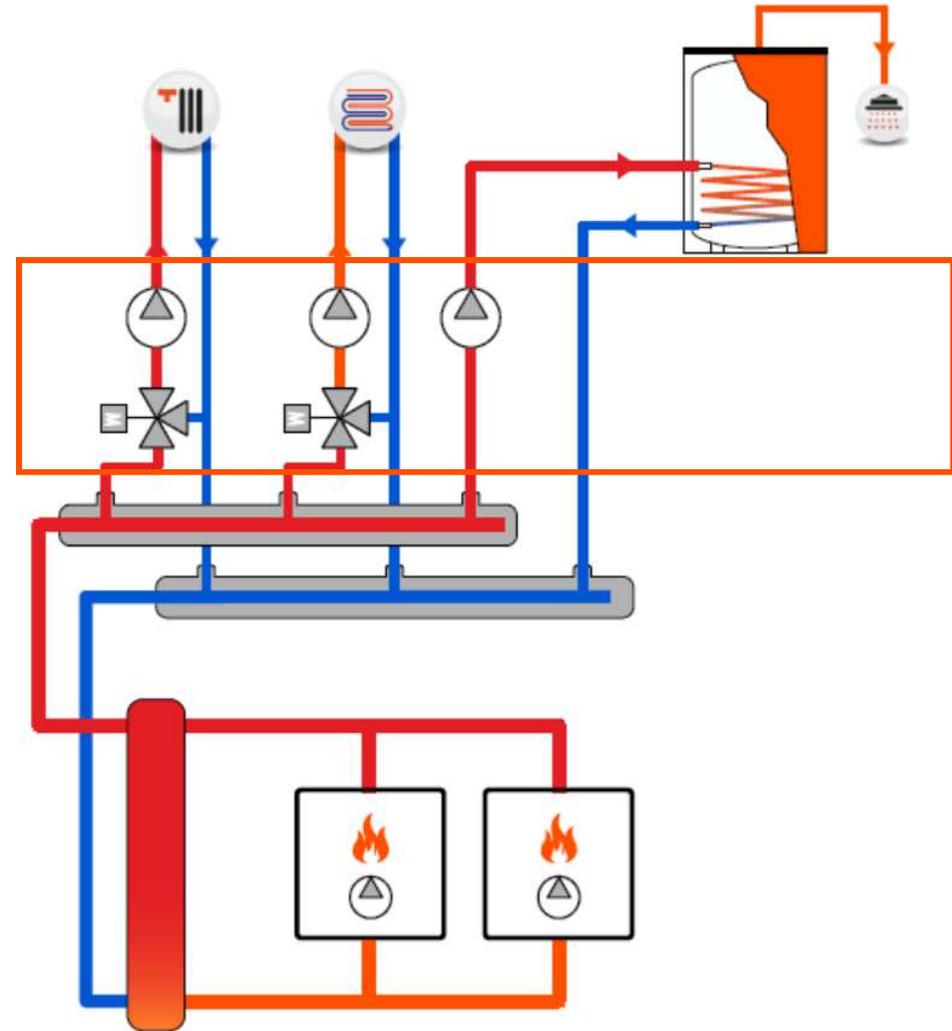
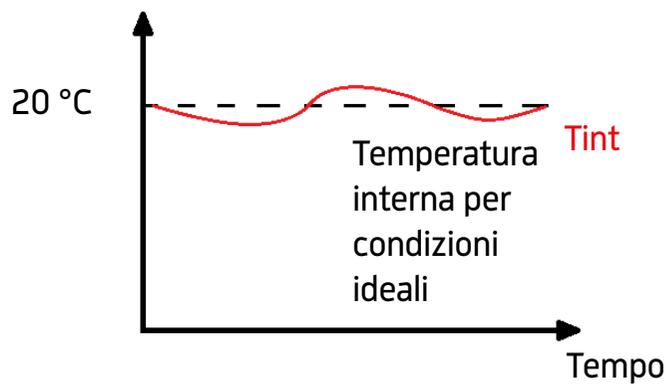
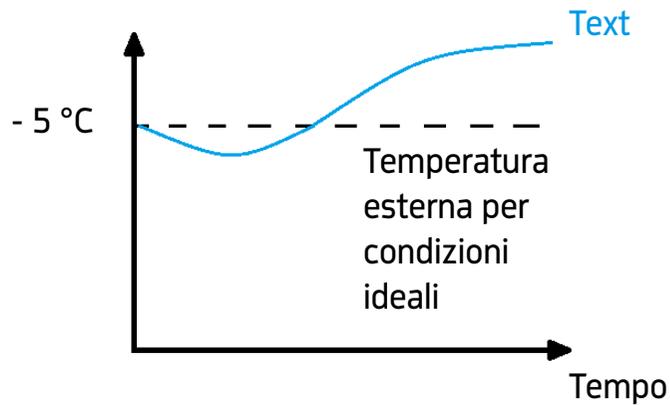
$$\eta_r = \frac{Q_h}{Q_{hac}}$$

*N.B: un sistema di regolazione ideale modifica istantaneamente le condizioni di esercizio al variare delle richieste.*



# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \2

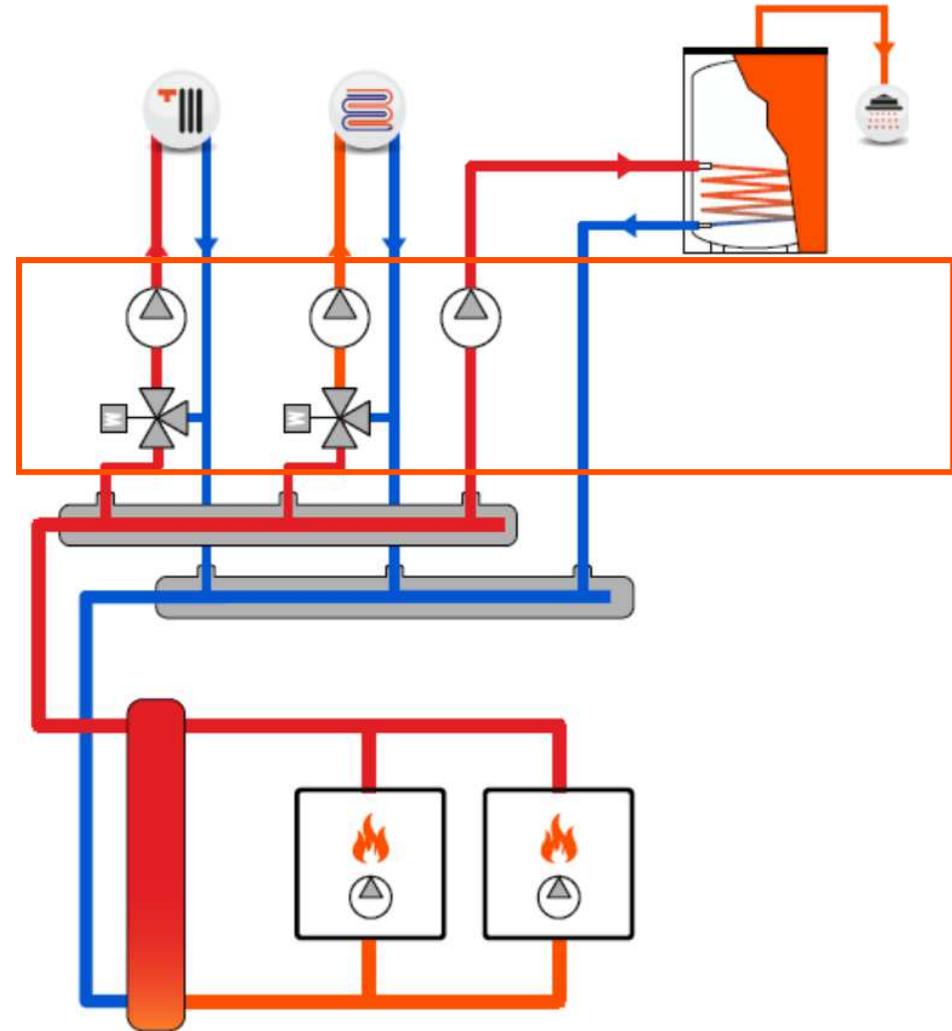
$$\eta_r = \frac{Q_h}{Q_{hac}}$$



# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \3

Il sistema di regolazione si incarica di adeguare la produzione alla richiesta.

Ma non è possibile eliminare del tutto le oscillazioni di temperatura che causano **incrementi di scambi termici per trasmissione e ventilazione con l'esterno.**



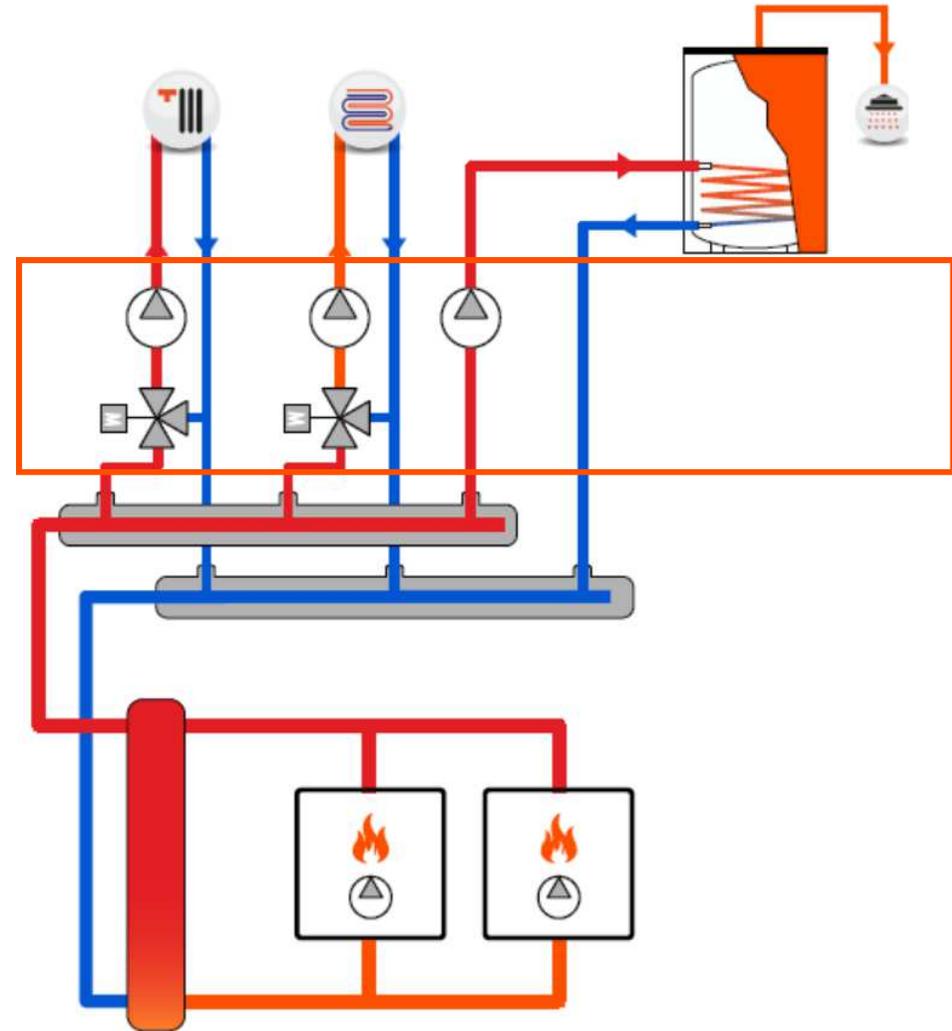
# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \4

$\eta_r$  è quindi funzione di:

1- **qualità** dei sistemi di regolazione installati;

2- **adeguatezza** del sistema alle caratteristiche dell'impianto e dell'edificio.

Questo termine sale con l'aumentare della precisione degli strumenti, partendo da valori di 80 % ma raggiungendo anche 90-98 % con regolazione della mandata per singolo terminale da alimentare.



# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \5

Esistono tabelle per il calcolo del rendimento di regolazione a seconda della tipologia di regolazione e di sistemi di emissione del calore utilizzati. Se ne riporta un **esempio**.

Tipo di regolazione	Caratteristica	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori ecc..	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo compensazione climatica (con sonda esterna)		$1 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,98 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,94 - (0,6 \eta_u \gamma)$
Solo ambiente con regolatore	On-Off	0,94	0,92	0,88
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
Climatica + ambiente con regolatore	On-Off	0,97	0,95	0,93
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
Solo zona con regolatore	On-Off	0,93	0,91	0,87
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
Climatica + zona con regolatore	On-Off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93

$\gamma$  rapporto (apporti gratuiti/perdite di calore) e  $\eta_u$  fattore di utilizzo degli apporti gratuiti

# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \5

Esistono tabelle per il calcolo del rendimento di regolazione a seconda della tipologia di regolazione e di sistemi di emissione del calore utilizzati. Se ne riporta un **esempio**.

Tipo di regolazione	Caratteristica	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori ecc..	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo compensazione climatica (con sonda esterna)		$1 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,98 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,94 - (0,6 \eta_u \gamma)$
Solo ambiente con regolatore	On-Off	0,94	0,92	0,88
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
Climatica + ambiente con regolatore	On-Off	0,97	0,95	0,93
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
Solo zona con regolatore	On-Off	0,93	0,91	0,87
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
Climatica + zona con regolatore	On-Off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93

$\gamma$  rapporto (apporti gratuiti/perdite di calore) e  $\eta_u$  fattore di utilizzo degli apporti gratuiti

# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \5

Esistono tabelle per il calcolo del rendimento di regolazione a seconda della tipologia di regolazione e di sistemi di emissione del calore utilizzati. Se ne riporta un **esempio**.

Tipo di regolazione	Caratteristica	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori ecc..	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo compensazione climatica (con sonda esterna)		$1 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,98 - (0,6 \eta_u \gamma)$	$0,94 - (0,6 \eta_u \gamma)$
Solo ambiente con regolatore	On-Off	0,94	0,92	0,88
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
Climatica + ambiente con regolatore	On-Off	0,97	0,95	0,93
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
Solo zona con regolatore	On-Off	0,93	0,91	0,87
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
Climatica + zona con regolatore	On-Off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93

$\gamma$  rapporto (apporti gratuiti/perdite di calore) e  $\eta_u$  fattore di utilizzo degli apporti gratuiti

# ■ RENDIMENTO DI REGOLAZIONE \5

Esistono tabelle per il calcolo del rendimento di regolazione a seconda della tipologia di regolazione e di sistemi di emissione del calore utilizzati. Se ne riporta un **esempio**.

Tipo di regolazione	Caratteristica	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori ecc..	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo compensazione climatica (con sonda esterna)		1 - (0,6 η <sub>u</sub> γ)	0,98 - (0,6 η <sub>u</sub> γ)	0,94 - (0,6 η <sub>u</sub> γ)
Solo ambiente con regolatore	On-Off	0,94	0,92	0,88
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,92
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
Climatica + ambiente con regolatore	On-Off	0,97	0,95	0,93
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
Solo zona con regolatore	On-Off	0,93	0,91	0,87
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
	P banda prop. 0,5 °C	<b>0,99</b>	0,98	0,96
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
Climatica + zona con regolatore	On-Off	0,96	0,94	0,92
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93

γ rapporto (apporti gratuiti/perdite di calore) e η<sub>u</sub> fattore di utiizzo degli apporti gratuiti

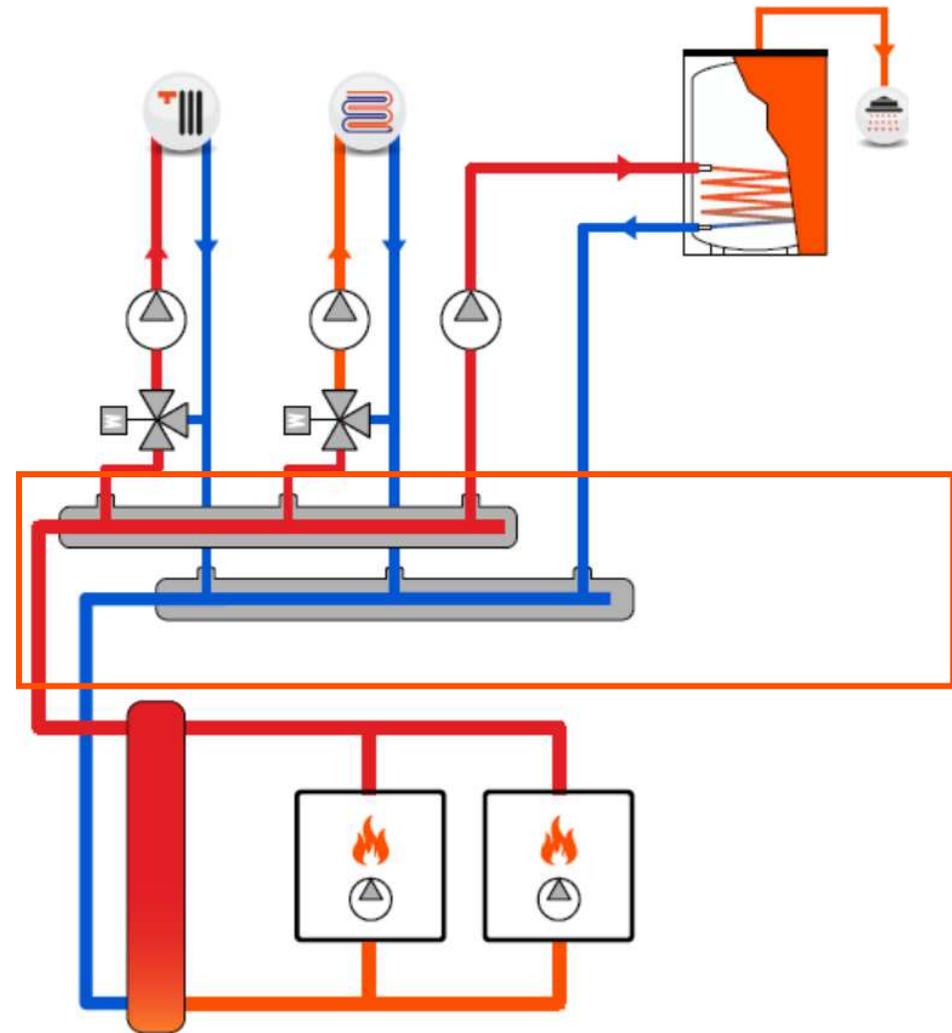
# ■ RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE \1

$\eta_d$  indica il rendimento della rete di **distribuzione** del fluido termo-vettore:

È il rapporto tra l'energia termica utile erogata dal sistema di emissione e quella invece prodotta dal sistema di generazione di calore.

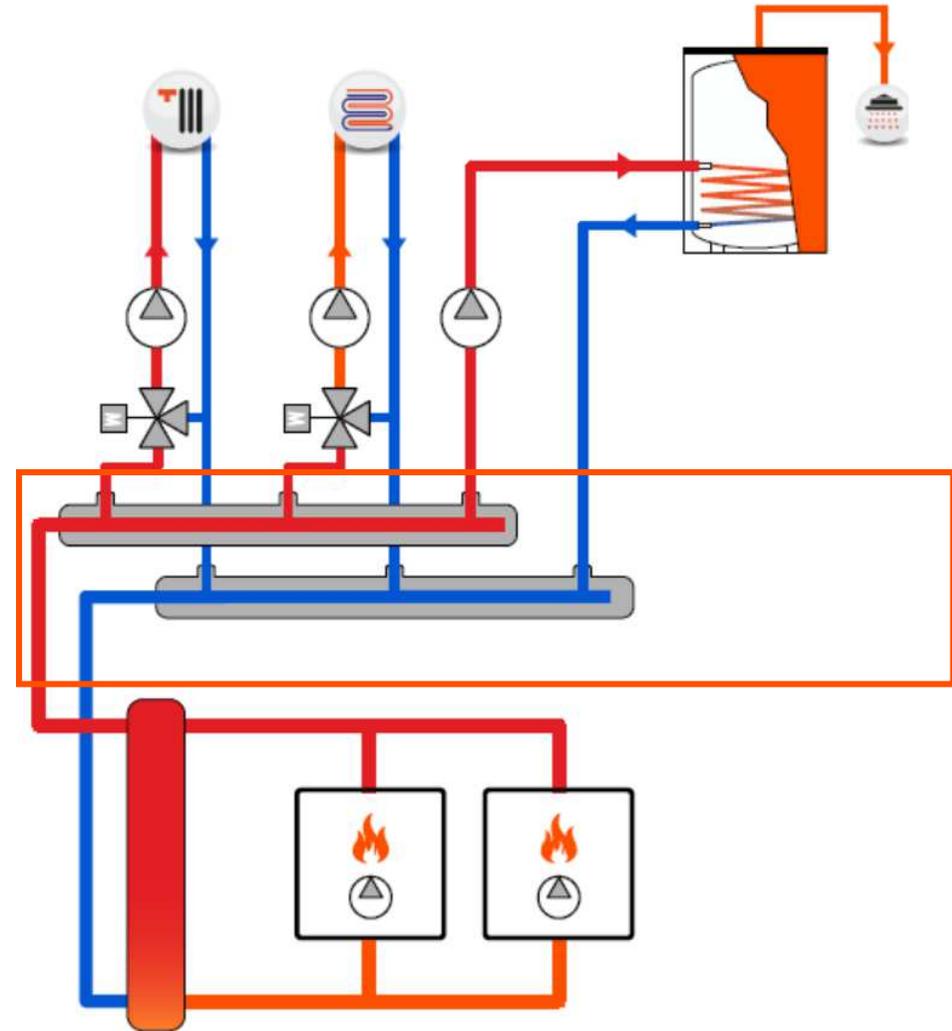
Esso tiene conto delle dispersioni termiche all'interno del **circuito** di distribuzione dell'acqua: pompe di circolazione, valvole, elementi di raccordo e accidentalità dovute a tratti curvi delle tubazioni.

Il suo valore va dal 90 al 95 %.



## ■ RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE \2

Le perdite del circuito di distribuzione, comprensivo di elementi particolari come le pompe di circolazione, le valvole, i bocchettoni ecc... possono essere calcolate in maniera analitica o tabellare, una volta dimensionato correttamente l'impianto.

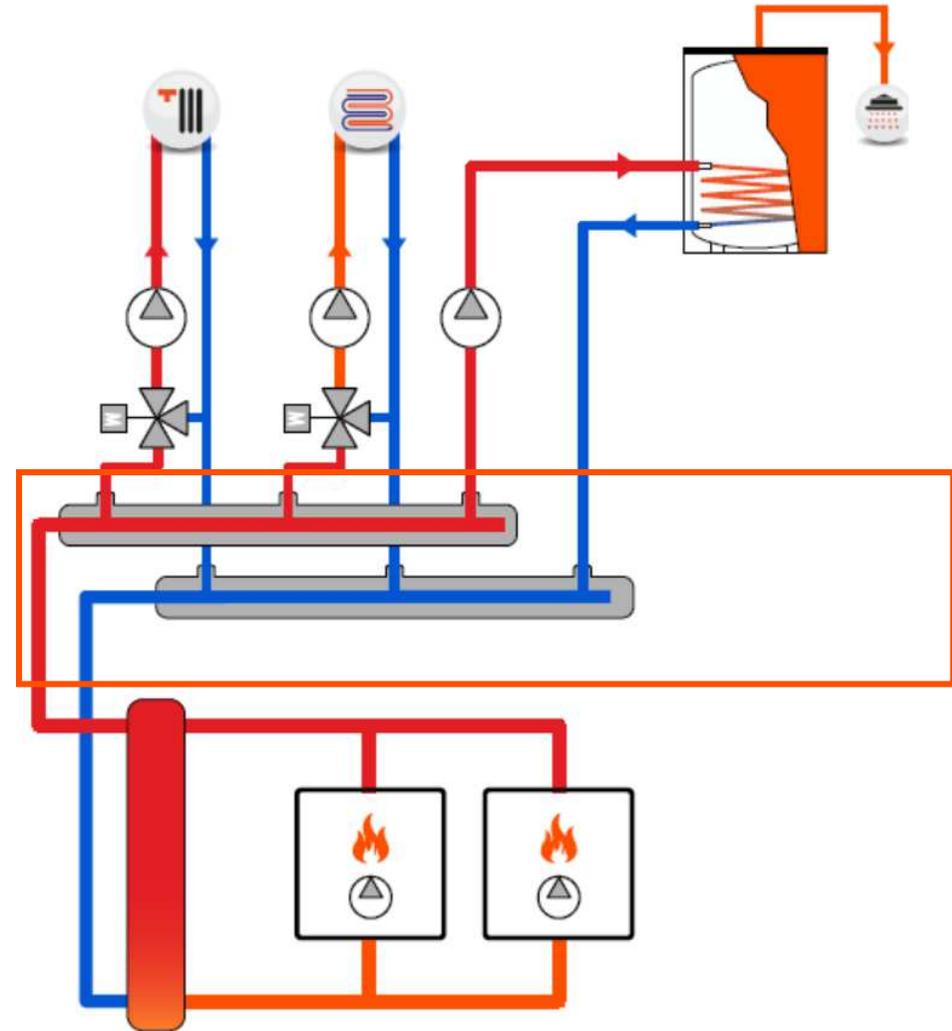


# ■ RENDIMENTO DI DISTRIBUZIONE \3

La formula che si utilizza solitamente è:

$$\eta_d = \frac{1}{1 + \frac{Q_{dnr}}{\sum Q_{hr,i}}}$$

Dove con  $Q_{dnr}$  si indica l'energia termica scambiata dalla rete con l'ambiente e **non** recuperata, mentre con  $Q_{hr,i}$  quella richiesta dalla zona termica i-esima.



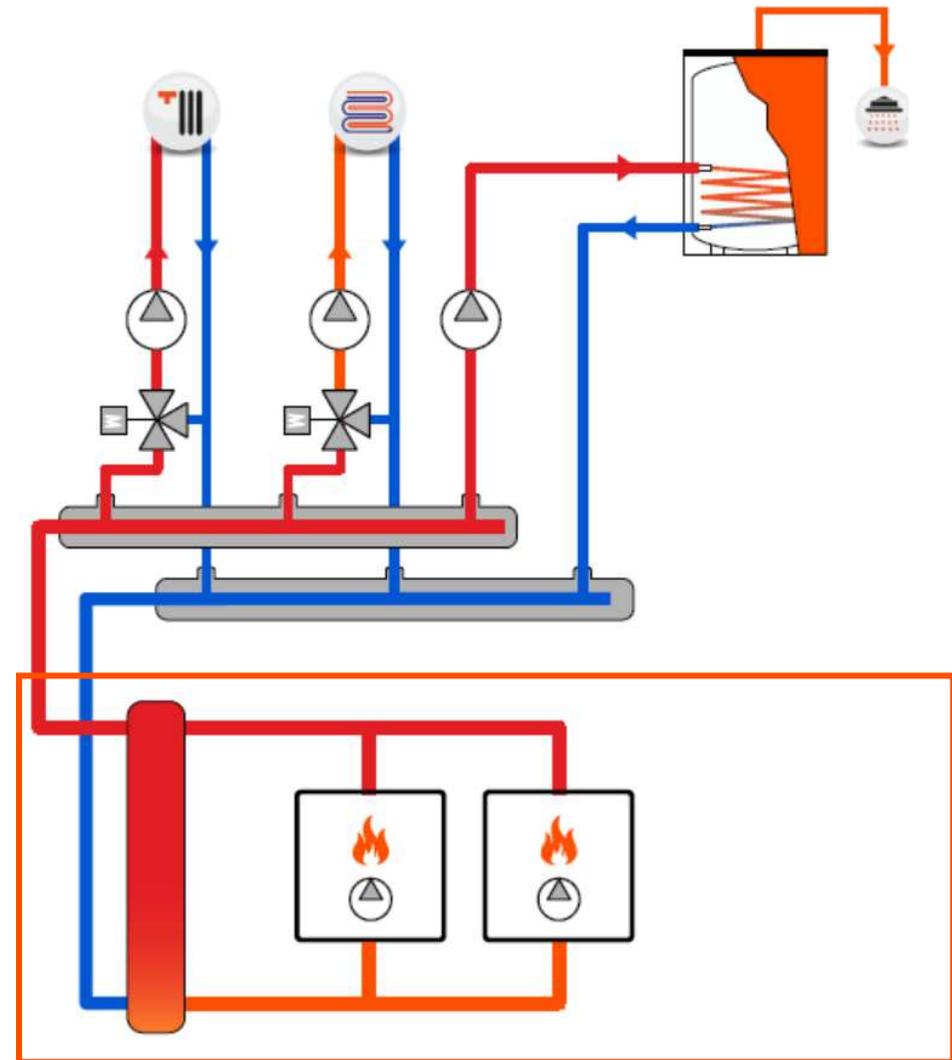
# ■ RENDIMENTO DI PRODUZIONE \1

$\eta_p$  indica il rendimento di **produzione** del generatore di calore:

Indica il rapporto tra l'energia termica trasferita al fluido termo-vettore e quella fornita dalla quantità di combustibile utilizzato.

È un termine che varia tra gli 80 e i 90 % a seconda del tipo di generatore. Nel caso di caldaie a condensazione, potrà essere maggiore.

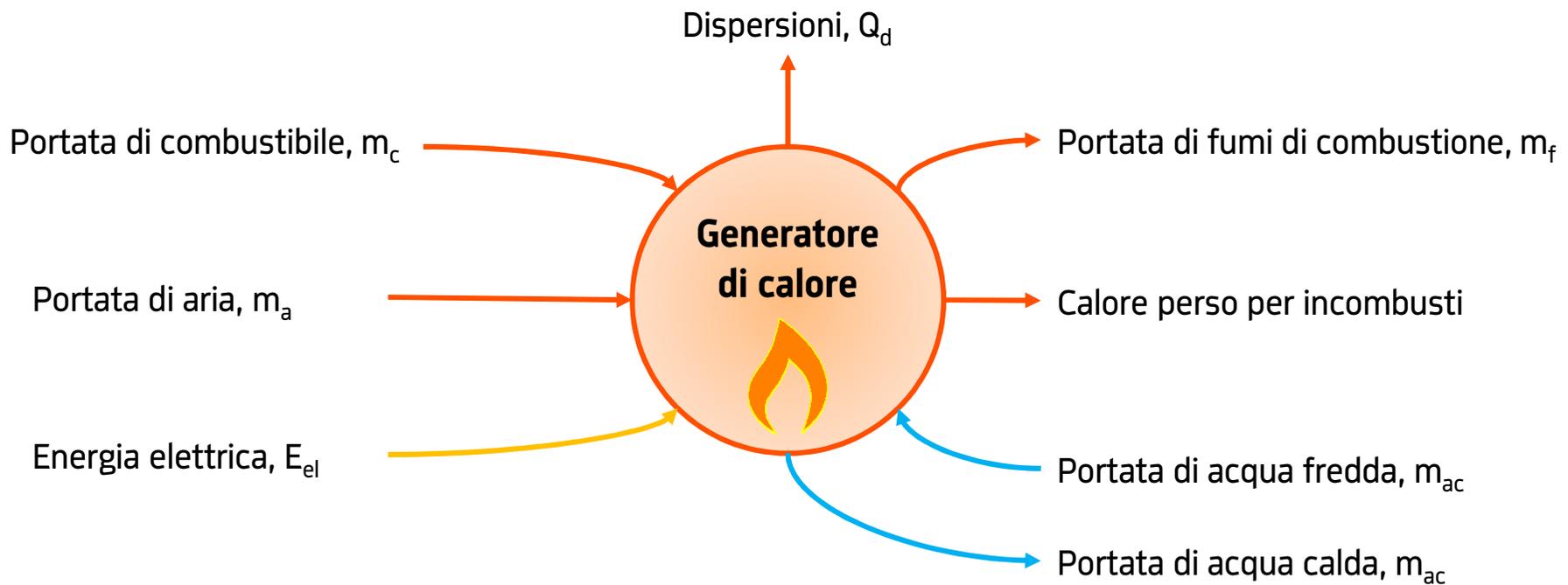
*N.B: è il termine che **incide maggiormente** sul rendimento globale.*



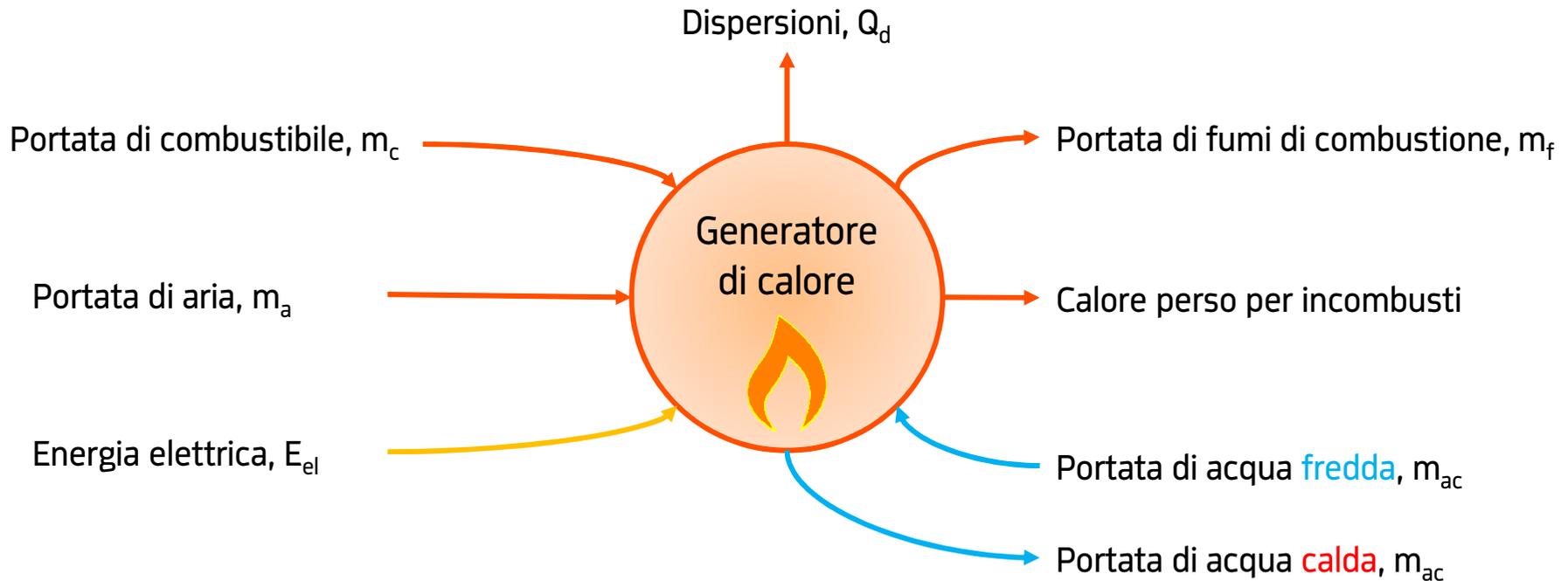
# ■ I BILANCI DEL GENERATORE \1

Se si considera di sfruttare una combustione diretta di opportune sostanze per fornire all'acqua la potenza termica richiesta, i prodotti della combustione vanno evacuati tramite un condotto che colleghi l'interno della caldaia con l'esterno.

Poiché questo sarà sempre il nostro caso, vediamo di cosa si sta parlando.



# ■ I BILANCI DEL GENERATORE \2

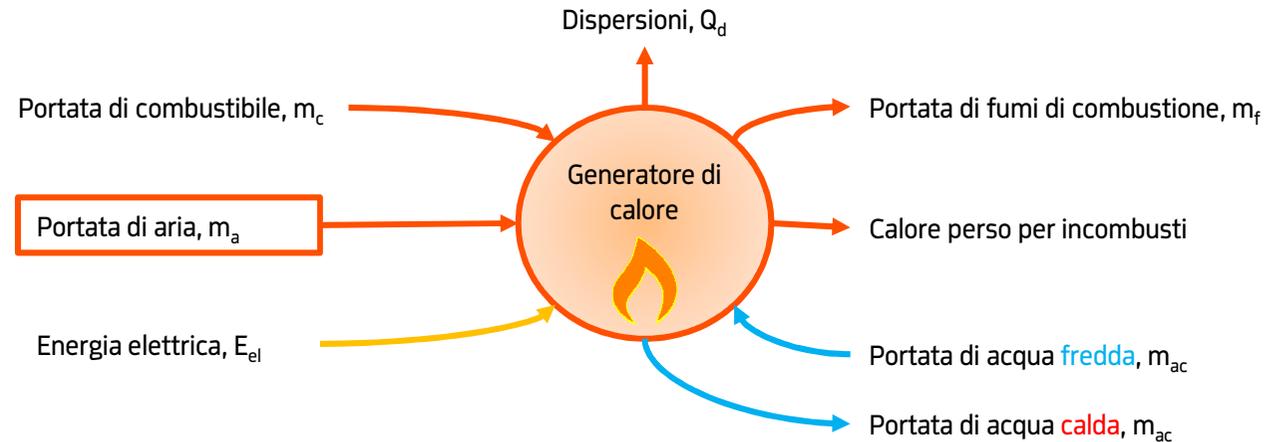


Bilancio di **massa**:  $m_c + m_a + m_{ac} = m_{ac} + m_f$

Bilancio di **energia**:  $m_c H_c + E_{el} = Q_d + m_{ac} c_{pH_2O} (t_u - t_e) + (m_f h_f - m_a h_a) + Q_i$

# ■ L'ARIA TEORICA E L'ECCESSO

**Aria teorica:** quantità di aria necessaria per fare avvenire la combustione completa di un kg di combustibile.



$$a_t = \frac{m_{a,th}}{m_{Combustibile}} = 11,53 x_C + 34,57 x_H + 4,32 x_S + 4,32 x_O$$

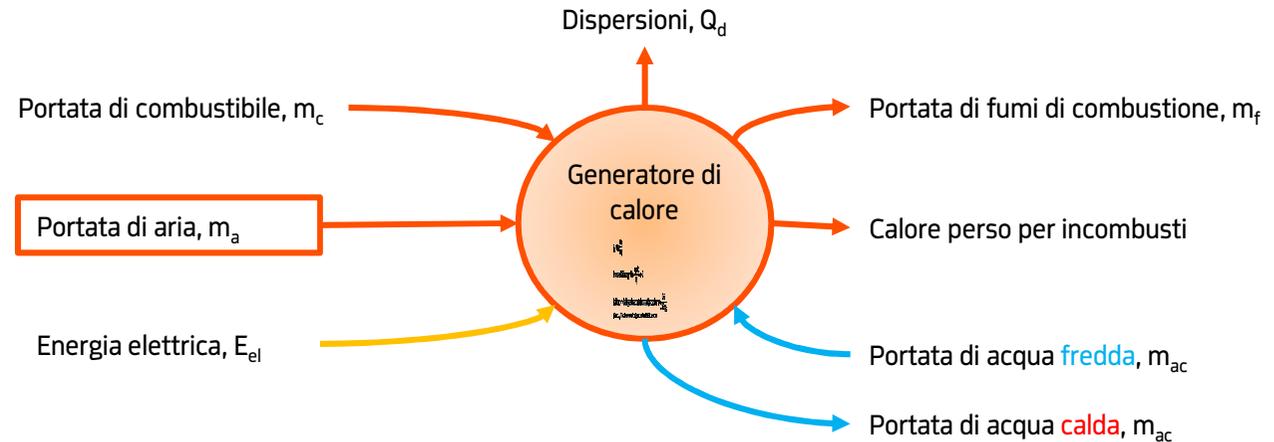
Dove :  $x_C = \frac{m_C}{m_{tot}}$ ;  $x_H = \frac{m_H}{m_{tot}}$ ;  $x_S = \frac{m_S}{m_{tot}}$ ;  $x_O = \frac{m_O}{m_{tot}}$ ;

Ad esempio, se si considera combustibile  $\text{CH}_4$ ,  $x_C = \frac{12}{16}$  e  $x_H = \frac{4}{16}$ , quindi:

$$a_t = 11,53 \times \frac{12}{16} + 34,57 \times \frac{4}{16} = 17,28 \frac{\text{kg}_{aria}}{\text{kg}_{fuel}}$$

# ■ L'ARIA PRATICA

**Aria pratica:** quantità di aria necessaria per assicurarsi che il combustibile venga utilizzato del tutto.



$$a_p = n a_t = \frac{m_a}{m_c}$$

L'eccesso di aria vale quindi:  $e = \frac{a_p - a_t}{a_t} = n - 1$

- 5-15 % comb. Gassosi
- 10-30 % comb. Liquidi
- 40-80 % comb. Solidi e a pezzi

Il valore di «n» è collegato alla concentrazione di ossigeno nei fumi:  $n \approx \frac{0,21}{0,21 - y_{O_2}}$

(Dove con  $y_{O_2}$  si indica la percentuale di ossigeno contenuta nei fumi di combustione.)

## ■ RENDIMENTO DI PRODUZIONE \2

Il rendimento di produzione del generatore di calore è dato da:

$$\eta_p = \frac{Q_u}{Q_i} \approx \frac{Q_u}{Q_c} \approx \frac{Q_c - (Q_d + Q_f + Q_{fbs} + Q_{pre})}{Q_c}$$

Dove:

- **$Q_u$**  indica il calore trasferito al fluido termovettore
- **$Q_d$**  rappresenta le perdite di trasmissione dal mantello verso l'ambiente del locale di installazione
- **$Q_f$**  è dato dalle perdite di combustione
- **$Q_{fbs}$**  è il termine che tiene conto delle perdite di camino nei periodi di inattività del bruciatore
- **$Q_{pre}$**  rappresenta le perdite di prelavaggio dei fumi
  
- **$Q_c$**  invece è la quantità di calore che viene introdotto ( **$Q_i$** ) con il combustibile e può essere calcolato come il prodotto tra la portata di combustibile ed il suo potere calorifico inferiore.

## ■ RENDIMENTO DI PRODUZIONE \3

Il rendimento di produzione del generatore di calore è dato da:

$$\eta_p = \frac{Q_u}{Q_i} \approx \frac{Q_u}{Q_c} \approx \frac{Q_c - (Q_d + Q_f + Q_{fbs} + Q_{pre})}{Q_c}$$

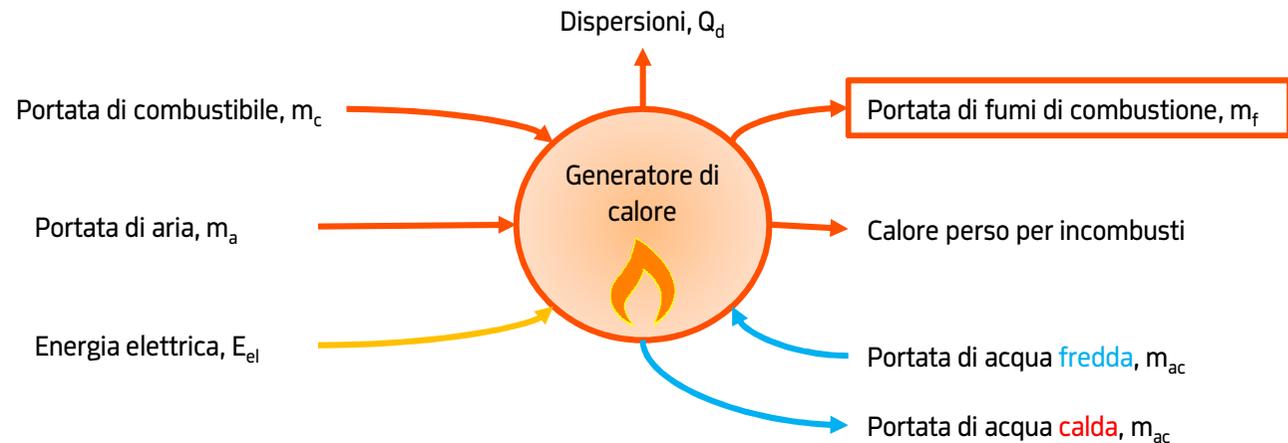
**$Q_{pre}$**  indica le perdite di prelavaggio. Questo processo assicura che nella camera di combustione non vi siano miscele esplosive. Possono essere ridotte adottando un timer capace di impedire la riaccensione del bruciatore prima di un certo tempo dall'ultimo spegnimento.

**$Q_{fbs}$**  si riferisce alle perdite a bruciatore spento. Queste sono dovute al tiraggio del camino e del bruciatore, che aspira aria dall'ambiente e la fa passare attraverso il generatore asportando calore dal suo interno. Per ridurle, si possono adottare bruciatori con serranda.

# ■ PERDITE AL CAMINO

$$\eta_p \simeq \frac{Q_c - (Q_d + Q_f + Q_{fbs} + Q_{pre})}{Q_c}$$

È possibile calcolare le perdite al camino, mediante due misure di temperatura e una misura di concentrazione di ossigeno nei fumi.



Bilancio di **energia**:  $m_c H_c + E_{el} = Q_d + m_{ac} c_{pH_2O} (t_u - t_e) + (m_f h_f - m_a h_a) + Q_i$

$$\eta_{cam} = \frac{Q_c}{m_c H_c} = \frac{(m_f h_f - m_a h_a)}{m_c H_c} \simeq \frac{m_f}{m_c} \frac{(h_f - h_a)}{H_c} \simeq \left(1 + \frac{0,21at}{0,21 - yO_2}\right) \frac{c_{pf}(t_f - t_a)}{H_c} \simeq K \frac{(t_f - t_a)}{0,21 - yO_2}$$

**K dipende quindi dal tipo di combustibile e dalle condizioni di combustione.**

# ■ PERDITE VERSO L'AMBIENTE

$$\eta_p \simeq \frac{Q_c - (Q_d + Q_f + Q_{fbs} + Q_{pre})}{Q_c}$$

Solitamente, la caldaia viene installata esternamente, per risparmiare spazio.

Ciò comporta l'utilizzo di una **caldaia appositamente costruita per operare in condizioni ambientali «esterne»**.

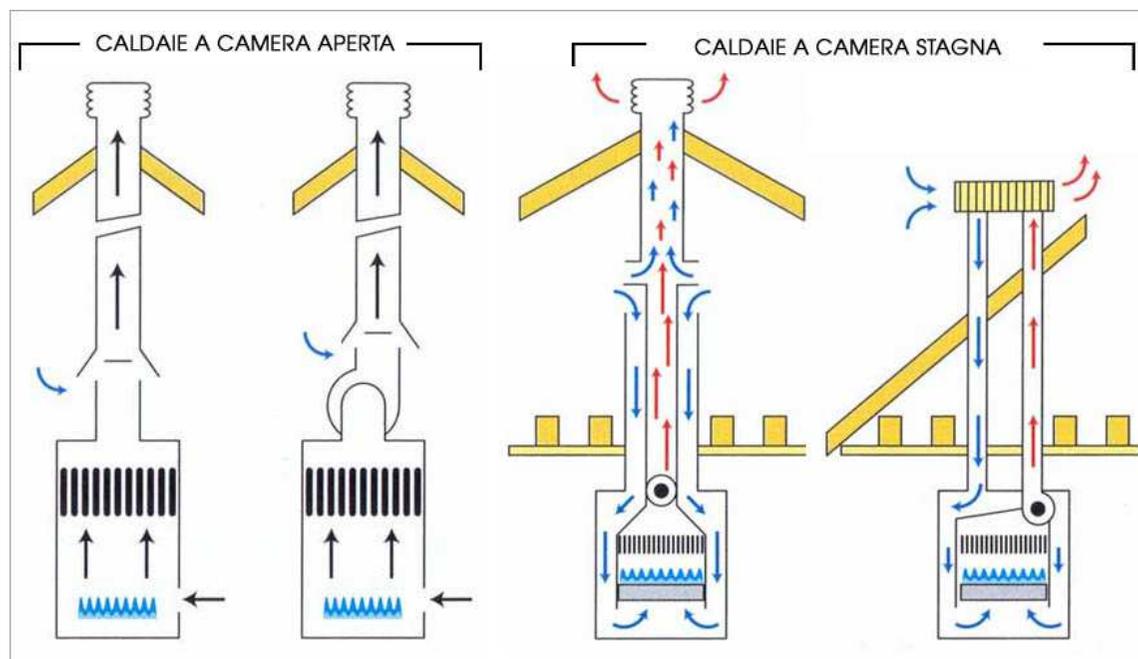
Le **perdite** attraverso il mantello e l'involucro di un generatore, infatti, sono solo uno dei pericoli che possono esserci. La caldaia dovrà essere progettata per resistere ad agenti come polvere, sabbia, acqua, vento e gelo.



# ■ CAMERA APERTA E CAMERA STAGNA

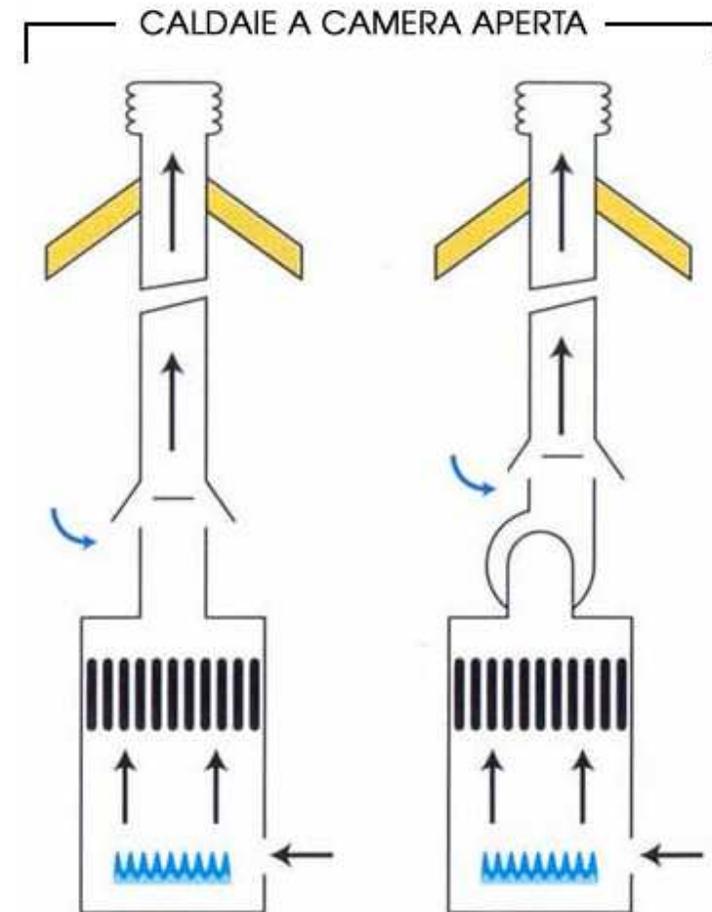
Le caldaie differiscono tra loro anche per la modalità in cui recuperano dall'ambiente l'aria utilizzata nella combustione e non solo per il luogo di installazione.

Le caldaie possono essere di due tipi: **a camera aperta** e **a camera stagna**.



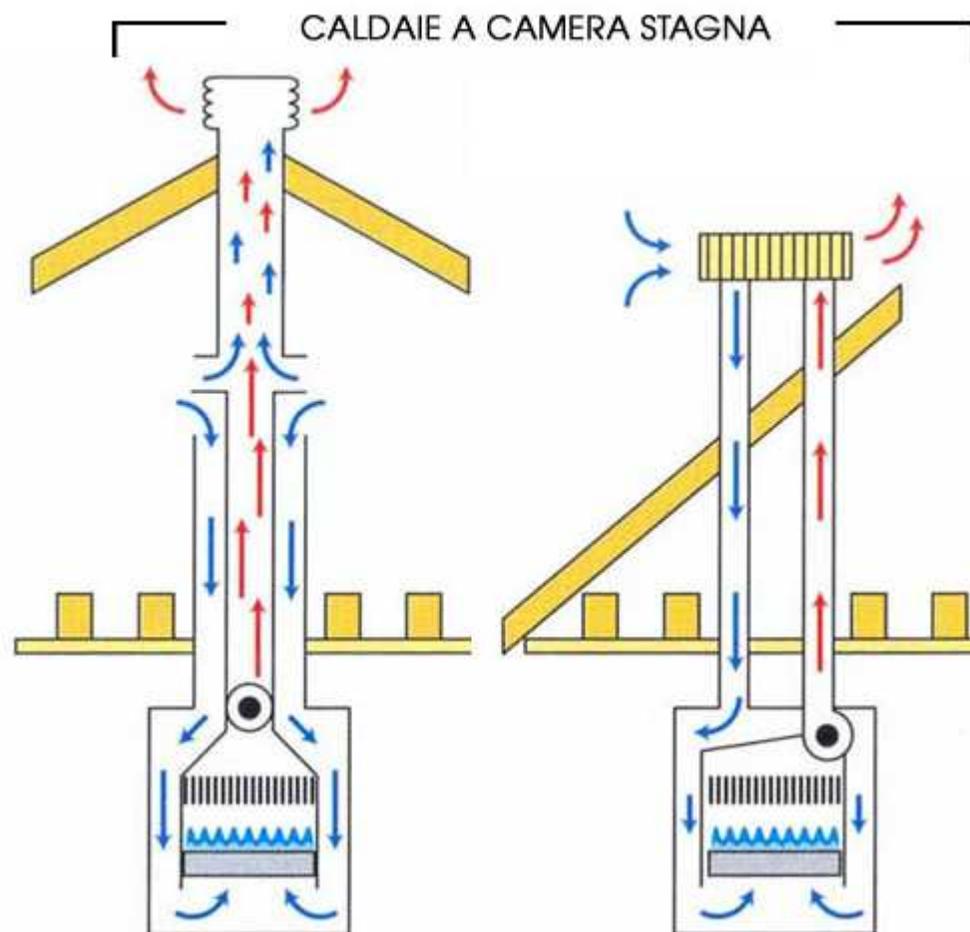
# ■ LA CAMERA APERTA

- Recuperano aria direttamente dal locale dove si trovano;
- Bruciano l'aria presente nell'ambiente;
- Vengono solitamente installate all'esterno delle abitazioni.



# ■ LA CAMERA STAGNA

- Recuperano aria di combustione attraverso un tiraggio forzato;
- L'aria viene forzata attraverso un'apposita condotta aperta sull'esterno;
- Non usano l'aria ambiente come comburente.



# ■ PERDITE DI COMBUSTIONE

$$\eta_p \simeq \frac{Q_c - (Q_d + Q_f + Q_{fbs} + Q_{pre})}{Q_c}$$

La componente legata alle perdite di combustione all'interno del generatore di calore,  $Q_f$ , considera la reazione incompleta di combustione e la presenza di prodotti di reazione non completi e incombusti, le perdite di **calore sensibile nei fumi e quelle dovute al calore latente**.

Queste due ultime tipologie di perdite sono dovute al fatto di non poter far raggiungere ai fumi la **temperatura di rugiada**, che genererebbero condensa. Questo vale per le caldaie tradizionali.

Le **perdite di combustione** sono presenti nel periodo di accensione del bruciatore e sono costituite dal calore sensibile contenuto nei prodotti della combustione, inavvertitamente scaricati all'esterno.



Adottare una caldaia a condensazione comporta un miglioramento di tutte queste caratteristiche.

## ■ IL FATTORE DI CARICO

Tutti i rendimenti visti fino a ora dipendono da un termine noto come **Fattore di Carico**. Questo può essere dato dal rapporto tra la potenza istantanea richiesta dall'utenza e quella che, invece, il generatore **riesce a fornire** come potenza nominale.

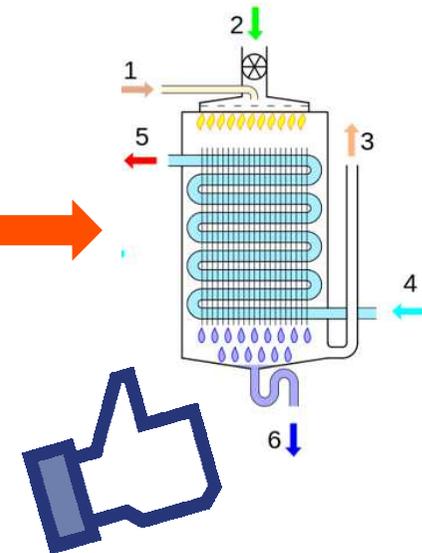
$$\Phi = \frac{Q_{\text{ist}}(\tau)}{Q_{\text{nom}}}$$

Tale termine tiene conto del fatto che per sopperire le richieste degli utenti un bruciatore non abbia bisogno di lavorare in ogni istante, ma che possa modulare l'attività a seconda della sua tipologia (caldaia ON-OFF, a temperatura costante con modulazione o a temperatura variabile con modulazione).

# ■ STRATEGIE DI MIGLIORAMENTO

Quali sono le buone pratiche per migliorare l'efficienza di un generatore di calore?

- Adottare un tiraggio forzato per quanto riguarda i fumi;
- Sfruttare caldaie a bassa temperatura o a temperatura scorrevole;
- Utilizzare **CALDAIE A CONDENSAZIONE**;
- Migliorare la coibentazione delle camere di combustione;
- Ridurre le perdite di prelavaggio;
- Ridurre l'eccesso d'aria e la permanenza di incombusti;
- Modulazione dell'eccesso d'aria.



# LE CALDAIE A CONDENSAZIONE

# ■ LA CALDAIA A CONDENSAZIONE \1

Se si fa uso di combustibili gassosi con basso tenore di zolfo, diventa possibile costruire e utilizzare caldaie a condensazione nelle quali si recupera il calore latente del vapore d'acqua contenuto nei fumi.

Le caldaie a condensazione consentono di abbassare la temperatura dei fumi fino a 40-70 °C portando il rendimento complessivo del generatore, riferito al potere calorifico **inferiore** del combustibile, fino a **valori maggiori del 100 %**.

Questo valore «**incredibile**» è dovuto al fatto che il rendimento considera il potere calorifico «inferiore» del combustibile, che non tiene conto del suo calore latente.

$$\Delta_c H_i^0 = \Delta_c H_s^0 - 22,5 \frac{MJ}{kg} w^H - 2,5 \frac{MJ}{kg} w^{H_2O}$$

# ■ LA CALDAIA A CONDENSAZIONE \2

La **differenza** tra il potere calorifico superiore e quello inferiore di un combustibile è di notevole importanza, poiché tanto maggiore è questa differenza, maggiore saranno i vantaggi nell'applicare la tecnica della condensazione.

Combustibile	Metano	Butano	Gasolio	Carbone
Differenza percentuale tra P.C.S. e P.C.I.	11 %	8,4 %	6 %	3 %

# ■ LA CALDAIA A CONDENSAZIONE \3

1- ingresso del gas combustibile;

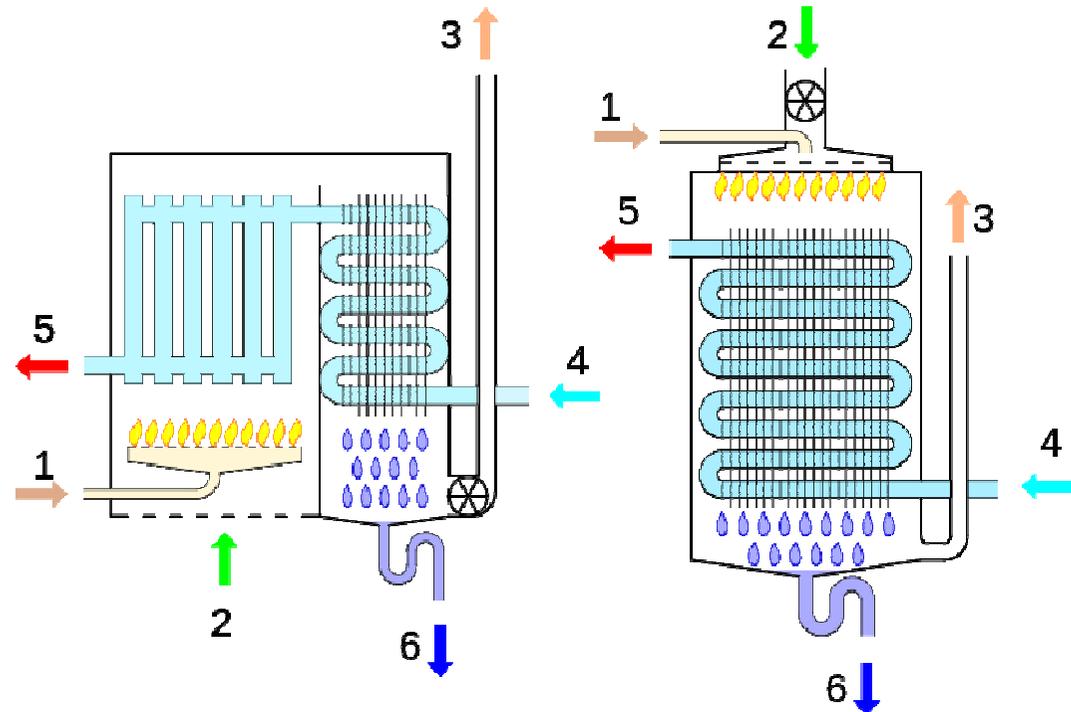
2- entrata dell'aria comburente;

3- uscita fumi di combustione;

4- tubazione di ritorno dai corpi scaldanti;

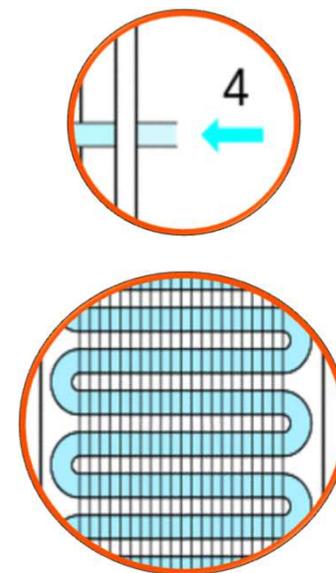
5- tubazione di mandata ai corpi scaldanti;

6- componente di vapore acqueo condensato dai fumi



# ■ CARATTERISTICHE \1

Le caldaie a condensazione sfruttano la temperatura dell'acqua di ritorno dall'impianto termico per condensare il vapore nei fumi. Questi vengono fatti passare attraverso uno **scambiatore/condensatore** che permette di sottrarre il calore latente del vapore acqueo. Questo accade perché **il vapore presente nei fumi condensa** e cede parte del suo calore latente, consentendo ai fumi di uscire anche a 40 °C.



## ■ CARATTERISTICHE \2

Sono sempre dotate di ventilatore di estrazione dei fumi a **tiraggio meccanico**, per poter:

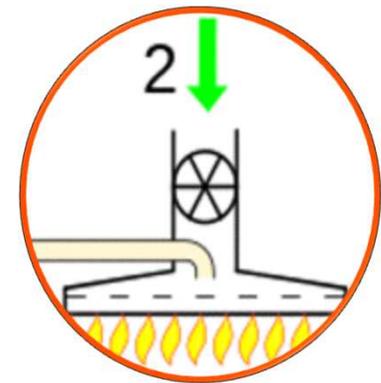
- Vincere le resistenze fluidodinamiche create dal condensatore;
- Migliorare lo scambio termico convettivo tra fumi e acqua;
- Minimizzare l'eccesso di aria e le perdite di calore sensibile in combustione;
- Massimizzare il rendimento.



## ■ CARATTERISTICHE \3

Solitamente, questi sistemi montano un bruciatore con **fiamma premiscelata**, al fine di ridurre le emissioni di monossido di carbonio e dei composti dell'azoto nocivi all'ambiente.

La miscela viene realizzata in un ventilatore che la soffia in maniera **diretta e omogenea** sul bruciatore.

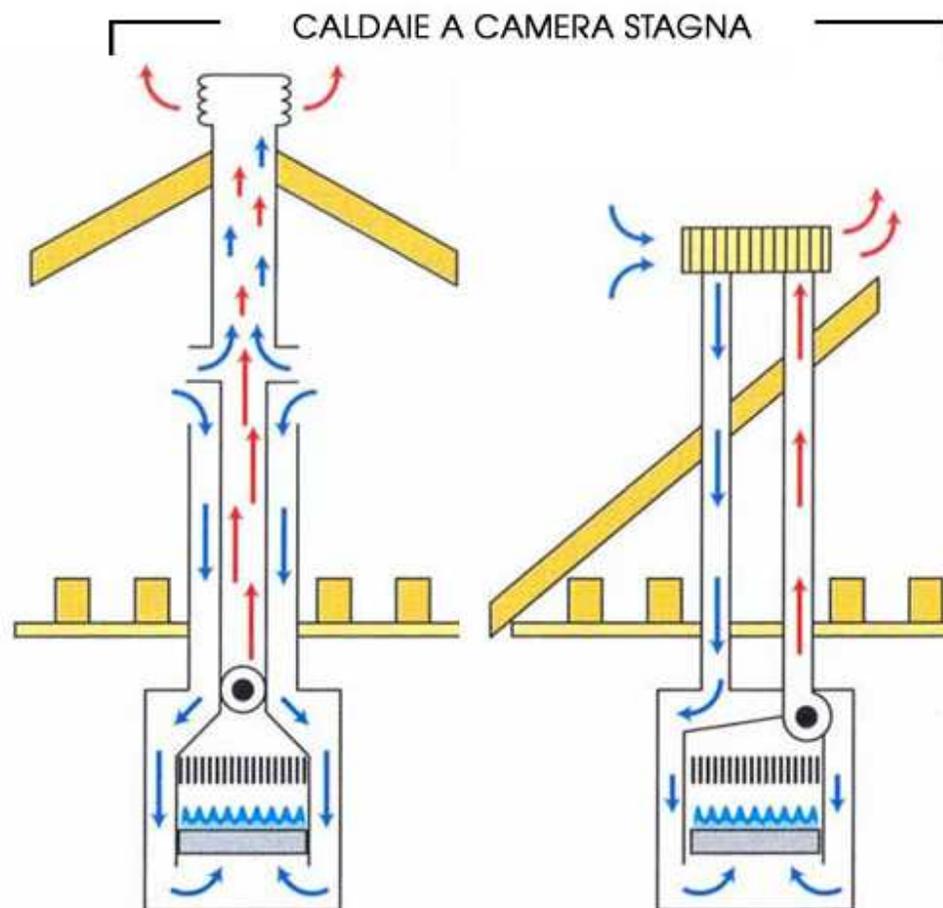


Visti i maggiori rendimenti, è possibile sostituire le caldaie tradizionali con caldaie a condensazione aventi una minore potenza nominale, facendo calare i consumi anche del 15-30 %. Inoltre, a parità di energia termica fornita, questa caldaia **consuma meno combustibile** di una tradizionale.

## ■ CARATTERISTICHE \4

**Le caldaie a condensazione sono tutte a camera stagna.**

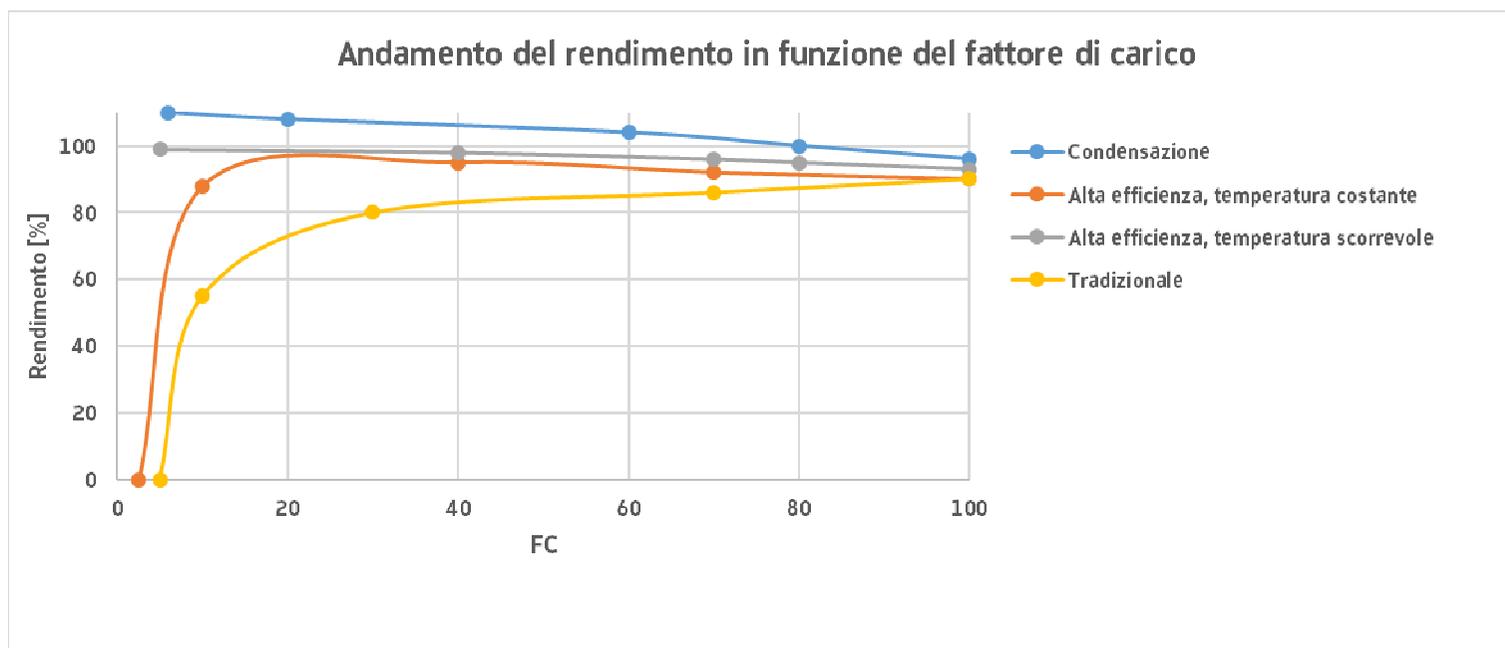
Una caldaia tradizionale a camera aperta richiede un passaggio per il tubo di scarico. Quelle a condensazione utilizzano per il tubo di recupero dell'aria il passaggio stesso, non richiedendo un lavoro ulteriore.



# ■ LA CALDAIA A CONDENSAZIONE \4

Una volta introdotto e definito il Fattore di Carico, **FC**, di una caldaia è possibile ottenere delle valutazioni grafiche dei rendimenti delle caldaie tradizionali e a condensazione.

Il **Fattore di Carico** di un generatore di calore ci dice quanto esso venga sollecitato e resti acceso per sopperire alle richieste di energia termica e può variare tra 0 e 100 punti percentuali.



# ■ LA CALDAIA A CONDENSAZIONE \5

Le caldaie a condensazione esprimono il **massimo** della loro **potenzialità** se combinate con impianti a bassa temperatura (30-50 °C) come quelli **a pannelli radianti**.



Per ottenere i risparmi energetici legati alla condensazione è anche necessario **munire l'impianto termico di opportuni sistemi**, per far sì che l'acqua ritorni all'impianto con una temperatura «bassa». Un esempio di questi sistemi è la **valvola termostatica**.

Con l'utilizzo di questi apparecchi, ogni volta che l'impianto è a regime, in ogni terminale viene fatta passare precisamente la quantità di acqua necessaria per mantenere le condizioni di comfort.



# ■ L'ECCESSO D'ARIA PER LA CONDENSAZIONE

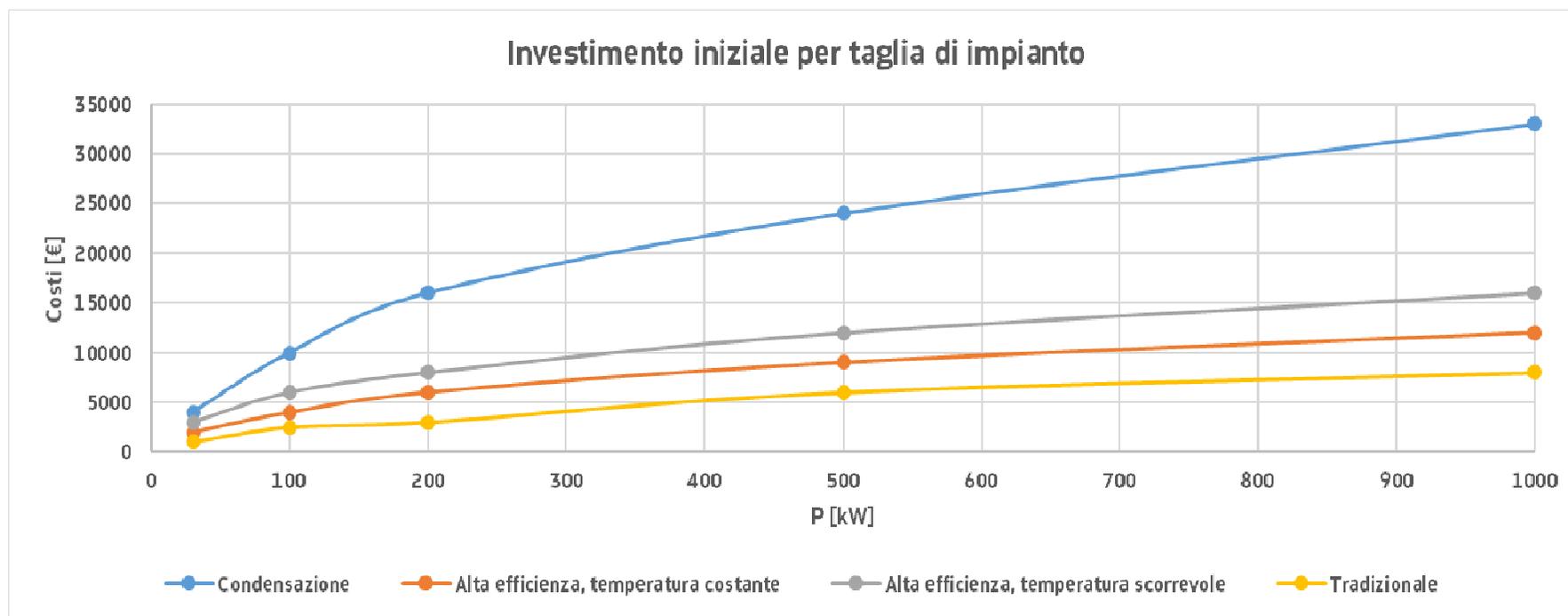
Nelle caldaie a condensazione la regolazione dell'eccesso d'aria diventa di fondamentale importanza, poiché maggiore è l'eccesso di aria più difficile sarà raggiungere la condensazione.

Eccesso	$T_{rug}$ [°C]	Combustione
0 %	59,2	Stechiometrica
3 %	56,2	Ottimale
6 %	52,6	Accettabile
9 %	<b>48,1</b>	Forte eccesso d'aria

# ■ LA CALDAIA A CONDENSAZIONE \6

L'utilizzo di questi sistemi non ha solo vantaggi.

All'aumentare della taglia, ad esempio, aumentano notevolmente i costi di investimento iniziali per installare una caldaia a condensazione.



# ■ I VANTAGGI IN SINTESI

Miglioramento di  
comfort e  
benessere

Maggiori sicurezza  
e affidabilità

**Vantaggi della  
condensazione**

Miglioramento  
energetico e di  
impatto  
ambientale

Facilità di  
installazione

# ■ I VANTAGGI - BENESSERE

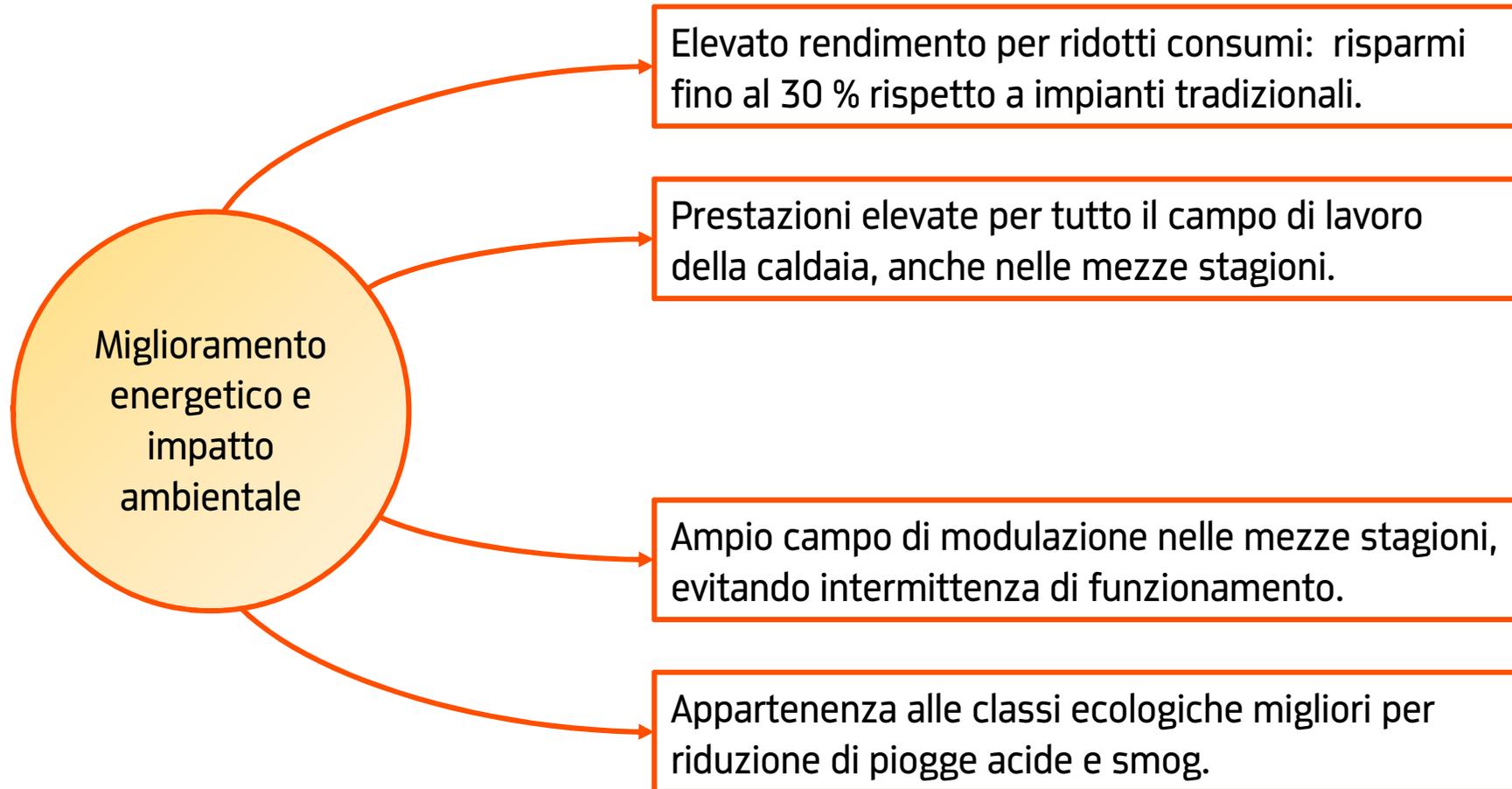


## ■ I VANTAGGI – SICUREZZA

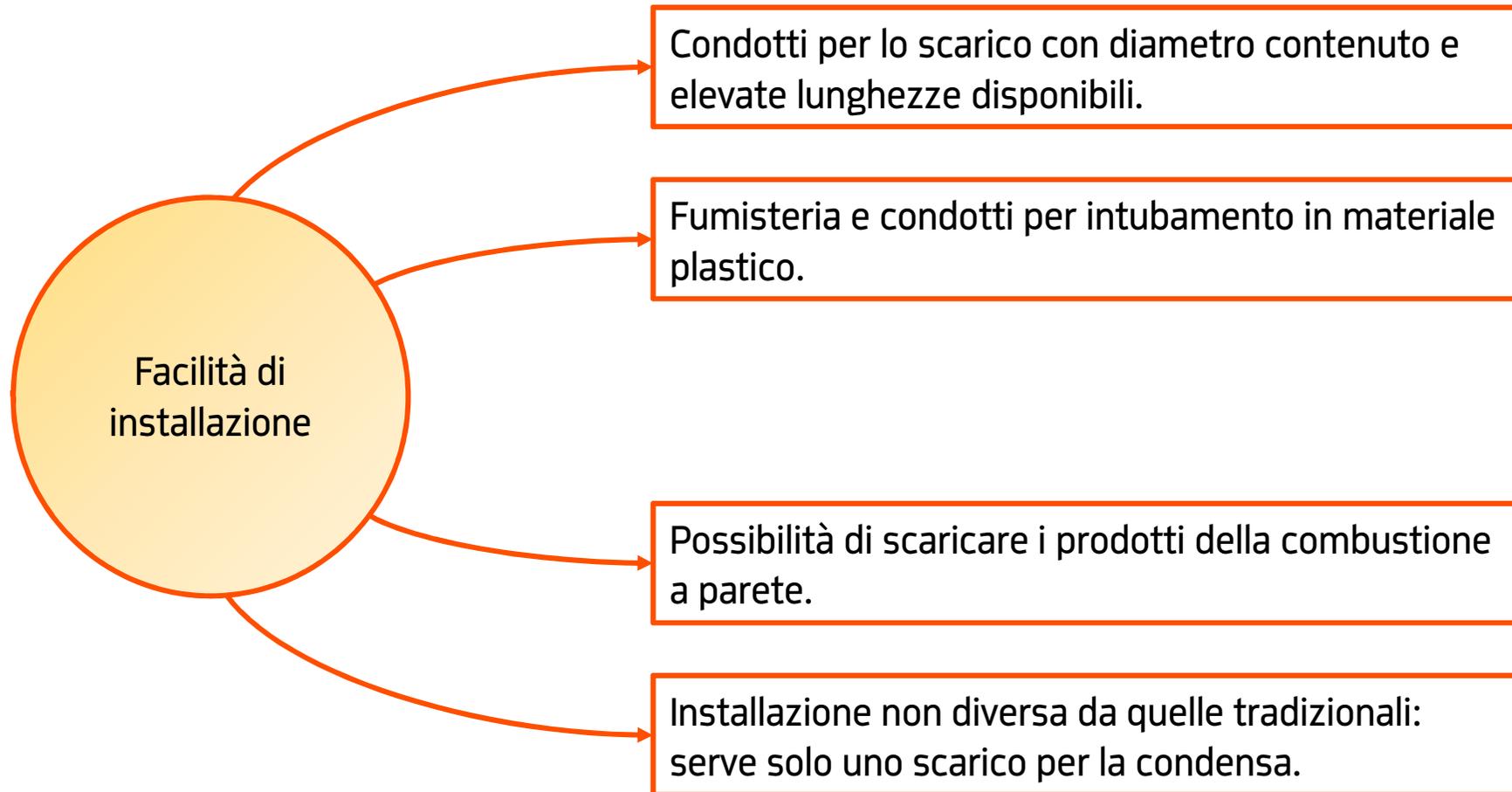
Maggiori sicurezza  
e affidabilità

La tecnologia applicata per questi sistemi è ormai precisa e affinata, per cui il mantenimento delle prestazioni nel tempo è assicurato.

# ■ I VANTAGGI – ENERGIA E AMBIENTE



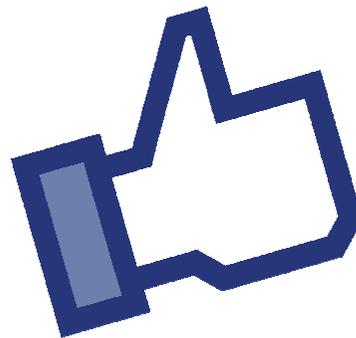
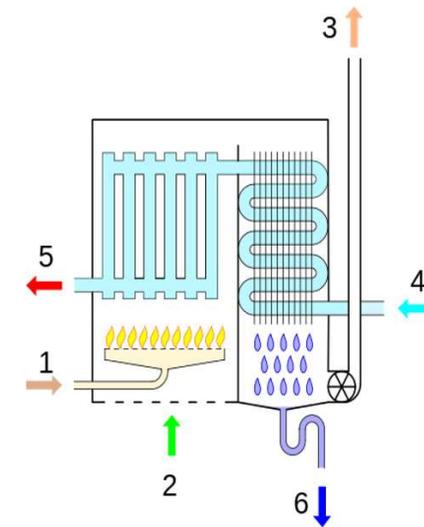
# ■ I VANTAGGI - INSTALLAZIONE



# ■ IMPIANTI A BASSA TEMPERATURA

Questi impianti vengono alimentati con temperatura di mandata bassa, per limitare le temperature massime superficiali e per evitare pericolose sollecitazioni ai componenti.

L'abbinamento con caldaia a condensazione è **ideale**, perché le basse temperature di ritorno sono **sempre inferiori** alla temperatura di rugiada.

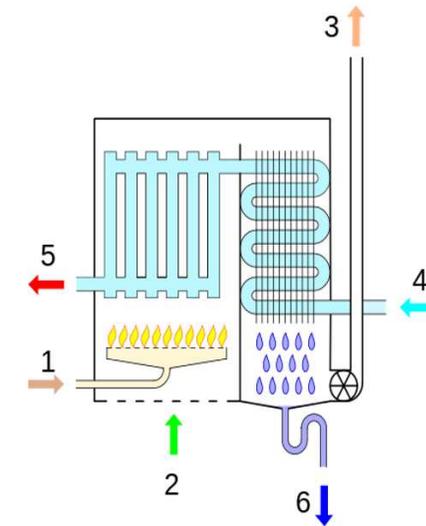


# ■ IMPIANTI A TEMPERATURA DIFFERENZIATA

Affiancando a un impianto a pannelli radianti delle zone riscaldate a temperatura più alta le cose cambiano: sfruttare radiatori o scaldasalviette per locali ad uso bagno o doccia porta a un minore sfruttamento della tecnologia della condensazione.

Si lavorerà infatti a **temperature sul circuito primario più elevate**.

Si potrebbero dimensionare radiatori e/o scaldasalviette con superfici più ampie: a parità di potenza potrebbe condurre a temperature più contenute.

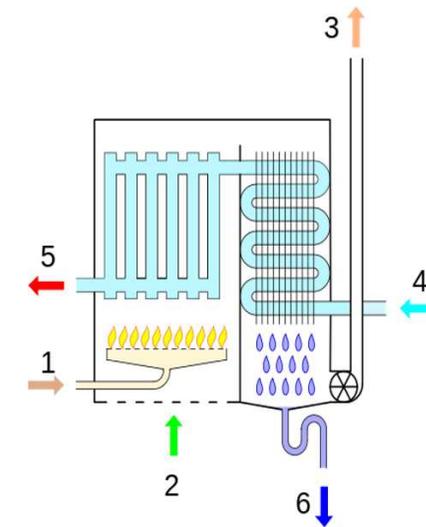


# ■ IMPIANTI A RADIATORI

Nel caso di impianti a radiatori, è necessario fare una precisazione.

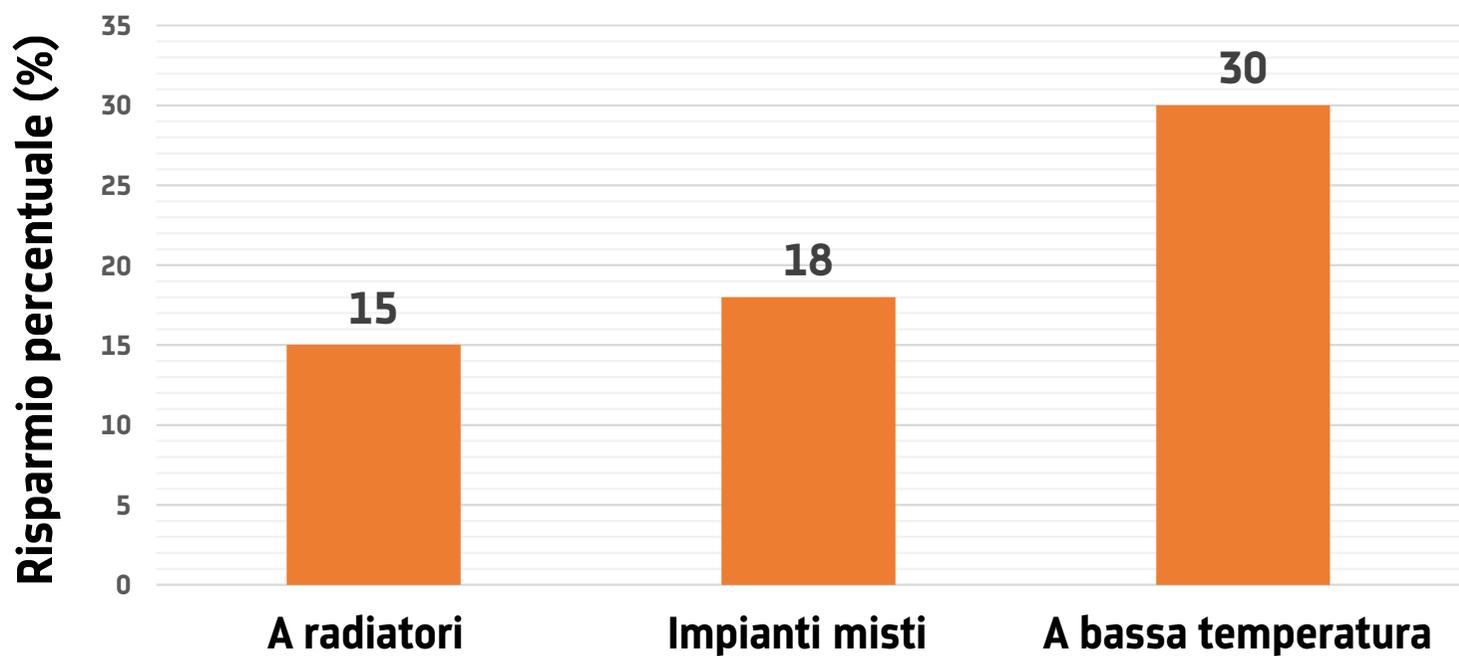
In passato si era soliti considerare solamente le dispersioni termiche attraverso l'involucro edilizio: gli impianti venivano quindi dimensionati con temperatura di mandata elevata.

Oggi, considerando gli apporti gratuiti interni, la radiazione solare captata dai locali e l'energia primaria introdotta, **anche questi impianti ad «alta temperatura»** riescono a sfruttare il calore di condensazione durante il carico termico invernale.



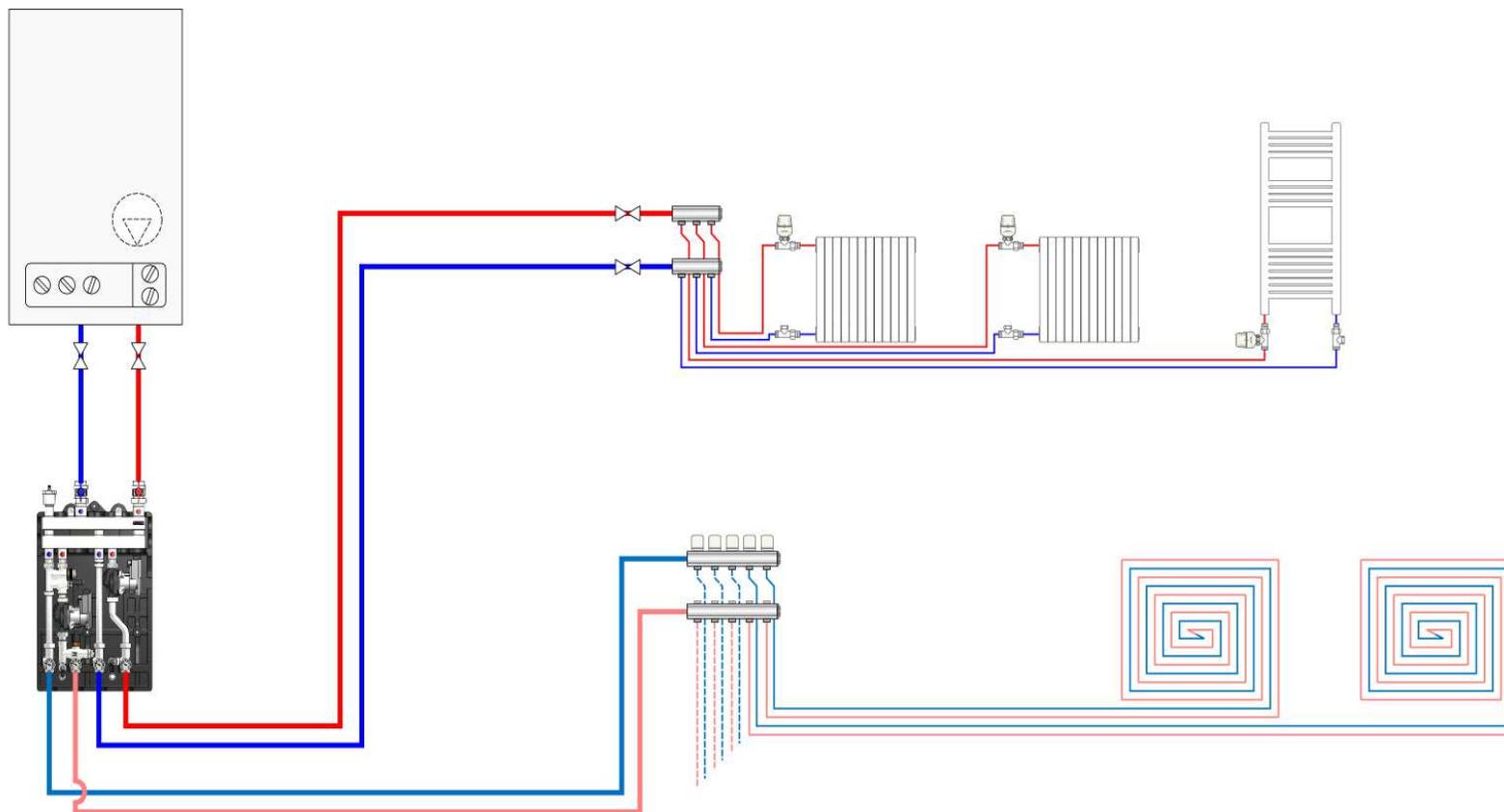
# ■ IL RISPARMIO ENERGETICO

Risparmio energetico [%] massimo ottenibile con una caldaia a condensazione rispetto a una tradizionale



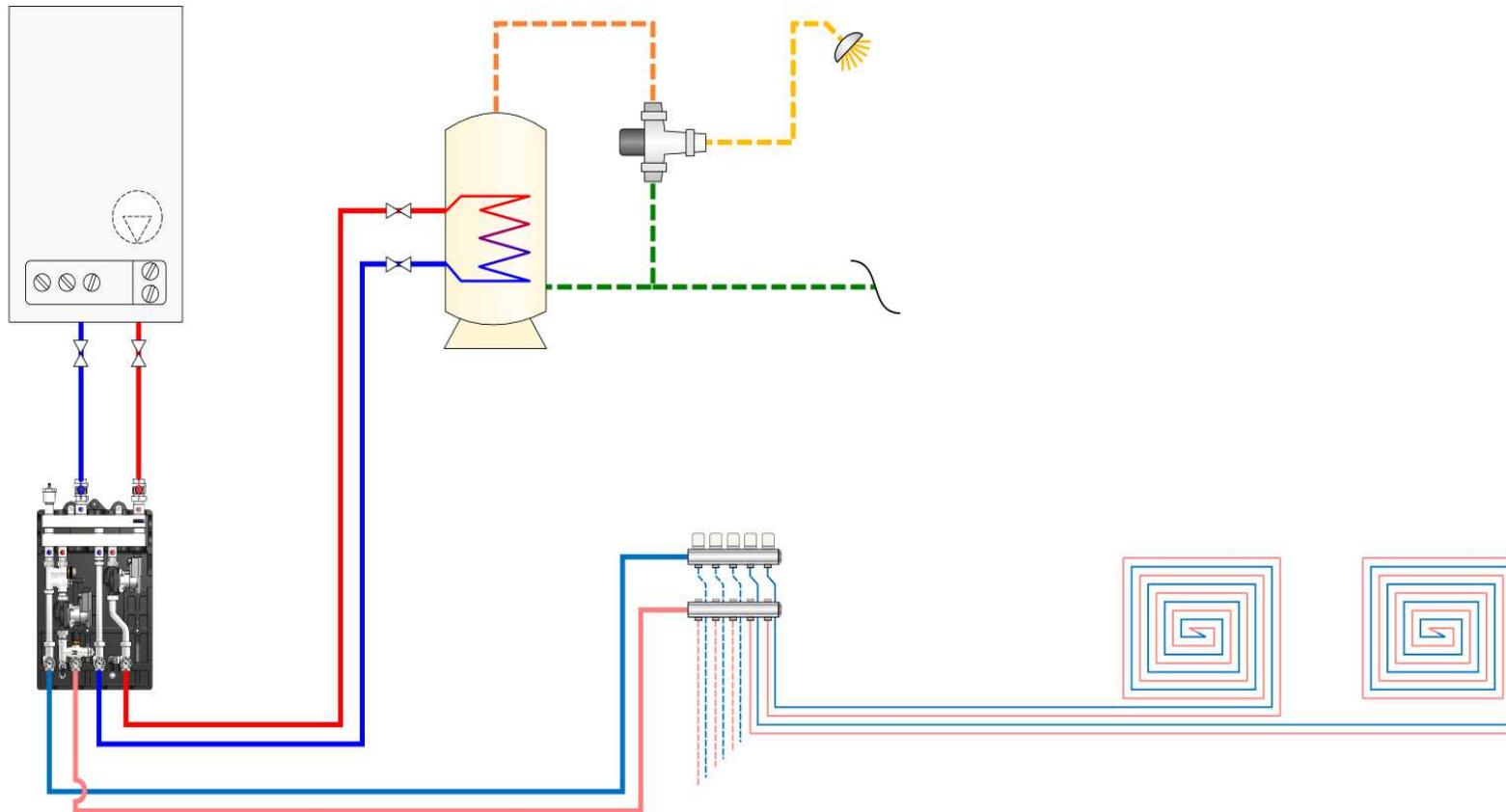
# ESEMPI DI IMPIANTO

# ■ ESEMPIO \1



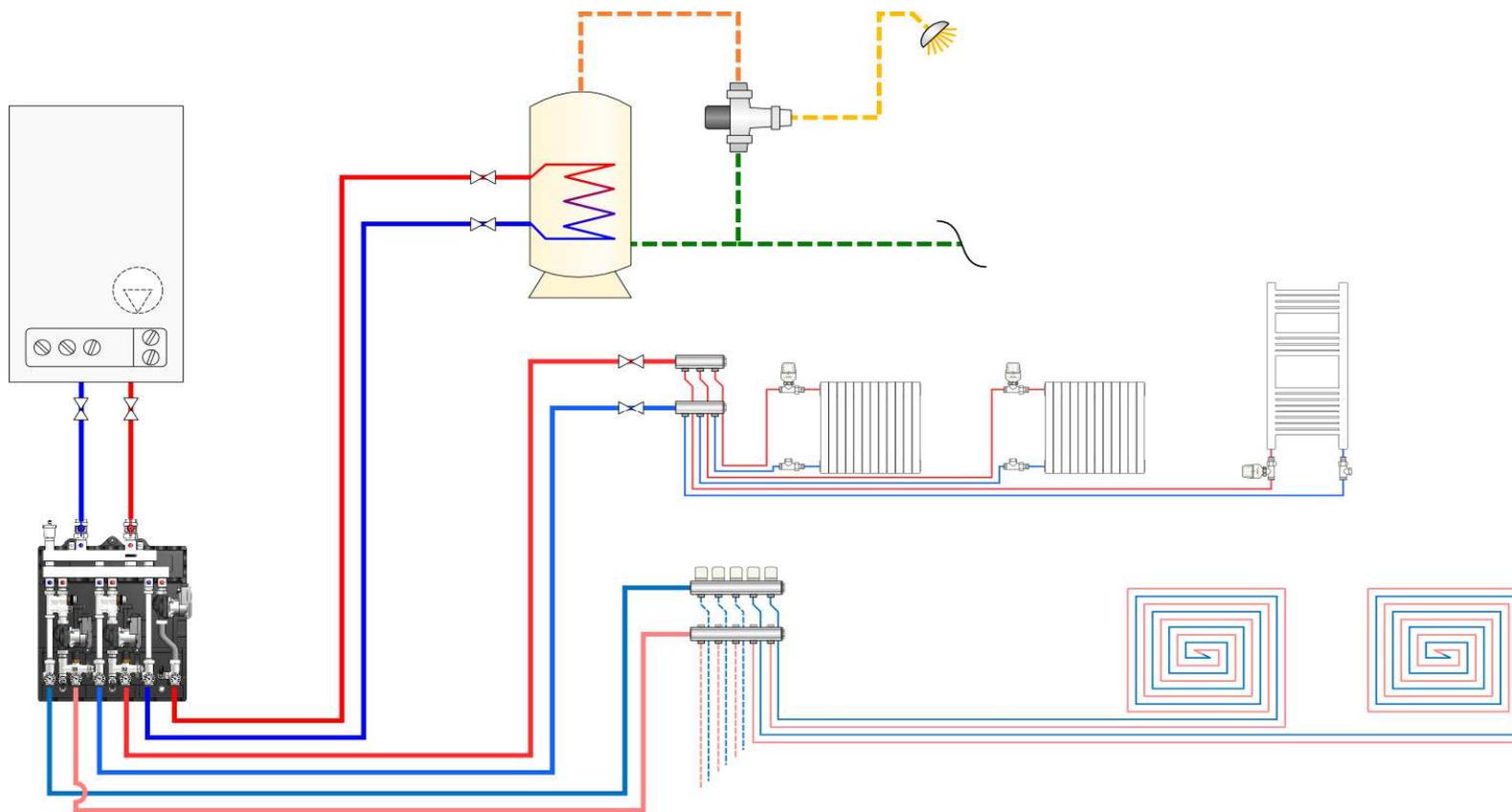
Riscaldamento multi-zona con radiatori, scaldasalviette e pannelli radianti a pavimento

## ■ ESEMPIO \2



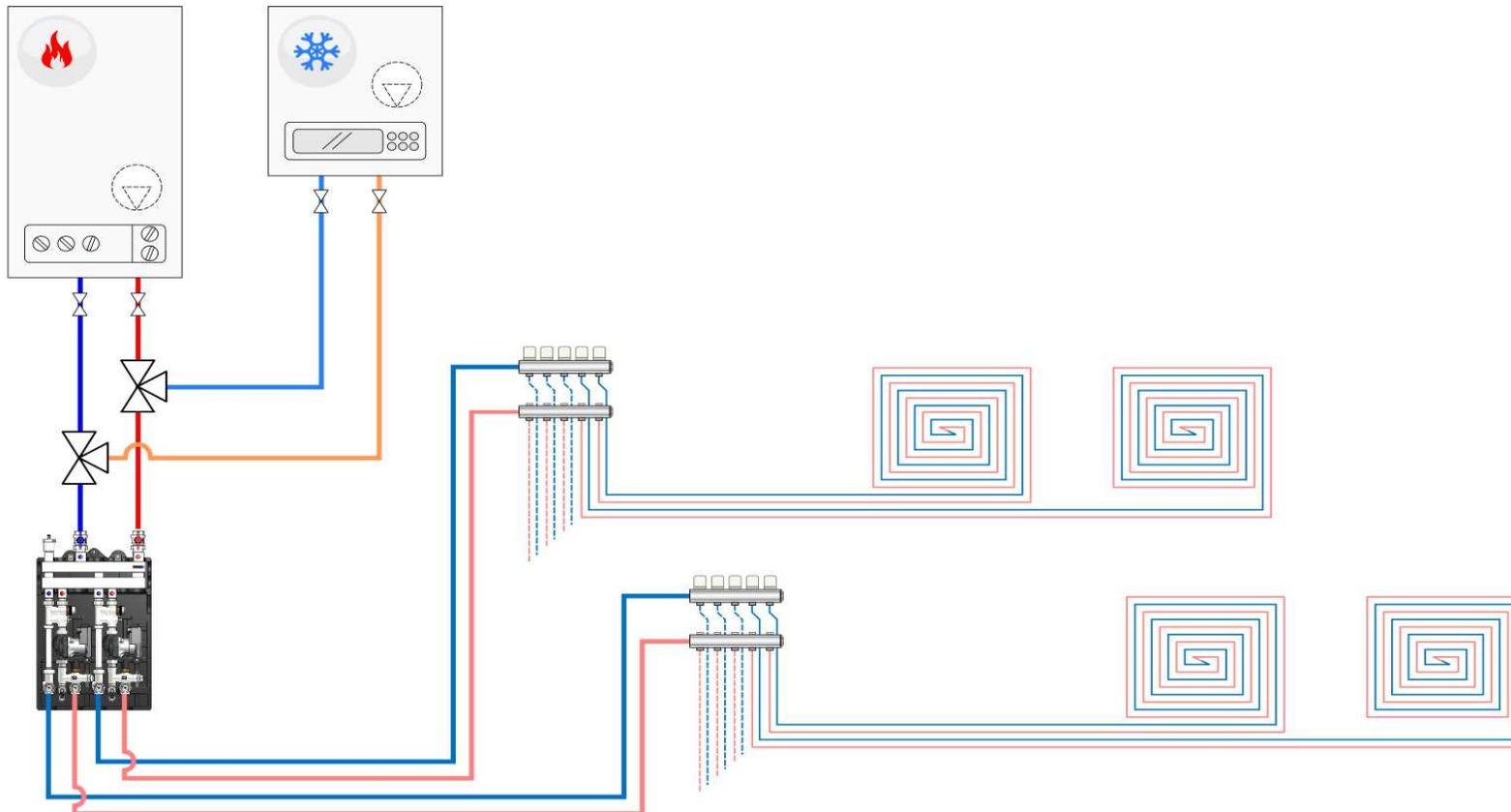
Riscaldamento con pannelli radianti a pavimento e produzione di acqua calda sanitaria ad uso domestico

## ■ ESEMPIO \3



Riscaldamento con pannelli radianti a pavimento, radiatori, scaldasalviette e produzione di acqua calda sanitaria

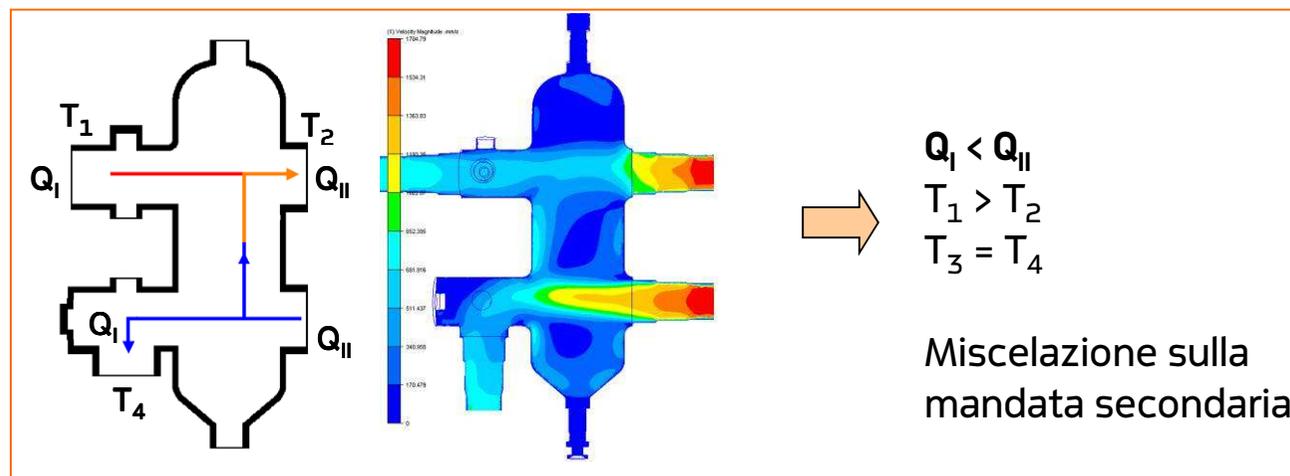
# ■ ESEMPIO \4



Riscaldamento e raffrescamento con pannelli radianti per una unità abitativa

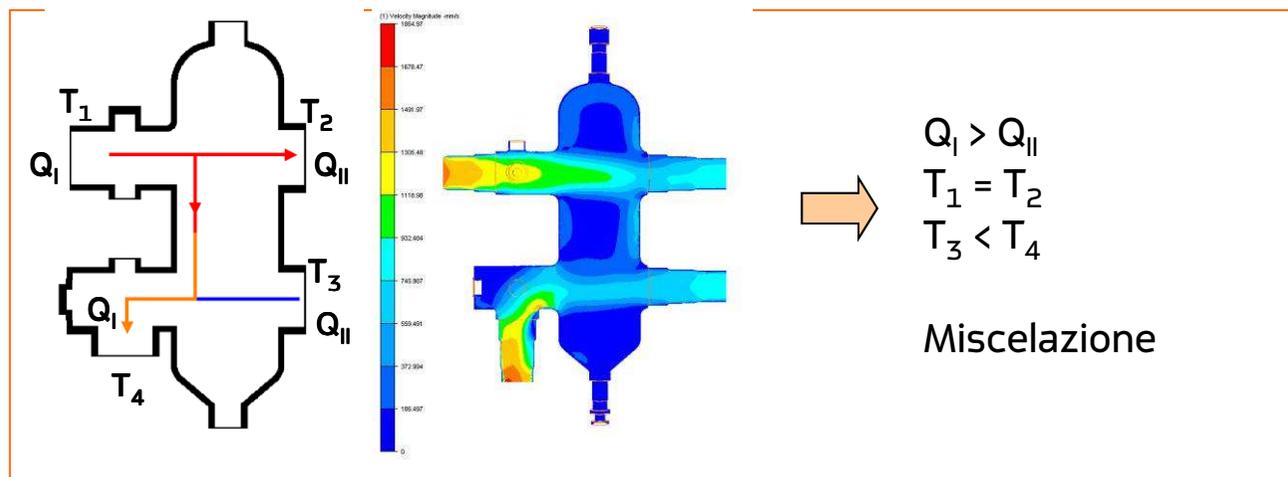
## ■ NOTA BENE

I sistemi appena visti presentano tutti un compensatore idraulico. Come vedremo nella prossima lezione, perché questo lavori bene accoppiato ad una caldaia a condensazione, dovrà esserci una portata primaria minore di quella secondaria.

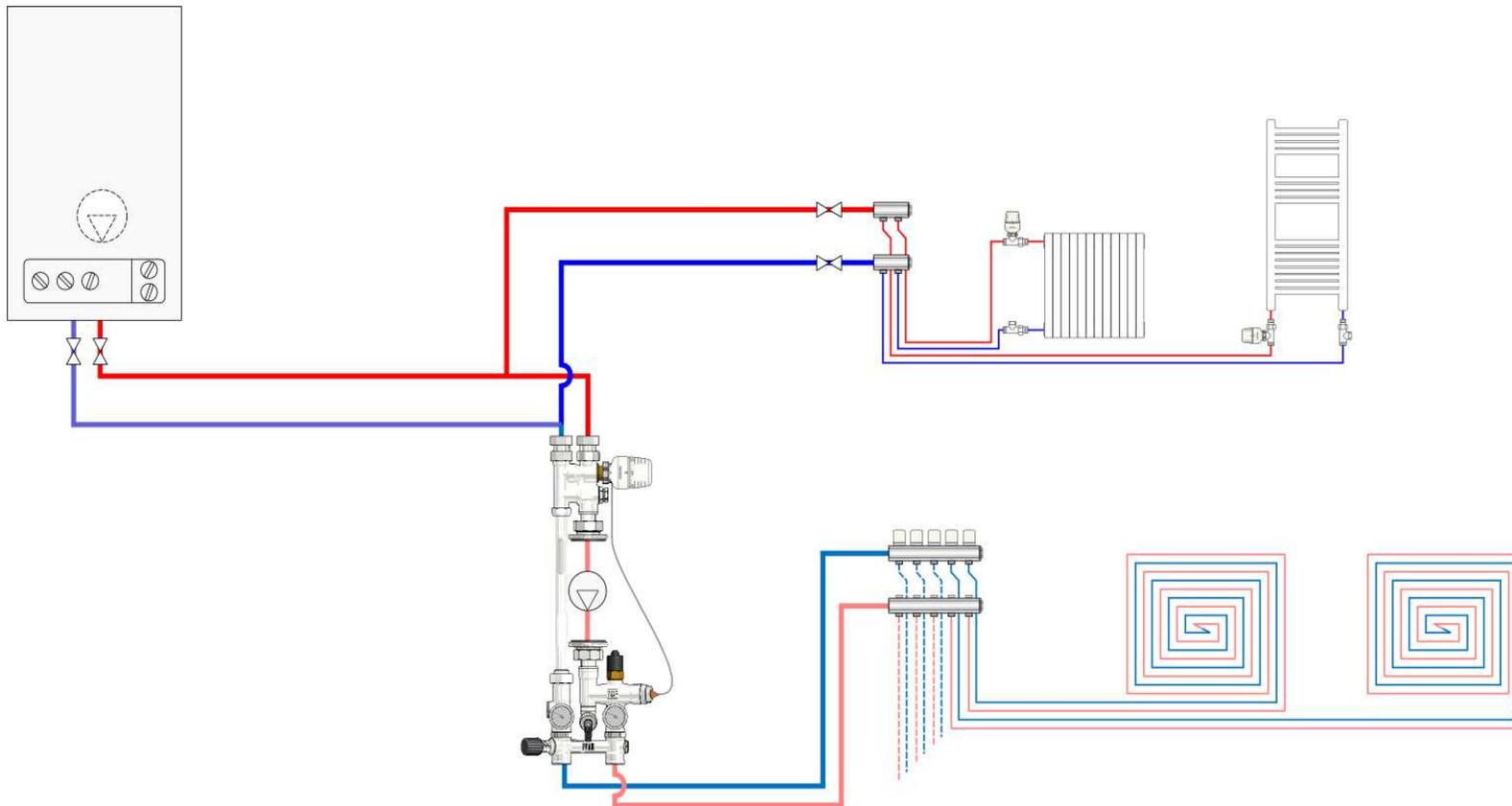


## ■ NOTA BENE

I sistemi appena visti presentano tutti un compensatore idraulico. Come vedremo nella prossima lezione, perché questo lavori bene accoppiato ad una caldaia a condensazione, dovrà esserci una portata primaria minore di quella secondaria.

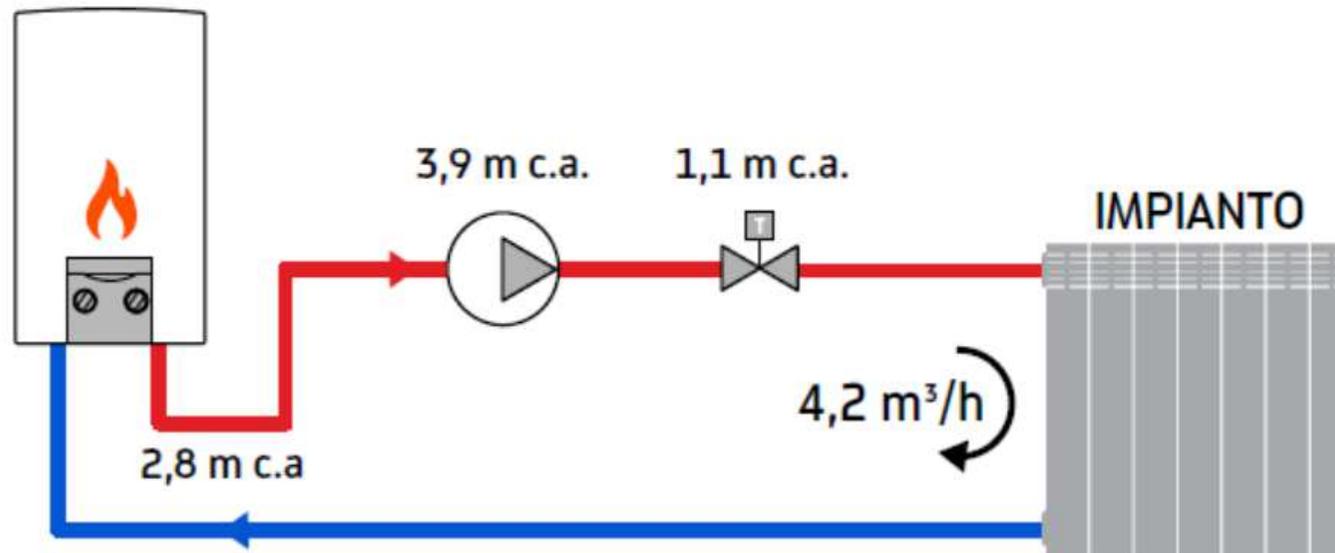


## ■ ESEMPIO \5



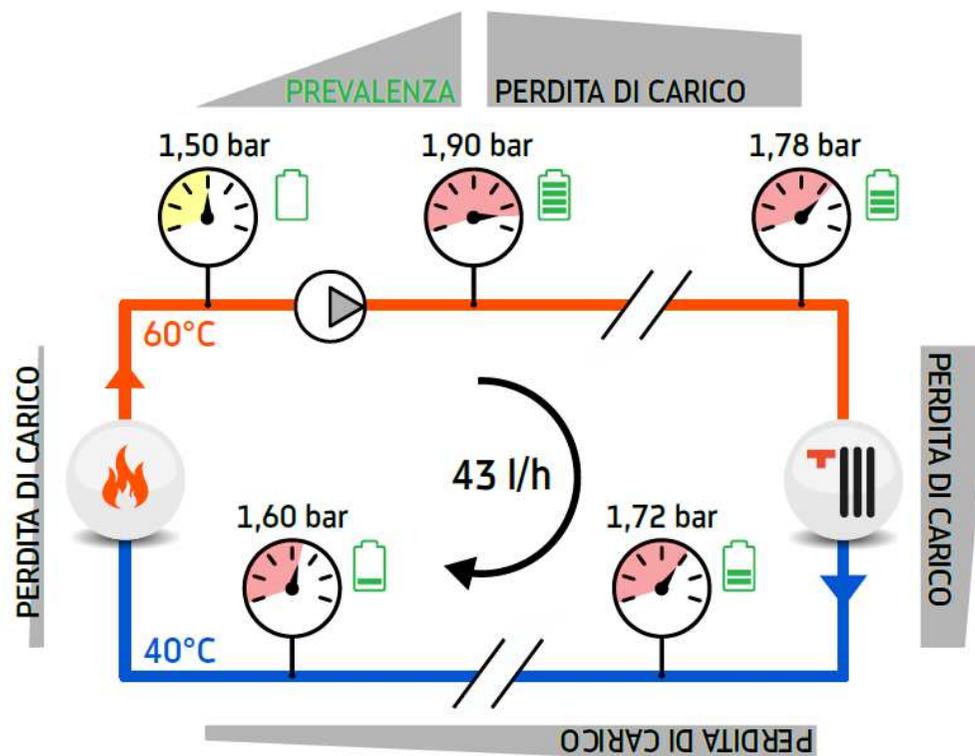
Riscaldamento a pavimento con collettori ad alta temperatura per radiatori e scaldasalviette, connesso direttamente a caldaia

# I CIRCUITI IDRAULICI



# INTRODUZIONE \1

Prima di parlare degli elementi che costituiscono un classico circuito di distribuzione dell'acqua per il riscaldamento, vediamo l'immagine seguente.

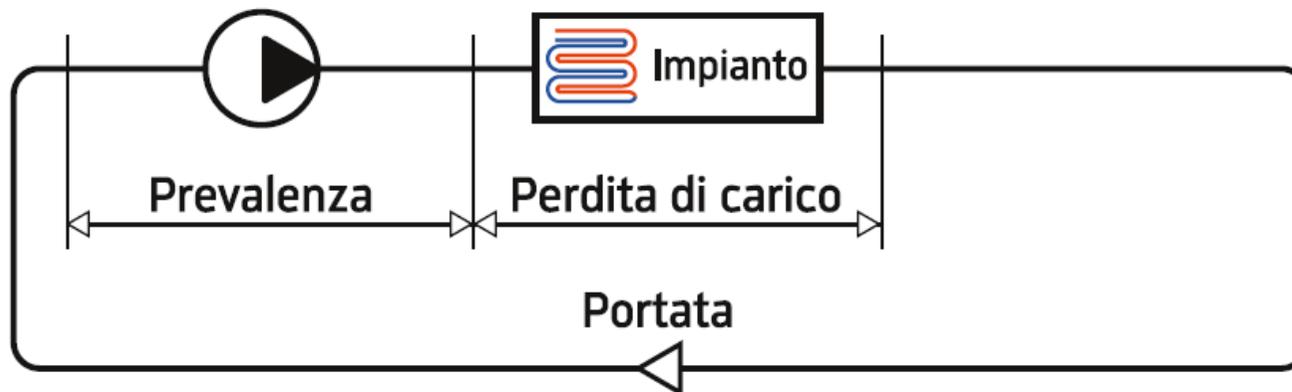
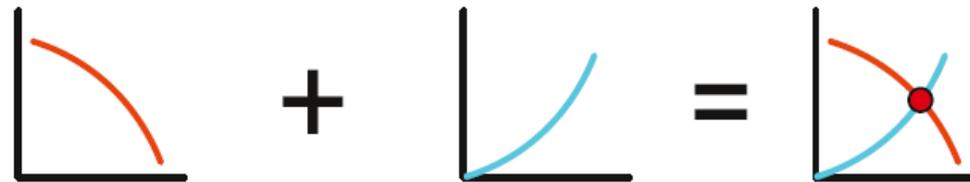


Vengono riportati gli elementi del circuito che forniscono **prevalenza** e quelli che invece causano delle **perdite di carico**.

**La somma delle prevalenze deve essere uguale alla somma delle perdite di carico.**

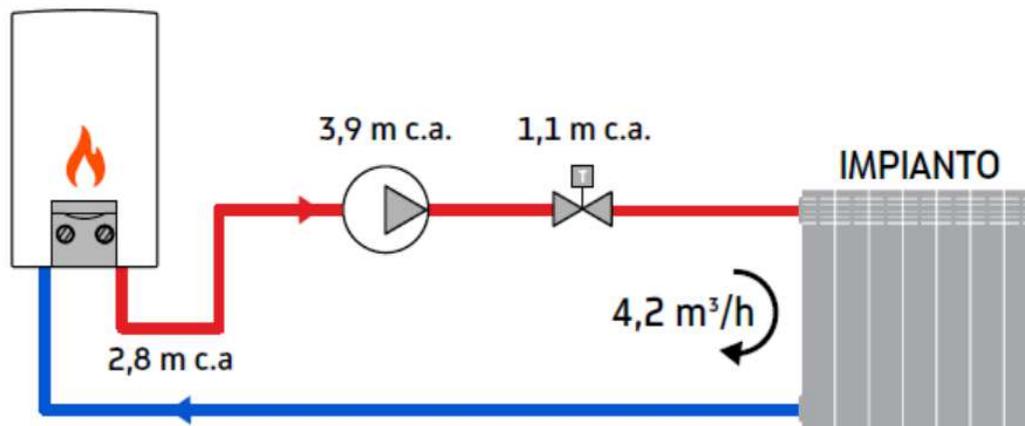
# ■ INTRODUZIONE \2

Fondamentale è il concetto di punto di lavoro di progetto dell'impianto.  
Per ottenerlo vanno confrontati tra loro la caratteristica idraulica del circuito complessivo e della pompa che vi fa girare l'acqua.



# ■ ESEMPIO DI CIRCUITO SEMPLICE \1

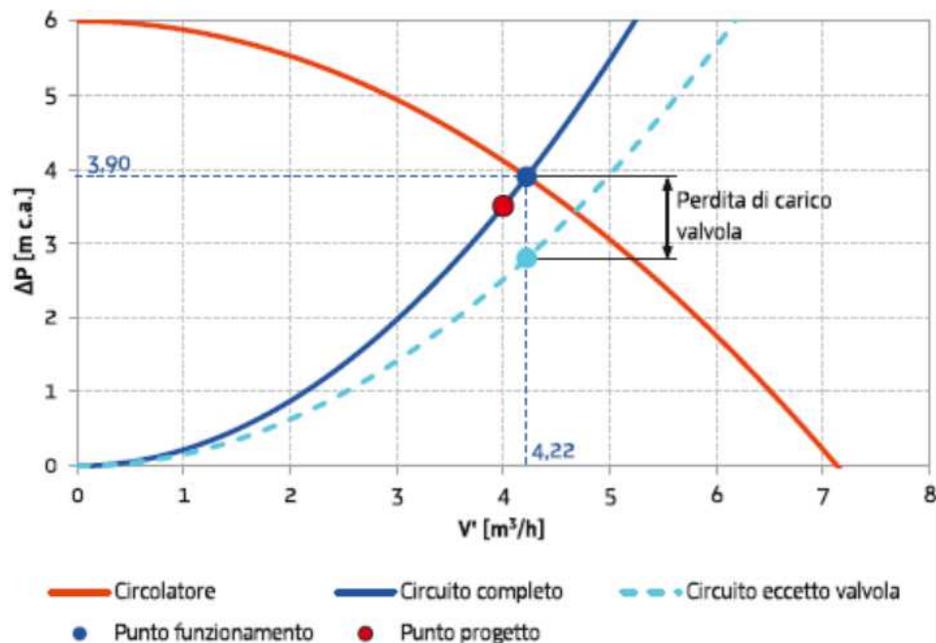
Consideriamo un **circuito semplice**, costituito da una valvola di regolazione, un sistema di generazione del calore, una pompa di circolazione ed un impianto di emissione del calore in ambiente.



Si fa l'ipotesi di avere 4,2 m<sup>3</sup>/h di portata, la perdita di carico del circuito è di 3,5 m c.a.

## ■ ESEMPIO DI CIRCUITO SEMPLICE \2

Si individua il punto di progetto passante per la **curva caratteristica** dell'impianto, che risulta dalla sovrapposizione di:



- Perdita di carico di tutto il circuito eccetto la valvola (tratteggiato);
- Perdita di carico della valvola, evidenziata in figura come distanza tra le due curve

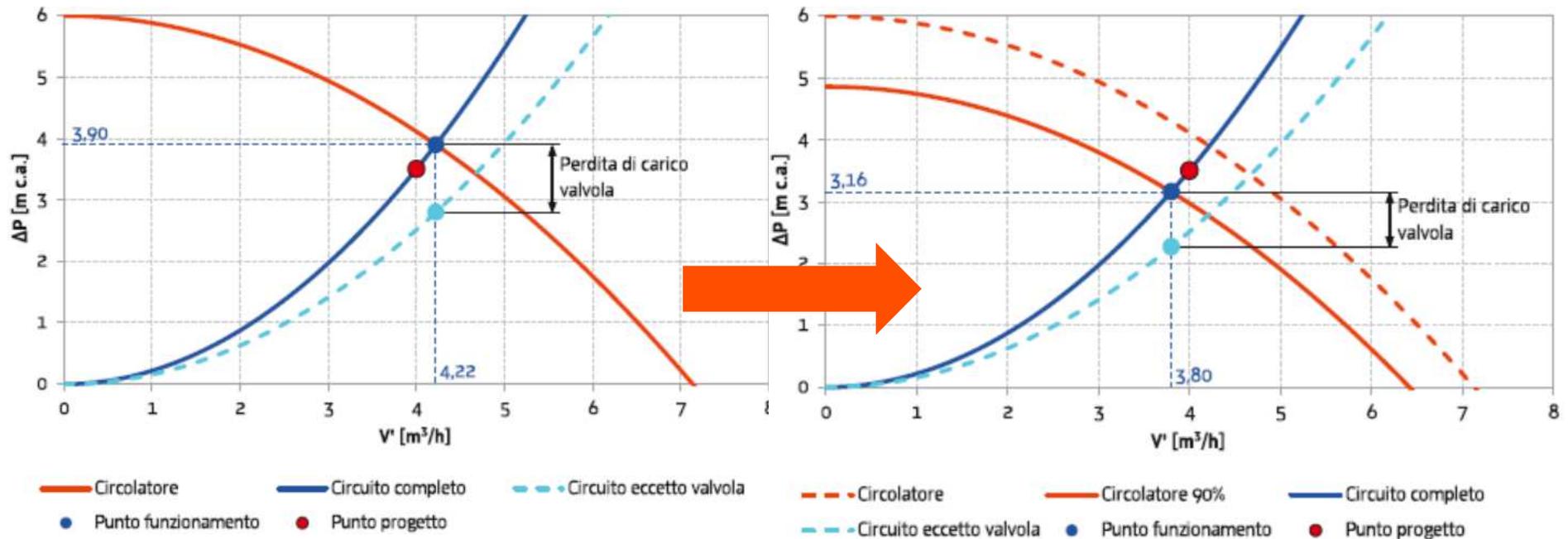
Si stabilirà una portata tale per cui la prevalenza generata dalla pompa sarà uguale alle perdite di carico dell'impianto.

# ■ ESEMPIO DI CIRCUITO SEMPLICE \3

Si pensi di ridurre il numero di giri della pompa del 10 %:

- Coerentemente la portata cala del 10 % e la prevalenza massima del 20 %;
- La caratteristica dell'impianto rimane la stessa.

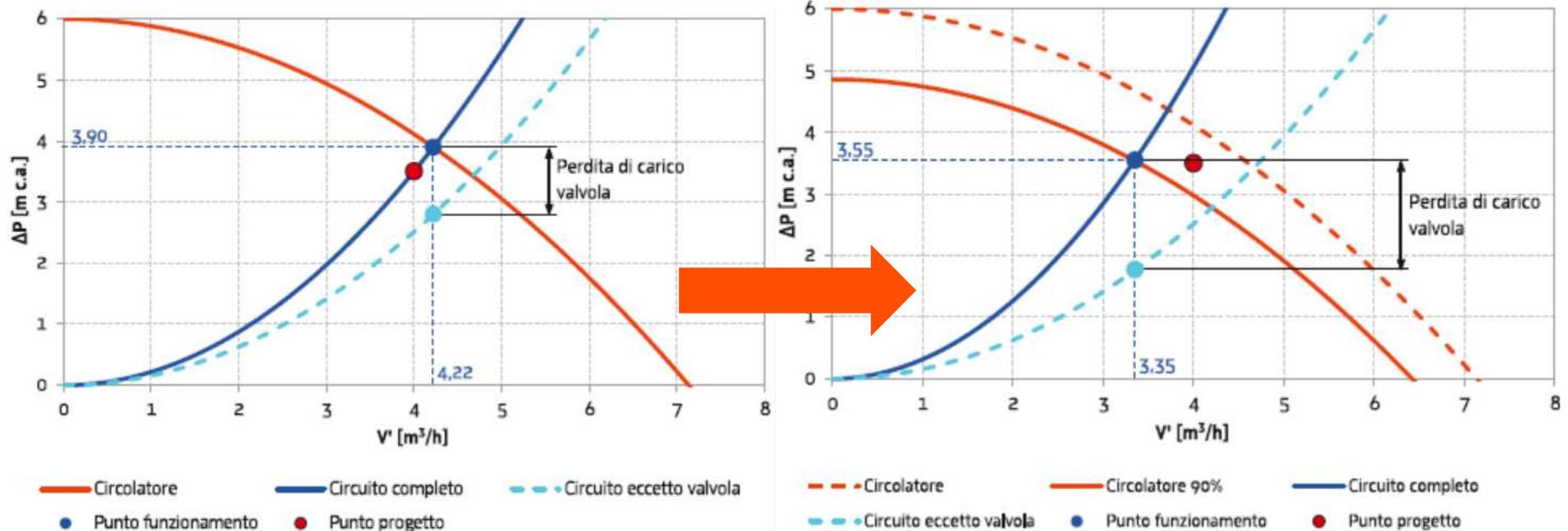
Rallentando la pompa, si riduce la portata ma anche perdite di carico e prevalenza



# ■ ESEMPIO DI CIRCUITO SEMPLICE \4

Si pensi di ridurre l'apertura della valvola di regolazione del 40 %. La caratteristica non passerà più per il punto di dimensionamento, perché:

- La curva tratteggiata di caldaia tubi e radiatori non è cambiata;
- Aumenta la perdita di carico della valvola e la curva caratteristica si sposta verso l'alto.



# ■ ESEMPIO DI CIRCUITO SEMPLICE \5

Il flusso di acqua in un circuito può essere ridotto in due modi, con impatto simile sulla portata ma diverso in termini di pressione e consumi:

**Riduzione della velocità di rotazione della pompa**

- Basta una riduzione proporzionale alla variazione di portata desiderata;
- Il calo di portata accompagna il calo della prevalenza e delle perdite di carico;
- Cala la potenza elettrica assorbita dalla pompa.

**Chiusura della valvola di regolazione**

- Serve una forte chiusura della valvola per modeste variazioni di portata;
- Il calo di portata accompagna un aumento di prevalenza e delle perdite di carico;
- La potenza elettrica resta pressoché costante.

# ■ I CIRCUITI NEGLI IMPIANTI REALI

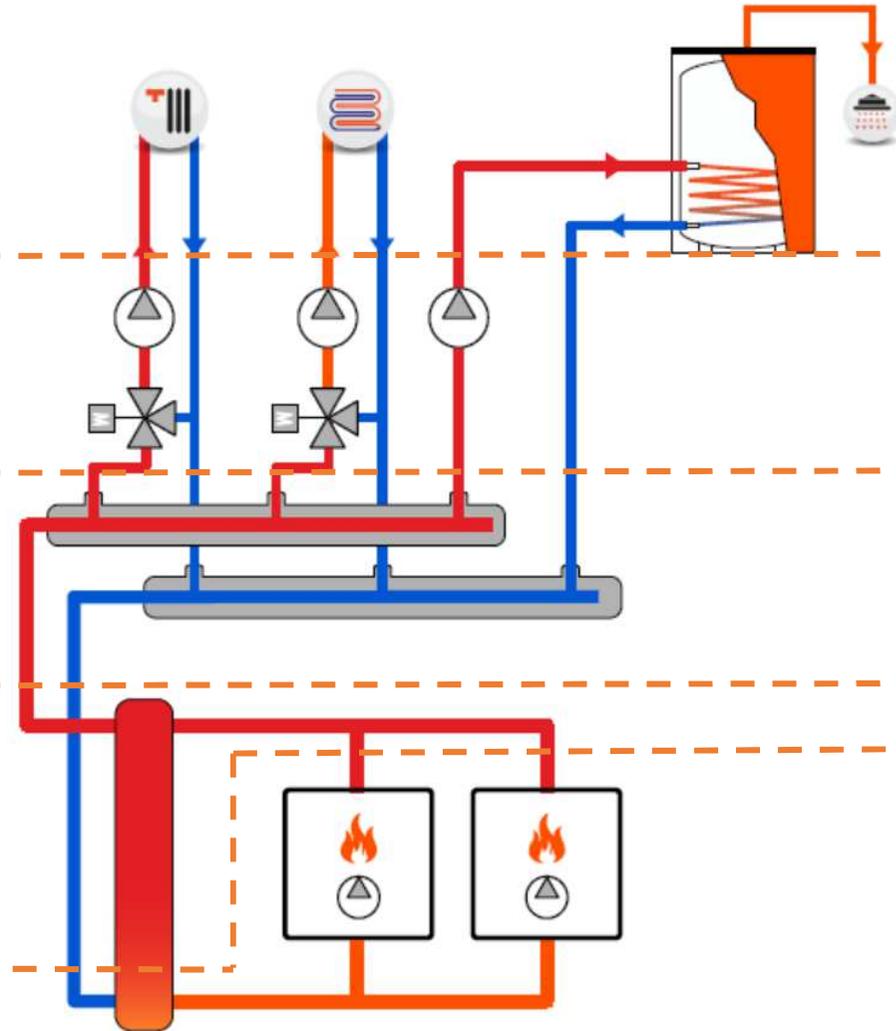
Corpi scaldanti:  
Collegati a gruppi («zone» o «circuiti utenti»)

Circuiti di distribuzione:  
Connessione corpi scaldanti/collettori

Collettori di distribuzione:  
Punto di connessione comune di tutto  
l'impianto

Circuiti di generazione:  
Connessione generatori/collettori

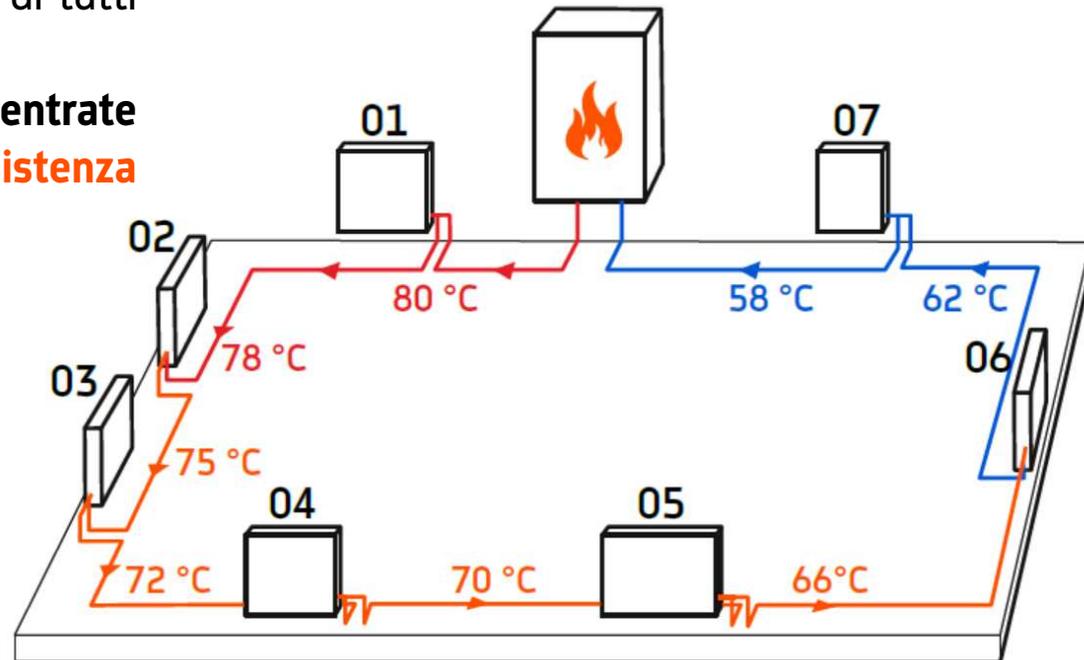
Generatori di calore



# ■ COLLEGAMENTO IN SERIE

## Collegamento in serie:

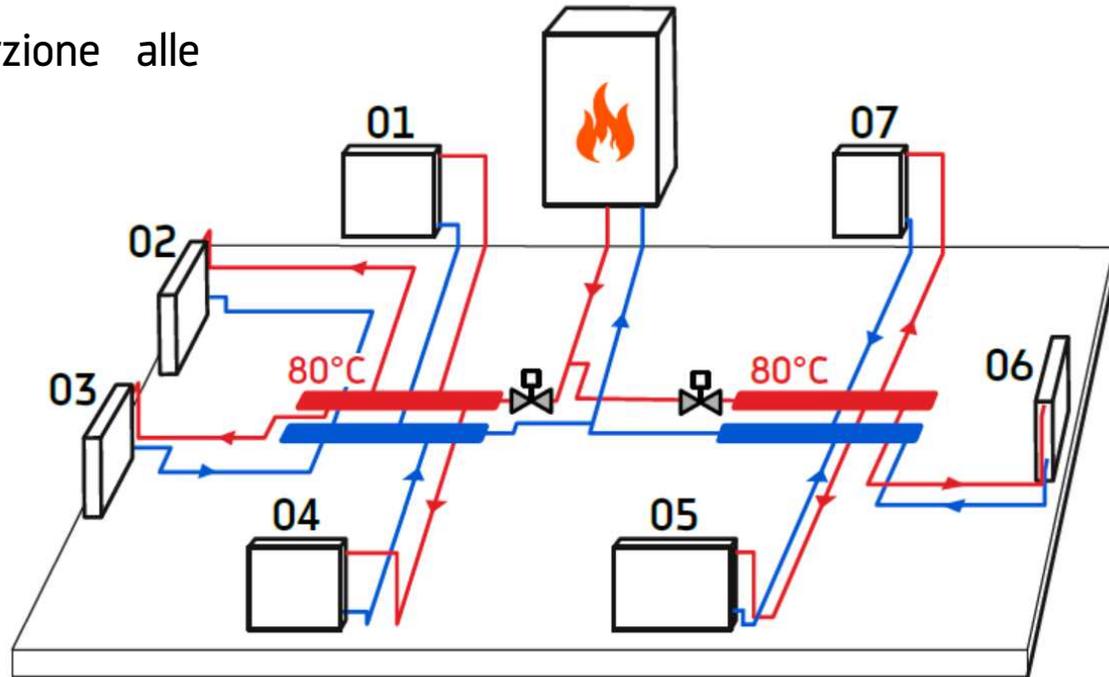
- Tutti gli elementi sono percorsi della medesima portata
- Si sommano le perdite di carico di tutti gli elementi di serie
- Le perdite di carico sono **concentrate** sul componente con **resistenza idraulica** massima.



# ■ COLLEGAMENTO IN PARALLELO

## Collegamento in parallelo:

- Perdita di carico uguale su tutti i rami;
- Portata complessiva è la somma di tutte le portate
- Portata distribuita in proporzione alle **resistenze idrauliche** dei rami

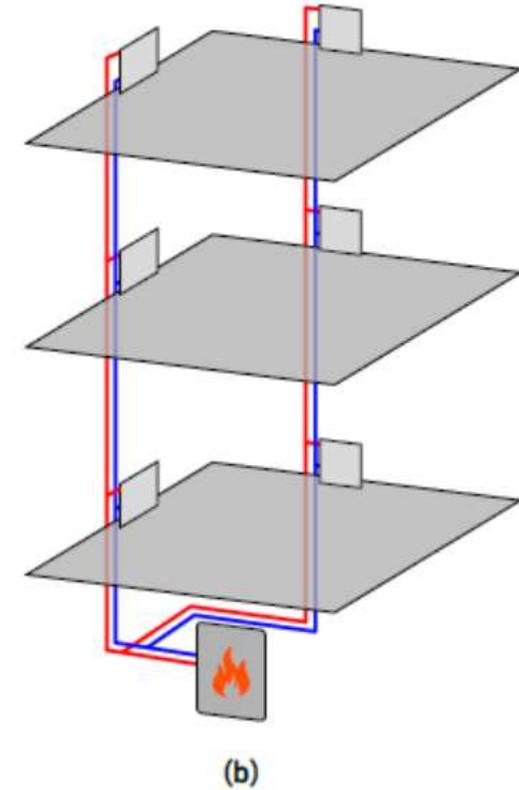
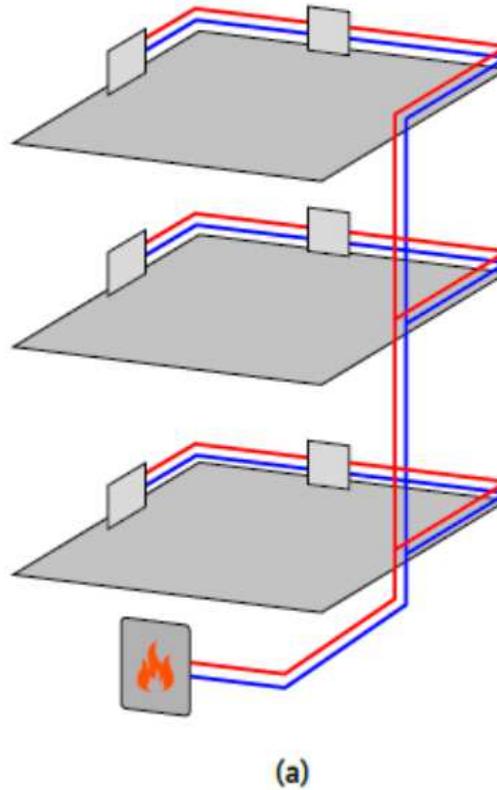


# LE ZONE DELL'IMPIANTO

**Le zone sono delle sezioni con un unico collegamento di mandata e ritorno.**

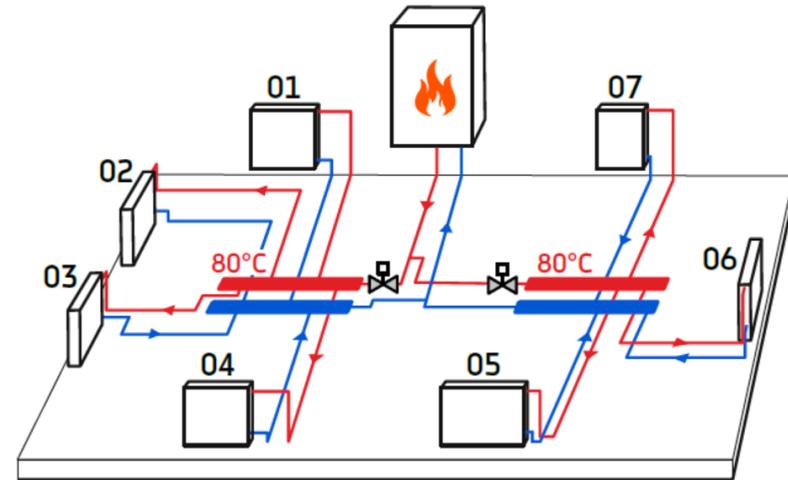
Dovrebbero corrispondere a zone di impianto omogenee perché appartenenti a:

- Una sola unità immobiliare dell'edificio;
- Parti di edificio con orari di funzionamento omogenei;
- Parti di edificio con corpi scaldanti omogenei.

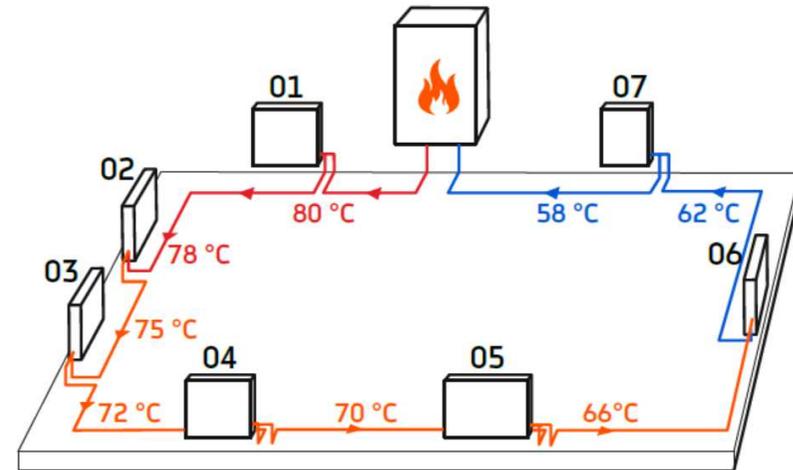


# COLLEGAMENTO BITUBO E MONOTUBO

**Collegamento bitubo (in parallelo):**  
Servono due tubi per ciascun corpo scaldante



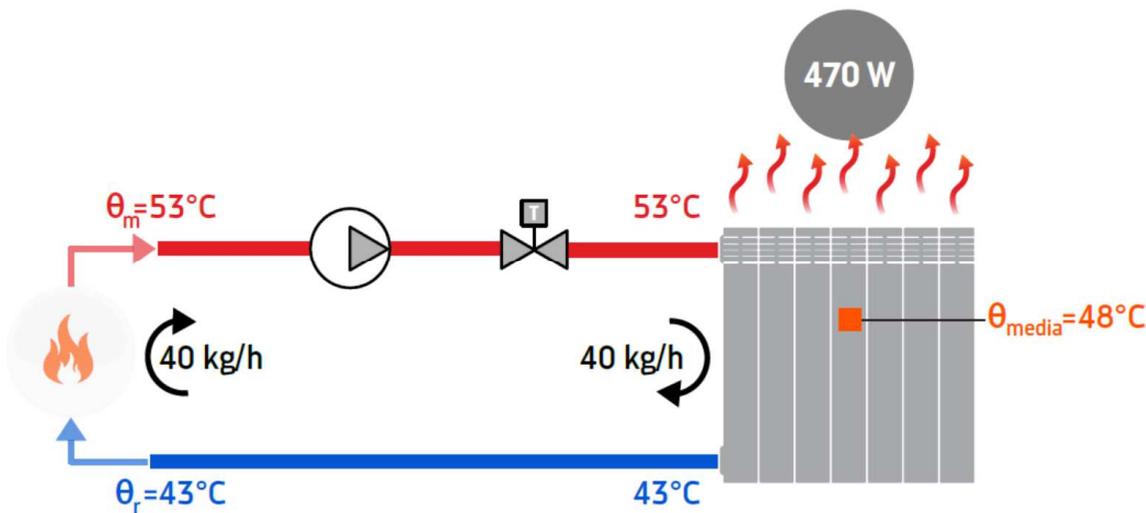
**Collegamento monotubo (in serie):**  
Un unico tubo fa il giro del perimetro della zona



# ■ CIRCUITI IDRAULICI DI UTENZA \1

## Circuito utente diretto:

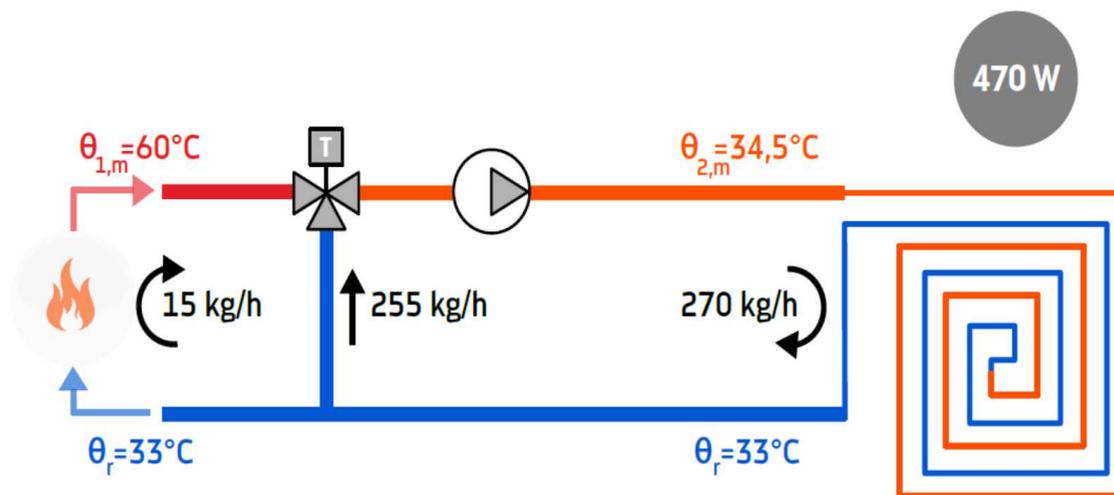
Non consente alcuna regolazione della temperatura di mandata, fatto solo dal generatore. Si può intervenire sulla portata circolante, con dispositivi modulanti e ON/OFF.



# ■ CIRCUITI IDRAULICI DI UTENZA \2

## Circuito miscelato con valvola a tre vie:

La pompa e la mandata del circuito sono alimentati con una miscela di acqua alla temperatura del collettore di mandata e acqua di ritorno del circuito. Se ne controlla il rapporto per avere la temperatura desiderata al corpo scaldante.



**N.B: la pompa si trova a valle della valvola.**

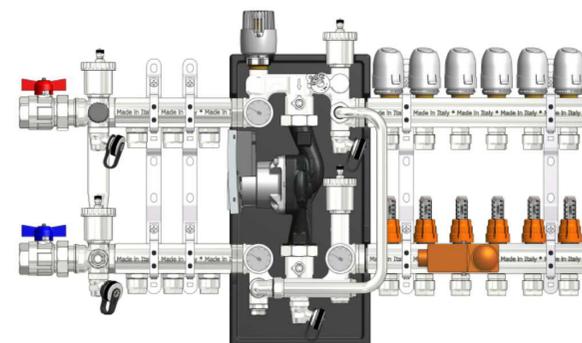
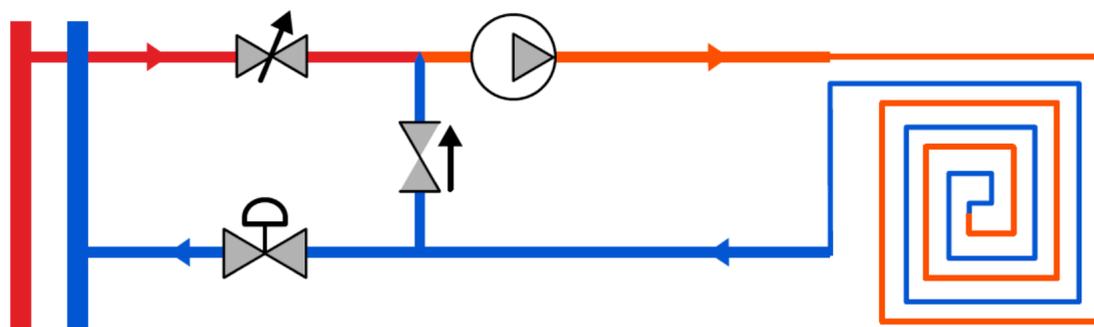
- La potenza totale assorbita dal circuito è la somma delle potenze assorbite dai corpi scaldanti

# ■ CIRCUITI IDRAULICI DI UTENZA \3

## Circuito a iniezione con valvola a due vie:

Per compensare la sostituzione della valvola saranno necessarie delle connessioni in più.

Con la valvola di iniezione si controlla direttamente solo la via calda. Quella fredda è controllata altrove, per esempio da un organo statico impostato sulla base del punto di progetto.



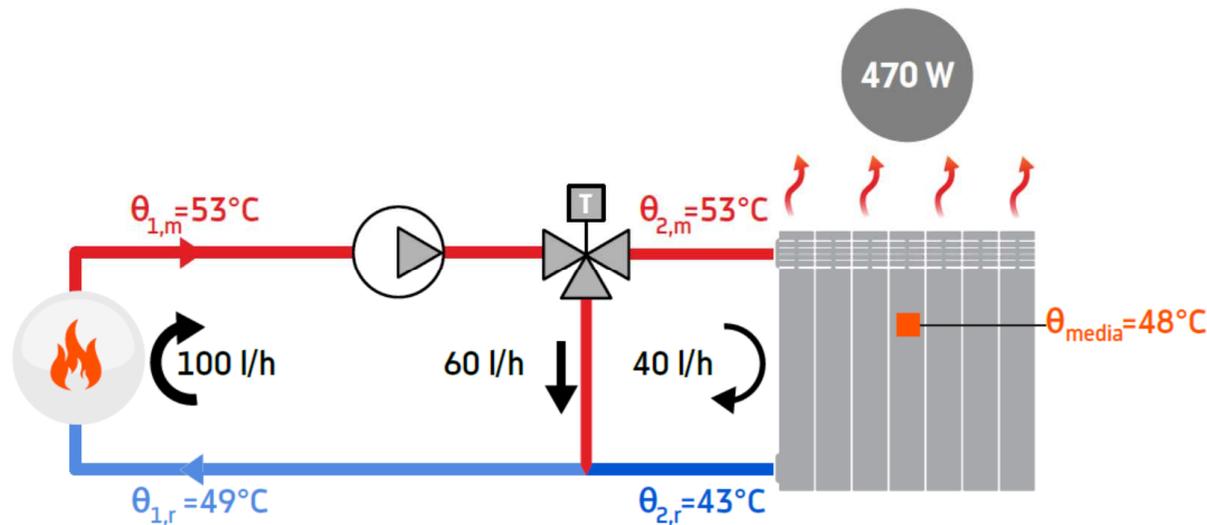
# ■ CIRCUITI IDRAULICI DI UTENZA \4

## Circuito a by-pass:

Anche in questo caso si fa uso di una valvola a tre vie che divide la portata complessiva del circuito in due parti:

- Una parte passa attraverso il corpo scaldante;
- Il resto va direttamente al ritorno, senza passare per il corpo scaldante

**N.B: la pompa si trova sempre a monte della valvola.**



Il corpo scaldante lavora a portata variabile e temperatura di mandata uguale a quello di mandata del collettore.

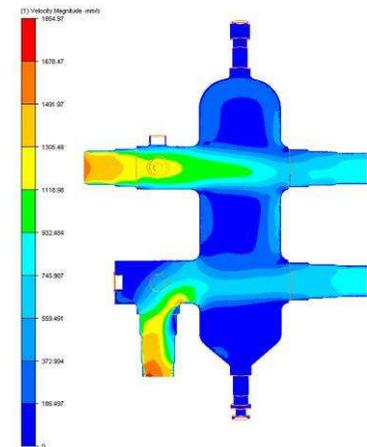
Questo circuito crea una problematica: il fluido viene ricircolato, con spese da parte della pompa e una **temperatura di ritorno in caldaia elevata.**

# COMPENSATORI IDRAULICI

# ■ COLLEGAMENTO IDRAULICO DEL GENERATORE ALL'IMPIANTO

La connessione tra generatore di calore e mandata e ritorno del circuito può essere fatta **direttamente**. È la soluzione più **semplice** e garantisce le migliori prestazioni per il generatore. Tuttavia, è possibile solo se il generatore può lavorare alla portata richiesta dall'impianto, anche a carichi parziali.

Se questo non è possibile, diventa necessario ricorrere ad un **compensatore idraulico**.

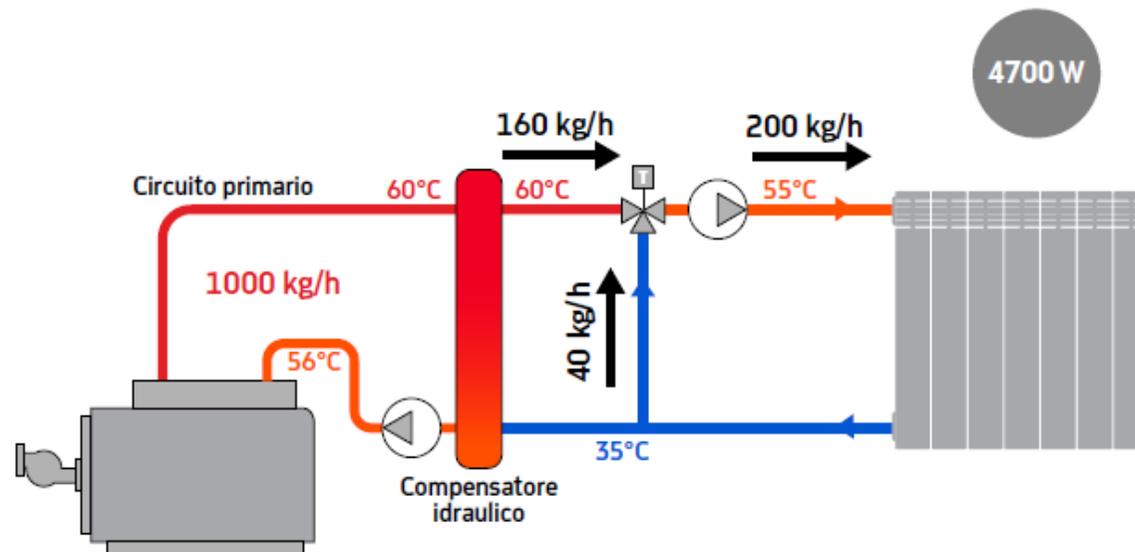


# ■ IL COMPENSATORE IDRAULICO \1

Un compensatore idraulico è una connessione diretta tra mandata e ritorno.

I circuiti primario e secondario dovranno essere dotati di pompe distinte. La differenza tra le portate dei circuiti circola liberamente nel compensatore, che diventa fondamentale se la portata nei terminali è troppo alta, oppure troppo bassa.

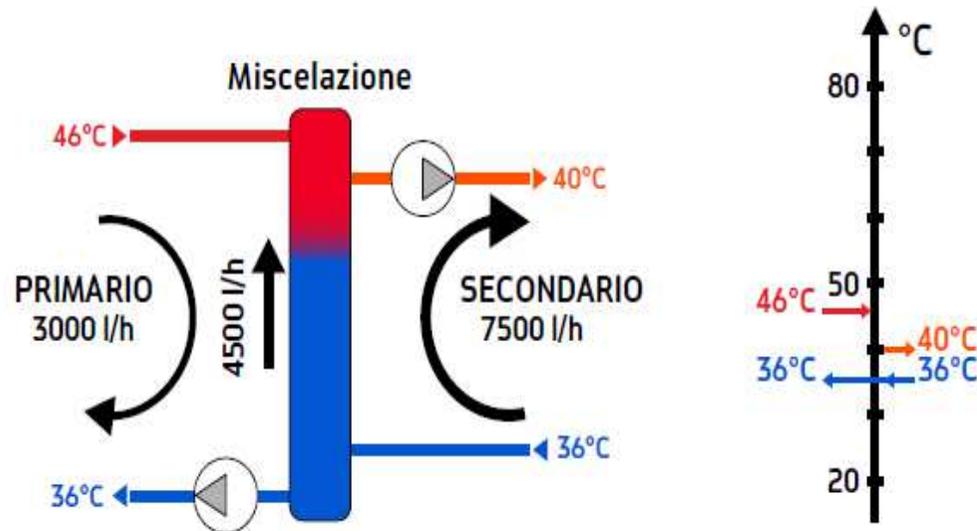
Il compensatore va regolato sulla base della portata massima tra primario e secondario, senza eccedere gli 0.5 m/s di velocità.



## ■ IL COMPENSATORE IDRAULICO \2

Se la portata è inferiore nel primario rispetto al circuito dei terminali, l'acqua inviata alla mandata del secondario è tutta l'acqua di mandata del primario più una parte di quella di ritorno dal secondario.

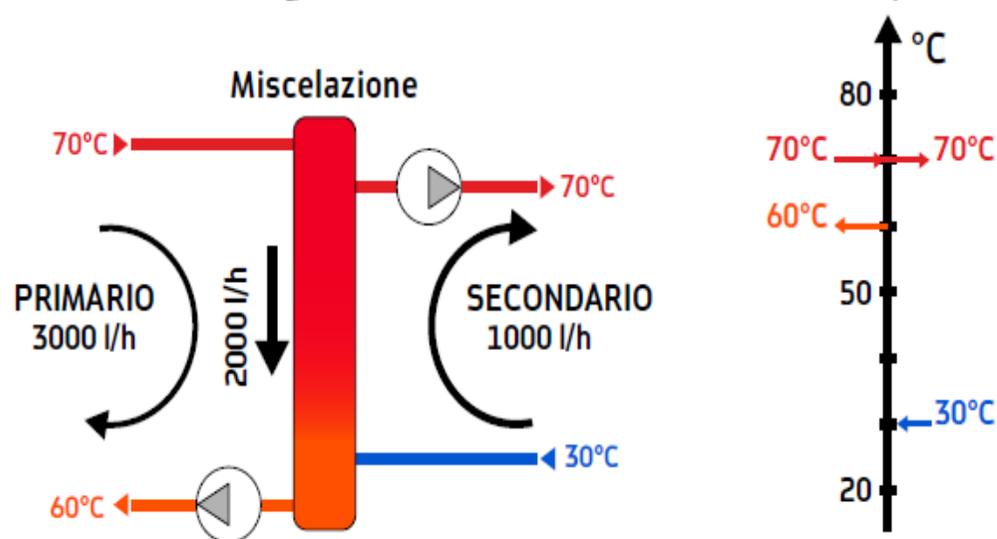
**È il caso degli impianti a pannelli radianti senza valvola miscelatrice.**



# ■ IL COMPENSATORE IDRAULICO \3

Se la portata del primario è maggiore di quella del secondario, l'acqua inviata al ritorno del primario è tutta quella di ritorno del secondario più parte di quella di mandata del primario.

È il caso degli impianti a radiatore con valvole termostatiche.



# I CORPI SCALDANTI

# ■ IL RADIATORE \1

## Parametri fondamentali:

- Temperatura mandata dell'acqua;
- Temperatura di ritorno dell'acqua;
- Temperatura media superficiale del radiatore;
- Temperatura dell'ambiente in cui è installato.

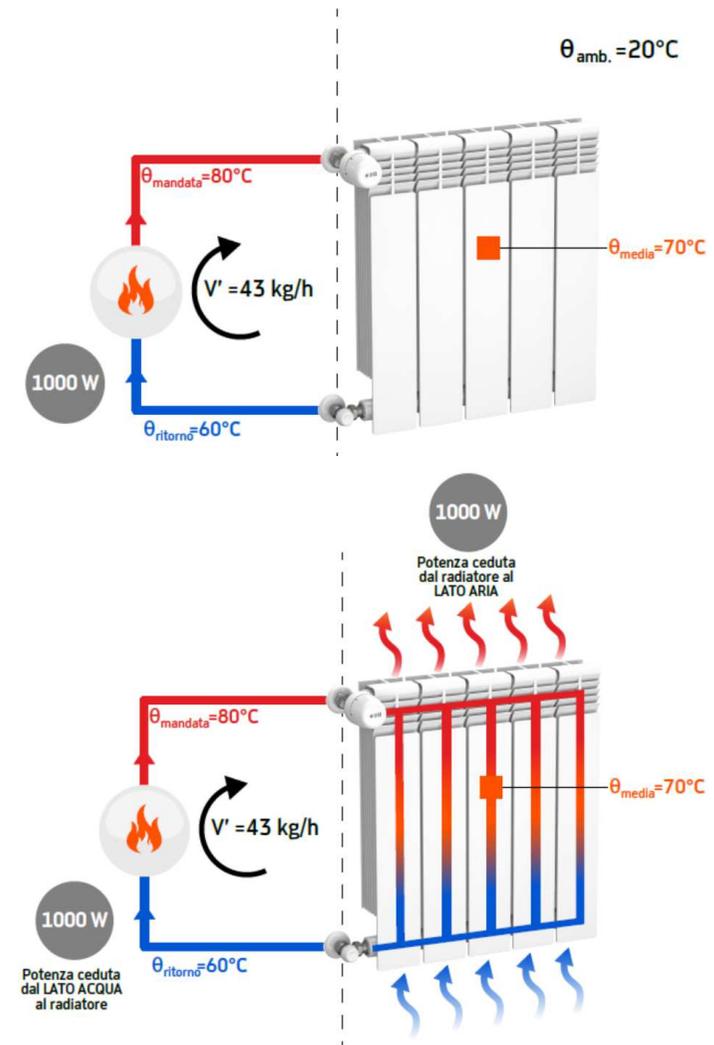
La **potenza** scambiata lato aria dipende da:

- Dimensione del radiatore (potenza nominale);
- Differenza tra temperatura media superficiale e quella dell'ambiente.

Dal lato impianto, la potenza erogata dipende da:

- Portata;
- Calore specifico dell'acqua;
- Salto termico tra mandata e ritorno.

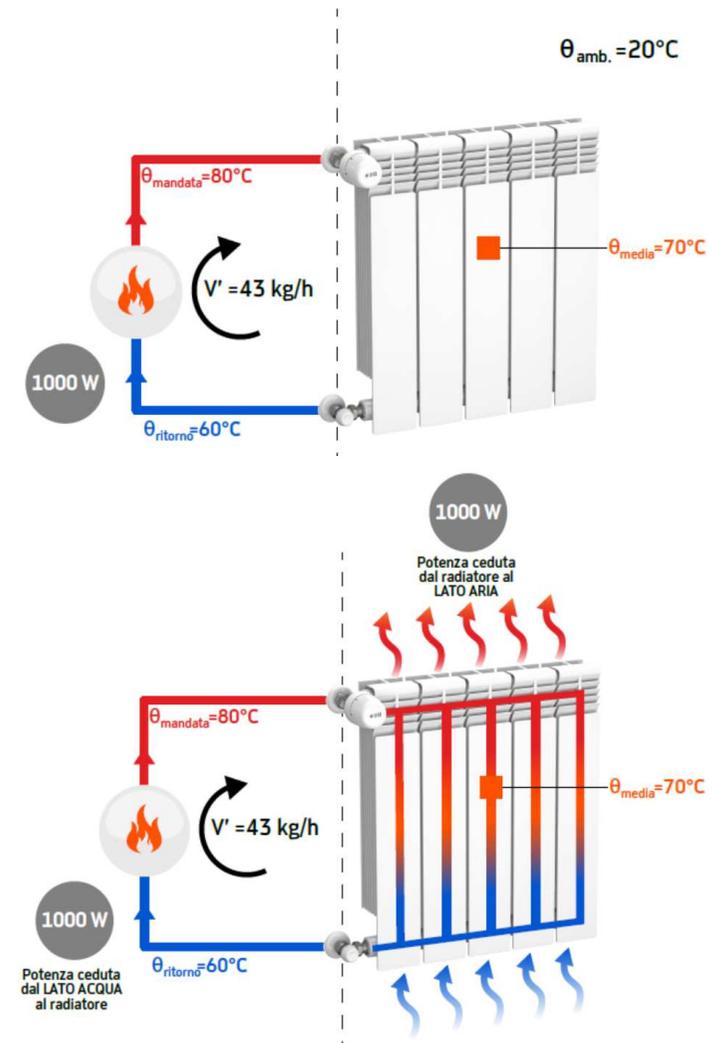
**Potenza nominale: è il parametro che ci dice quanto è grande il radiatore.**



# ■ IL RADIATORE \2

Il meccanismo di scambio termico prevalente per questo tipo di terminale è la **convezione**, ma non è il solo.

**Potenza nominale: è il parametro che ci dice quanto è grande il radiatore.**



# LA POTENZA NOMINALE

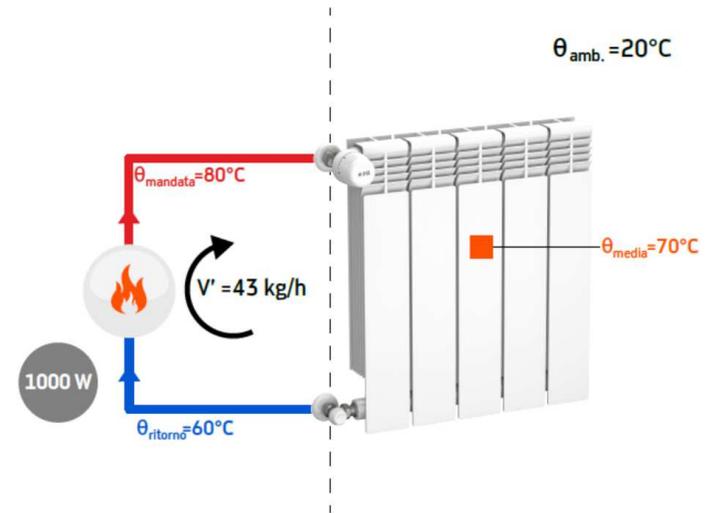
L'emissione termica di un corpo scaldante viene calcolata mediante prove di laboratorio secondo norma UNI per fissato salto termico tra corpo scaldante e ambiente.

$$Q_{nom} = C (t_{mr} - t_a)^n$$

Dove  $t_{mr}$  indica la temperatura media del corpo scaldante,  $t_a$  quella dell'ambiente circostante e la loro differenza viene fissata per le prove a **50 °C**.

Il costruttore solitamente fornisce il parametro  $Q_{nom}$  e  $n$ , da cui si può ricavare  $C$ .  
Se un radiatore lavora a  $t_{mr}$  diversa, la potenza emessa può essere calcolata come:

$$Q^* = Q_{nom} \left( \frac{t_{mr} - t_a}{50} \right)^n$$

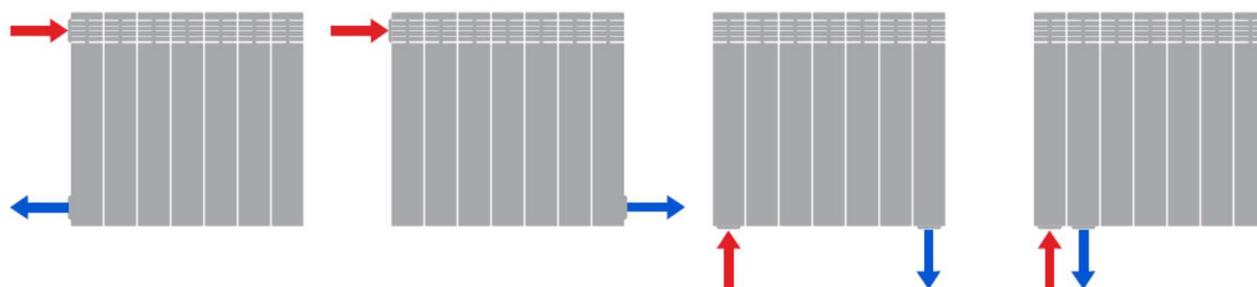
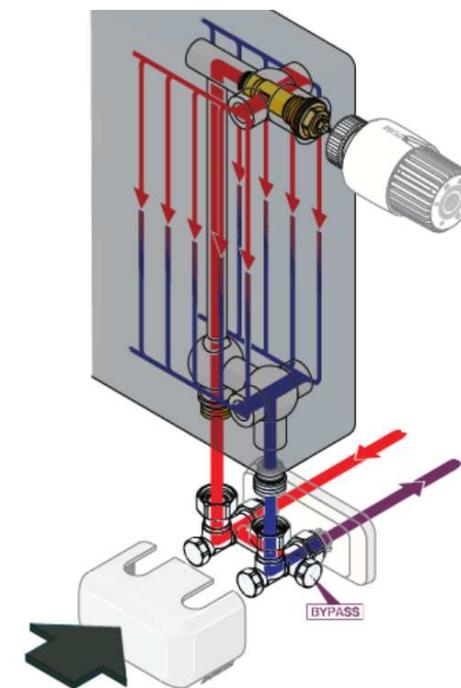
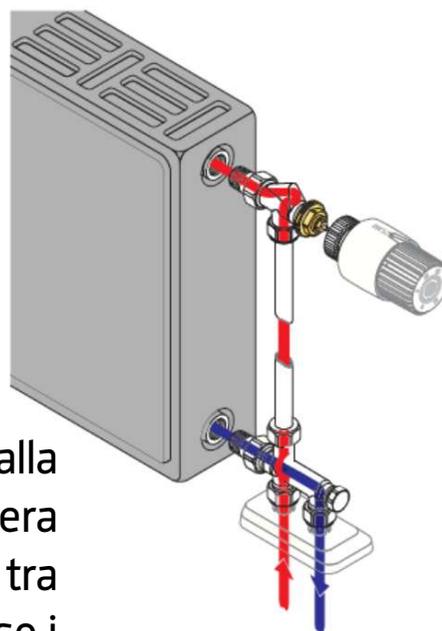


# ■ GLI ACCESSORI

In generale sui radiatori sono montati tre accessori:

- **Una valvola di ingresso (manuale o automatica);**
- **Un detentore;**
- **Una valvola di sfiato.**

L'acqua nel radiatore stratifica in base alla sua temperatura e si dispone nella maniera corretta per avere uno scambio di calore tra acqua che scende e aria che sale attraverso i suoi elementi.



Esempi di  
disposizione  
IN/OUT

# ■ REGOLAZIONE

I radiatori lavorano facilmente in tutte le condizioni di funzionamento: alta e bassa temperatura, salti termici elevati ma anche ridotti (dal punto di vista dell'acqua).

Lavorare a temperatura più bassa comporta una potenza inferiore a quella nominale. Questo si risolve aumentando il numero di elementi.

**Per modulare la potenza erogata** si può agire su:

- **Temperatura di mandata**, cambiando il set-point o sfruttando circuiti miscelati;
- **Portata**, attraverso valvole di regolazione.

Variare la temperatura di mandata (a portata fissa), significa variare la potenza emessa in maniera lineare.

Modificare la portata (a temperatura di mandata fissata), significa modificare la potenza in maniera non lineare: serve una grande riduzione di portata per avere cali di potenza accettabili.

# ■ PANNELLI RADIANTI \1

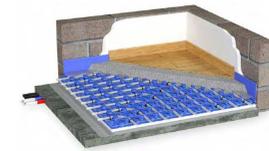
Sono i terminali più comuni nelle nuove abitazioni.

Sfruttano come **superficie di scambio termico**:

Pavimento

Pareti

Soffitto



La temperatura di mandata di questi elementi non deve MAI superare un certo limite per non danneggiare tubazioni, pannelli, rivestimenti e non portare a sensazioni di discomfort.

**Lo scambio di calore di questi sistemi avviene prevalentemente per IRRAGGIAMENTO.**

Dal punto di vista idraulico, le caratteristiche sono:

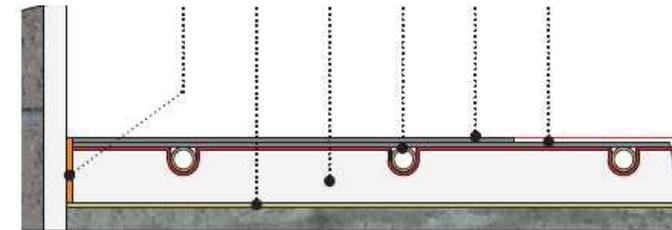
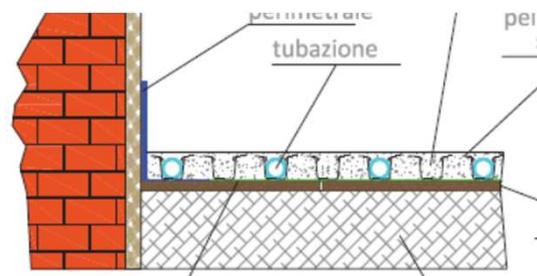
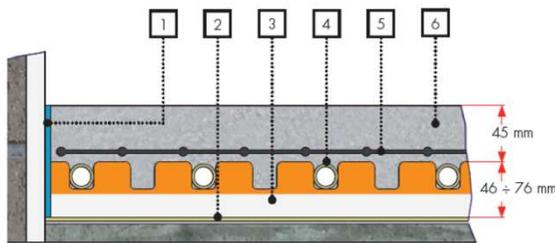
- Una portata di progetto più elevata rispetto ai radiatori (a parità di potenza);
- Una perdita di carico di progetto che può giungere a 2 m c.a.

## ■ PANNELLI RADIANTI \2

A parità di potenza emessa, nei pannelli radianti scorre una **portata maggiore che nei radiatori**, poiché il salto termico in questi sistemi deve essere mantenuto il più basso possibile (valori tipici 8-10 °C).

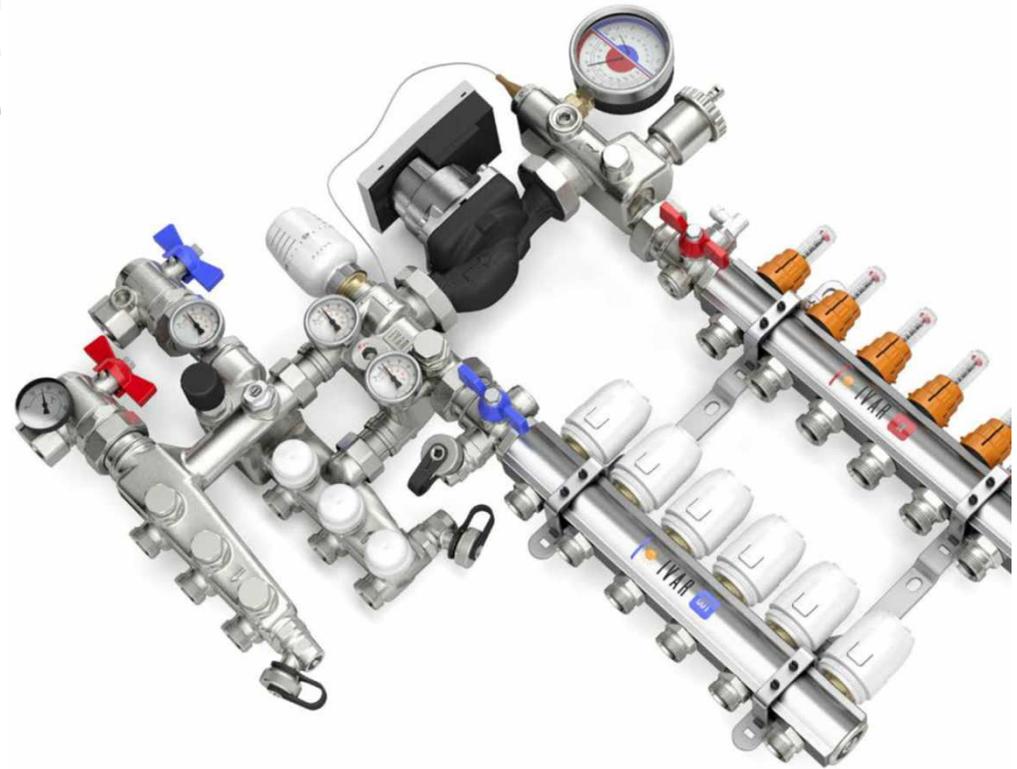
I **dati** che contribuiscono a determinare la potenza nominale di un pannello sono:

- Il passo (la distanza inter-asse tra tubazioni parallele);
- Profondità di annegamento dei tubi;
- Strati di materiale isolante al di sotto del pannello e sopra di esso.



## ■ PANNELLI RADIANTI \3

Normalmente i pannelli sono collegati a dei collettori di zona. Questo integra, solitamente, un circolatore, un sistema di miscelazione per la regolazione locale della temperatura di mandata, delle valvole elettriche per il controllo dei singoli anelli e dei flussimetri per il loro bilanciamento.



# ■ PANNELLI RADIANTI \4

Recentemente, oltre ai pannelli a pavimento si sono diffusi pannelli a soffitto e a parete. Ovviamente presentano pro e contro.

Pannelli a **soffitto**:

- La potenza specifica erogabile in riscaldamento è limitata a 100 W al metro quadro di pannello;
- Il soffitto è libero da ostacoli e mobili;
- Sono più adatti al raffrescamento sensibile rispetto ai pannelli a pavimento;
- Necessitano di controsoffitto;
- Possono esserci interferenze con altri tipi di impianti a soffitto.



# ■ PANNELLI RADIANTI \5

Recentemente, oltre ai pannelli a pavimento si sono diffusi pannelli a soffitto e a parete. Ovviamente presentano pro e contro.

## Pannelli a **parete**:

- Distribuzione idraulica che va eseguita ad incasso;
- Le pareti non sono sempre libere da ostacoli alla trasmissione del calore;
- Sono possibili interferenze con altri impianti.

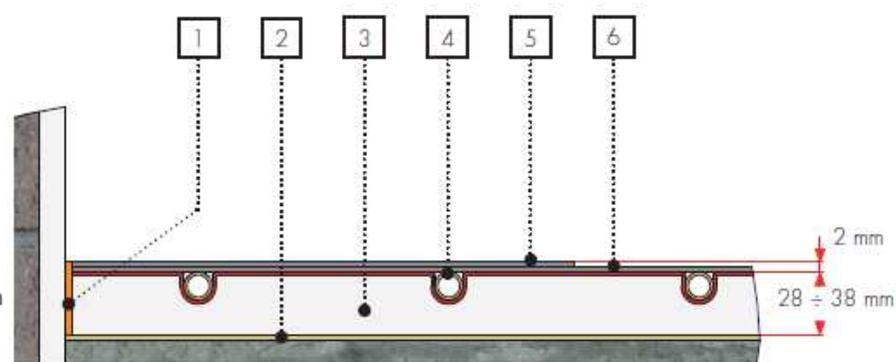
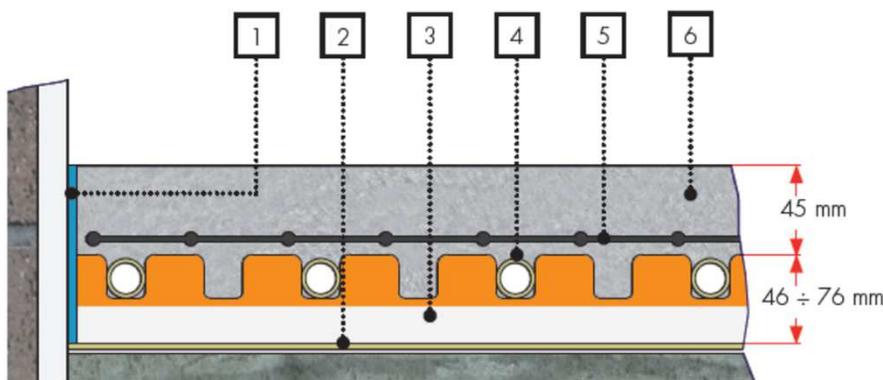


# REGOLAZIONE

Per la regolazione dell'emissione termica dei pannelli le tecniche sono le stesse dei radiatori:

- Modulazione della temperatura di mandata;
- Funzionamento intermittente (ON-OFF);
- Modulazione della portata.

La **risposta ai comandi di regolazione** non è affatto immediata a causa della elevata inerzia termica. Esistono tecniche e tipologie di pannelli per ovviare a questo problema, per esempio facendo uso di pannelli senza massetto di cemento con minore resistenza termica e maggiore velocità di risposta ai comandi di regolazione.



# ■ VENTILCONVETTORI \1

Un ventilconvettore (o «fan coil») è costituito da una **batteria alettata** attraverso la quale scorre l'aria, movimentata da un ventilatore.

La potenza erogata viene modulata quindi tramite l'accensione e lo spegnimento del ventilatore.

Temperatura di mandata: medio-alta, 50 °C.

Utilizzabili per raffrescamento e deumidificazione.

Non si sposano con caldaie a condensazione e pompe di calore, perché richiedono temperature di mandata alte e hanno bassi salti di temperatura.



# ■ VENTILCONVETTORI \2

Esiste un valore di potenza scambiata dai ventilconvettori per ogni loro valore di velocità del ventilatore.

La potenza nominale, invece, è un dato dichiarato dal costruttore e quella effettiva varia con la temperatura dell'acqua di mandata in maniera lineare.

A bordo del ventilconvettore vengono normalmente installati:

- Un sensore di **temperatura minima** che non consente l'avviamento del ventilatore se non si raggiunge una temperatura minima dell'acqua;
- Un **termostato ambiente** che regola l'accensione del ventilatore;
- Un **filtro** dell'aria da pulire regolarmente;
- Lo **scarico** della **condensa** (se deve lavorare anche in raffrescamento).

Alla **variazione dell'emissione termica** del terminale provvede il ventilatore, comandato dal termostato montato sul ventilconvettore. Un termostato ausiliario impedisce l'accensione se l'acqua di mandata è troppo fredda.

# LE POMPE DI CIRCOLAZIONE

# ■ POMPE DI CIRCOLAZIONE

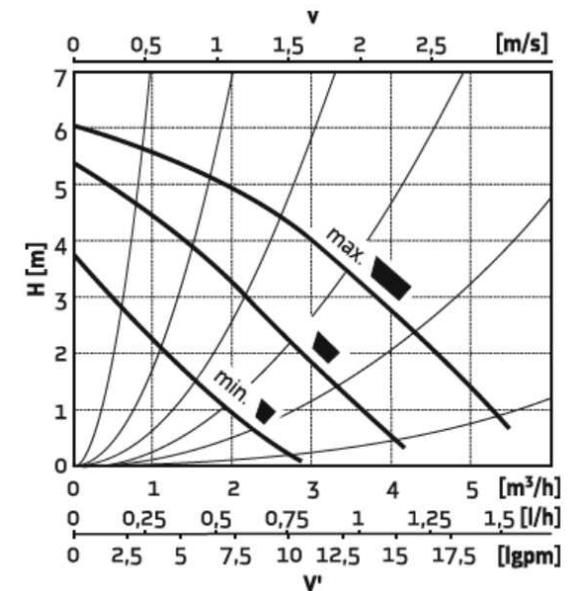
## Pompe centrifughe:

Solitamente la pressione è generata dalla pompa, poiché l'acqua è trascinata dalla girante manifestando forza centrifuga che comprime l'acqua verso l'esterno della girante, dove il diffusore provvede a raccogliarla e inviarla alla mandata.

La prevalenza erogata varia in funzione della portata che attraversa la pompa. Questo avviene perché anche la pompa centrifuga ha una perdita di carico.

Non esiste quindi la portata o la prevalenza di una pompa ma la sua **curva caratteristica**.

La curva caratteristica esprime la relazione tra portata circolante nella pompa e la corrispondente prevalenza fornita.

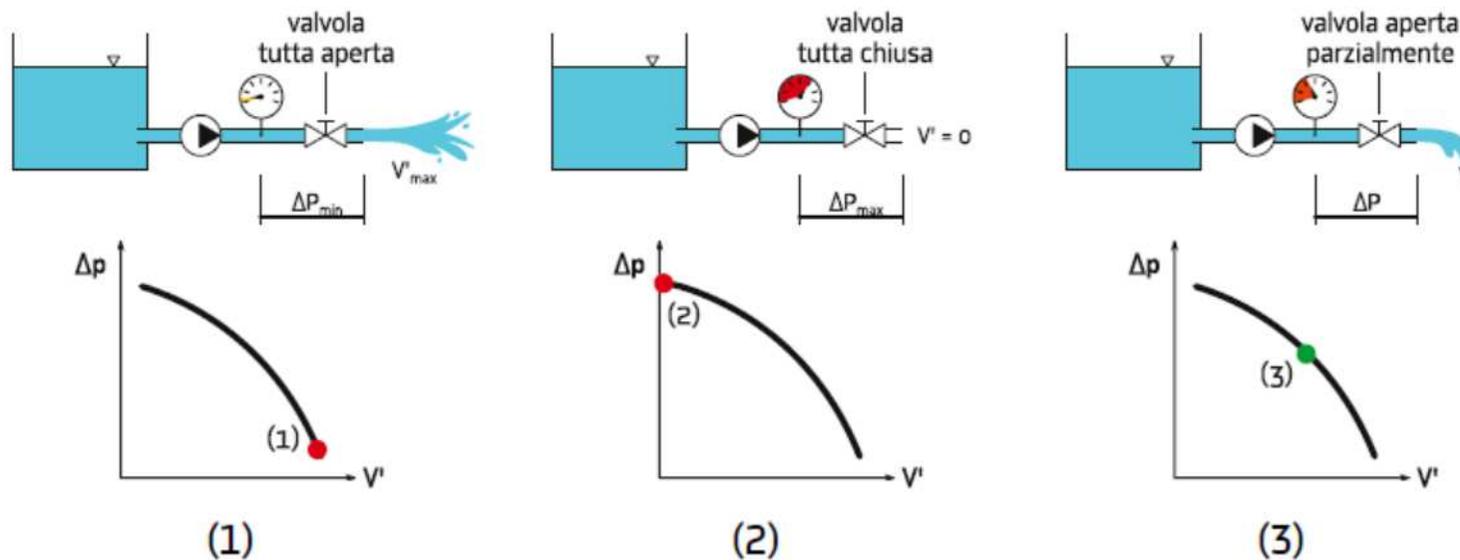


# IL SIGNIFICATO DELLA CURVA CARATTERISTICA

**Cosa significa percorrere la curva caratteristica di una pompa centrifuga?**

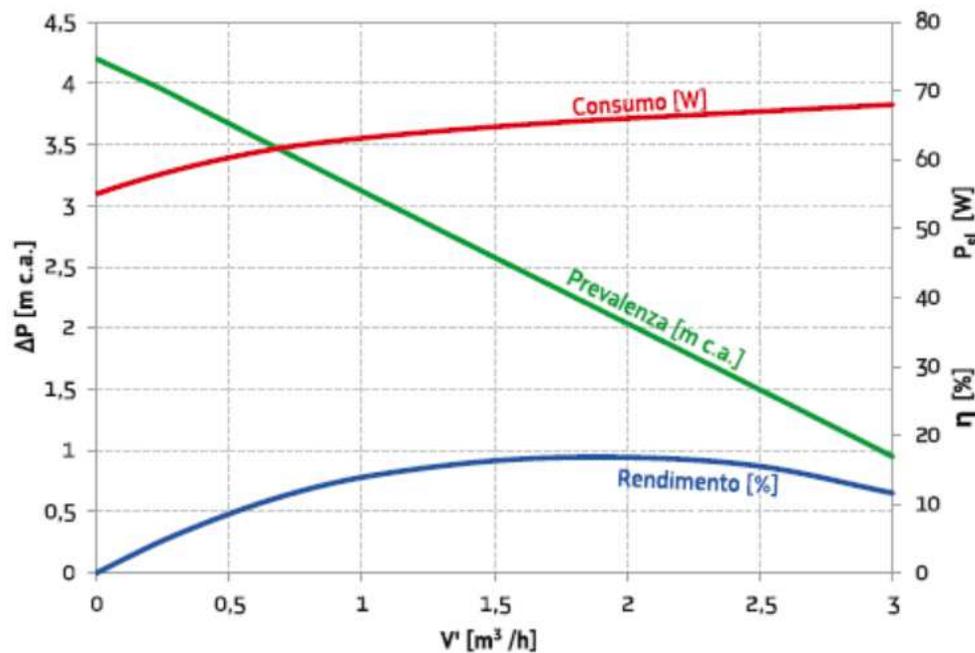
Prendiamo una pompa alimentata da un recipiente con installata una valvola sulla mandata della pompa.

- 1- A valvola completamente aperta ci sarà prevalenza nulla e avremo portata massima;
- 2- Chiudendo completamente la valvola, la pompa genererà prevalenza massima;
- 3- Riaprendo lentamente la valvola, la portata aumenterà e si ridurrà la prevalenza.



# ■ CONSUMI ELETTRICI E RENDIMENTO \1

Nel caso di pompe a giri fissi, l'assorbimento di potenza elettrica cambia molto poco al variare della portata.



Come si nota, il rendimento massimo della pompa si ottiene a circa metà della caratteristica, mantenendosi sempre con valori bassi.

Questo è dovuto al concorrere di due elementi per il calcolo del rendimento complessivo.



# ■ CONSUMI ELETTRICI E RENDIMENTO \2

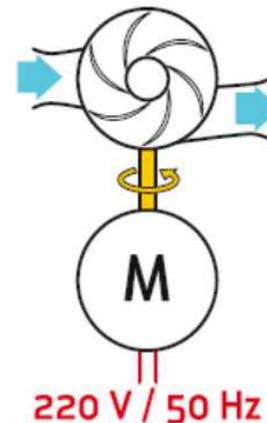
Il rendimento idraulico è compromesso dal reflusso della girante; solo per grandi taglie si raggiungono valori di circa 80%.

Il rendimento elettrico è molto basso per l'elevata incidenza delle perdite nel rame e nel ferro

$$\Phi_{idr} [W] = \Delta P [Pa] \times V' [m^3/s]$$

**Rendimento idraulico** =  $\frac{\text{Potenza idraulica}}{\text{Potenza all'asse}}$

**Rendimento elettrico** =  $\frac{\text{Potenza all'asse}}{\text{Potenza elettrica}}$



Dati **nominali**:

- Prevalenza massima
- Portata massima
- Potenza elettrica massima assorbita

Dati **fondamentali**:

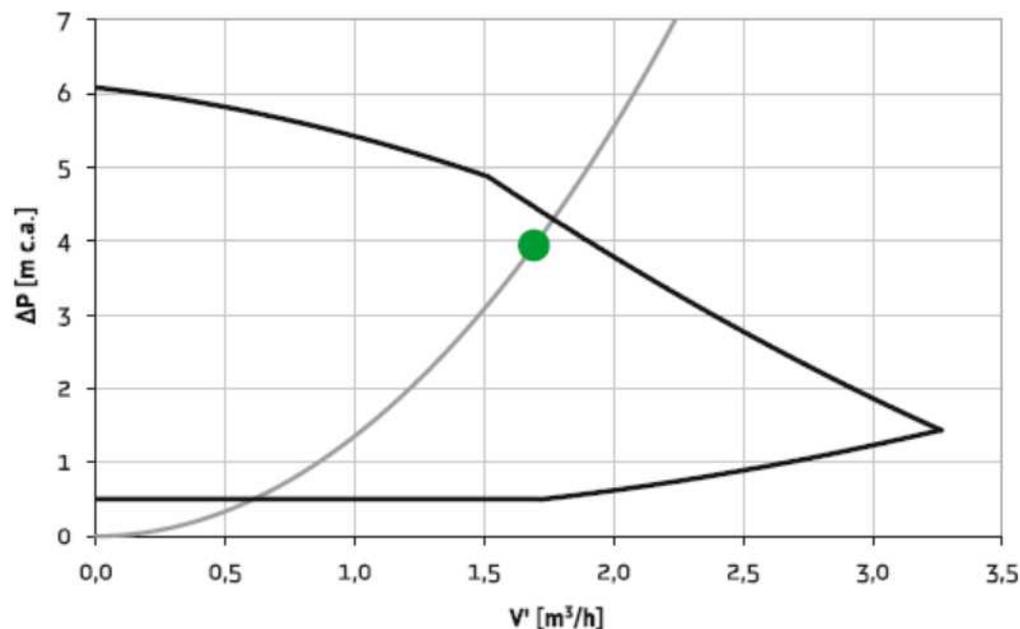
- Curva portata/prevalenza in funzione del numero di giri
- Curve di assorbimento elettrico

# ■ SCELTA DELLA POMPA

Per scegliere la pompa, servono necessariamente due informazioni:

- 1- la portata che deve circolare nell'impianto;
- 2- la prevalenza richiesta alla pompa nelle medesime condizioni.

Viene così definito il **punto di lavoro** desiderato della pompa.



Inoltre, è necessario sapere che l'efficienza della pompa è massima nella zona in cui la caratteristica inizia a scendere.

# ■ VARIAZIONE DEL NUMERO DI GIRI

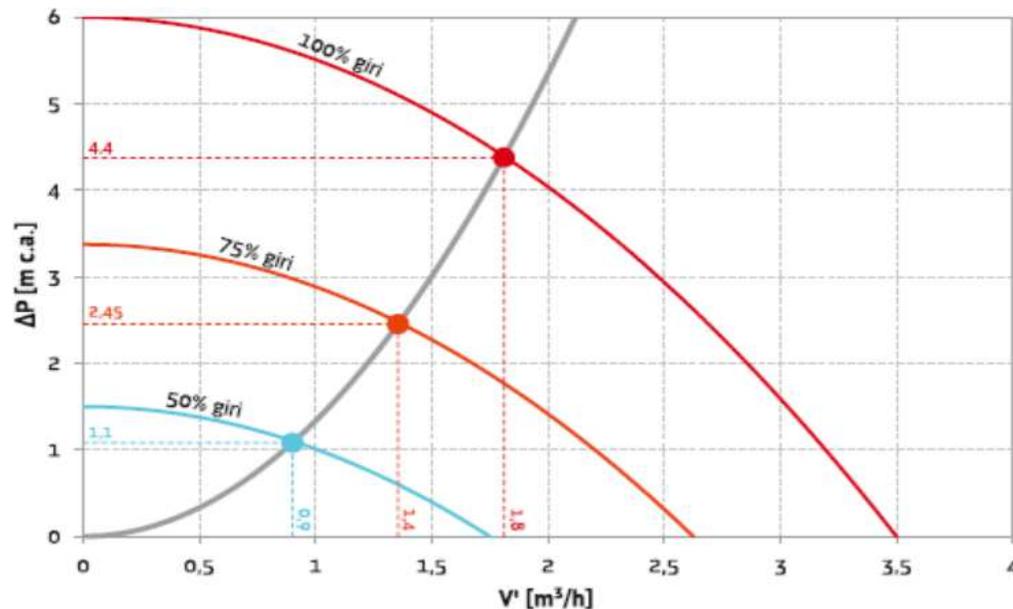
Se nei grafici compaiono più curve per una stessa pompa, significa che questa consente la **variazione del numero di giri** del motore e quindi della girante.

Al variare del numero di giri al minuto:

- La prevalenza aumenta in proporzione a quadrato del numero di giri  $n_g$ ;

- La portata aumenta in proporzione al numero di giri  $n_g$ .

Tuttavia, oggi si possono immettere sul mercato solo **circulatori elettronici**.



# ■ CIRCOLATORI ELETTRONICI

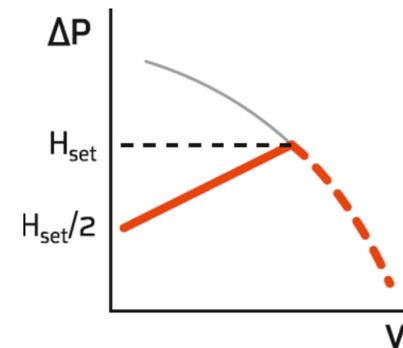
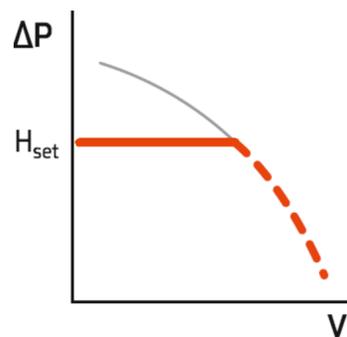
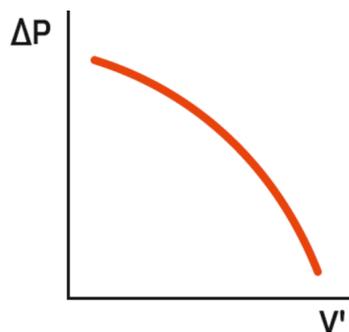
Con i circolatori elettronici si possono ottenere rendimenti molto più elevati, perché:

- Presentano un miglior design delle turbine per avere rendimenti idraulici maggiori;
- Grazie ai componenti elettronici di potenza, si hanno rendimenti elettrici più elevati.

Per circuiti a portata variabile, i circolatori a giri fissi non sono adeguati.

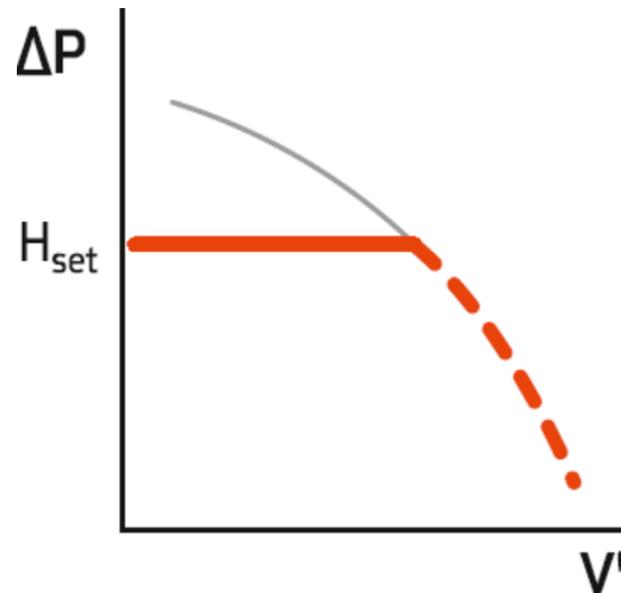
Esistono tre opzioni di funzionamento fondamentali:

- A giri fissi;
- A pressione costante;
- A pressione proporzionale alla portata.



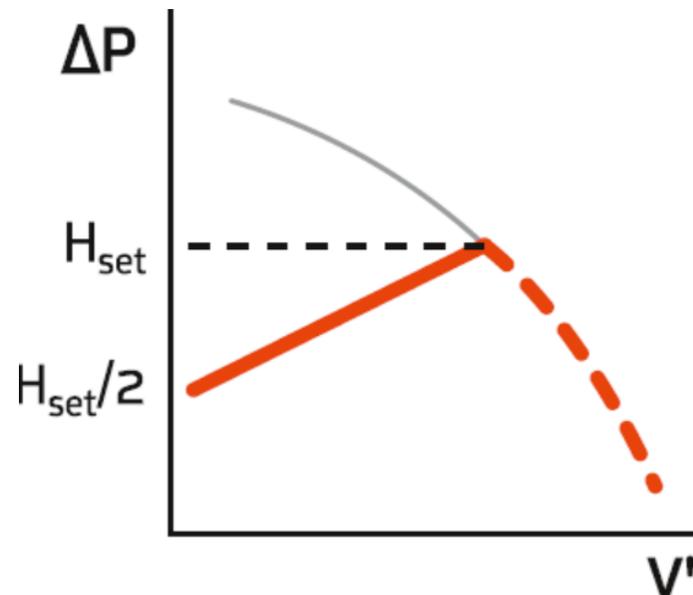
# ■ REGOLAZIONE A PRESSIONE COSTANTE

Con funzionamento a pressione costante, la pompa dovrà rallentare o accelerare per riportare la prevalenza al valore costante impostato. Per portata troppo elevata, la pompa si porterà al limite di caratteristica senza raggiungere la prevalenza desiderata.



# ■ REGOLAZIONE A PRESSIONE PROPORZIONALE

Con funzionamento a pressione proporzionale, la pompa cercherà di erogare una prevalenza data da un valore fisso minimo più un termine proporzionale alla portata istantanea. In questa maniera si seguirà meglio il comportamento dell'impianto e saranno evitati numerosi problemi legati alla troppa prevalenza della pompa.



# ■ SCELTA DEI PARAMETRI DELLA POMPA

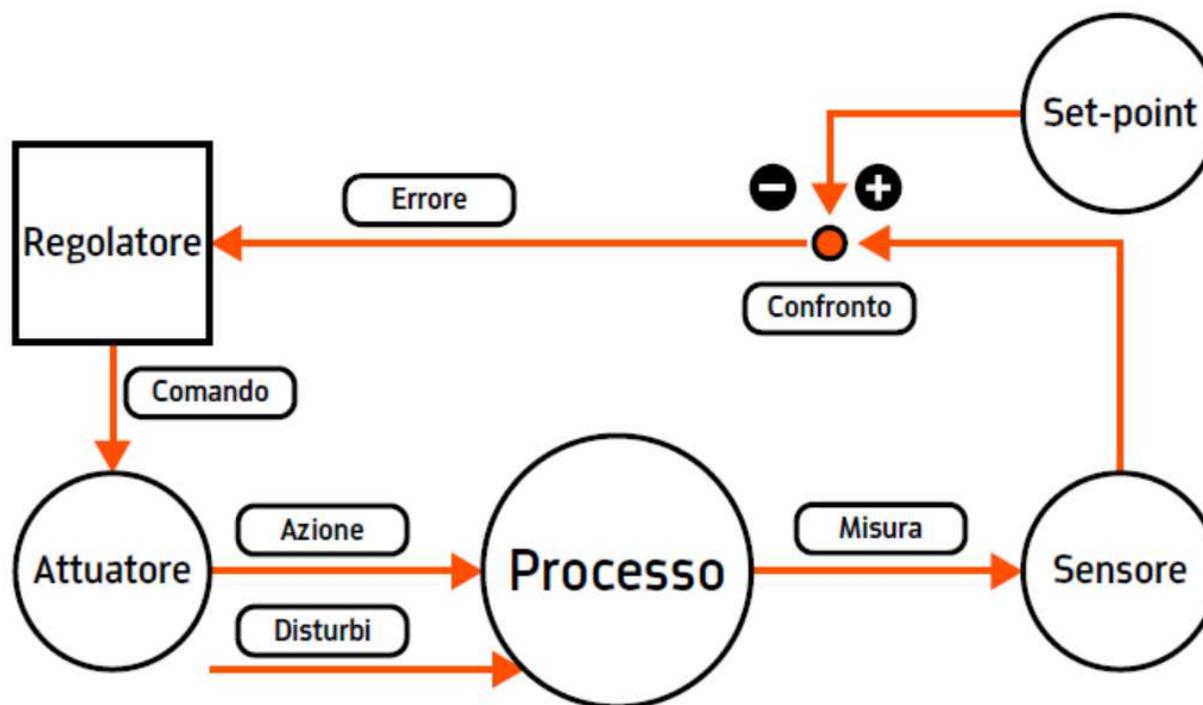
Immettere i parametri corretti della pompa non è compito facile. Si riportano i criteri generali.

In circuiti a **portata fissa** potremo far funzionare la pompa a giri fissi, espressi tramite il parametro «prevalenza massima» e scelti come quelli minimi a garantire il funzionamento dell'impianto.

Per i circuiti a **portata variabile**, le scelte da prendere per mantenere costante la prevalenza sono:

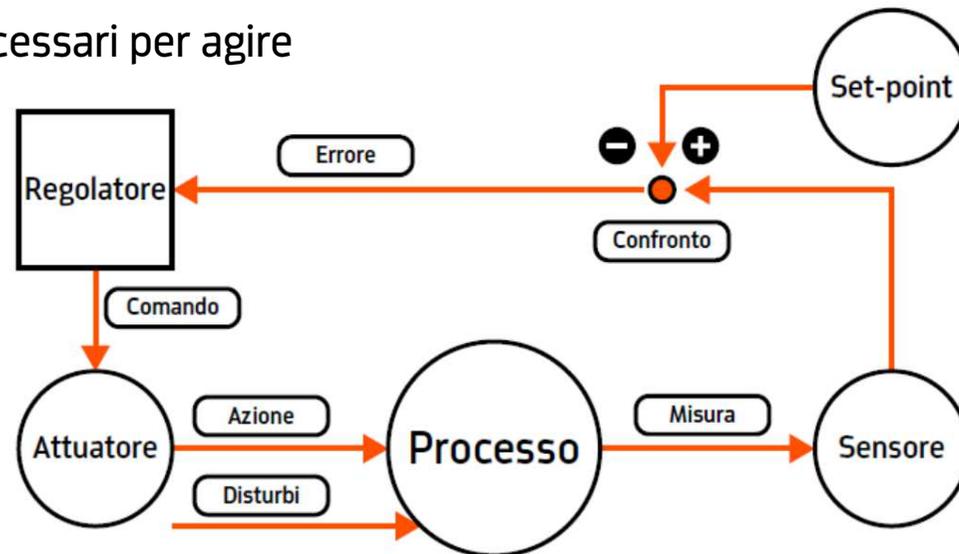
- Per circuiti a **valvole termostatiche**: adottare pompe a pressione proporzionale senza superare i 5 m c.a. come prevalenza a fine curva;
- Per circuiti a **portata variabile con pochi tratti comuni** prima della valvola di regolazione: adottare pompe a pressione costante (impianto a zone con valvole di zona ON-OFF a due vie);
- Per circuiti a **portata variabile ma con lunghi tratti comuni**: adottare pompa a pressione proporzionale per compensare il disturbo dovuto alle perdite di carico di questi tratti.

# LA REGOLAZIONE



# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – SCHEMA LOGICO

- Processo: è il contesto dove il regolatore agisce
- Variabile di processo: è la grandezza che si desidera mantenere ad un...
- ...**Set-point**: il valore desiderato
- Disturbi: i fenomeni che alterano l'andamento del processo e la grandezza regolata
- **Regolatore**: il cervello che decide l'azione in base al valore della grandezza e del set-point
- Sistema di attuazione: gli elementi necessari per agire

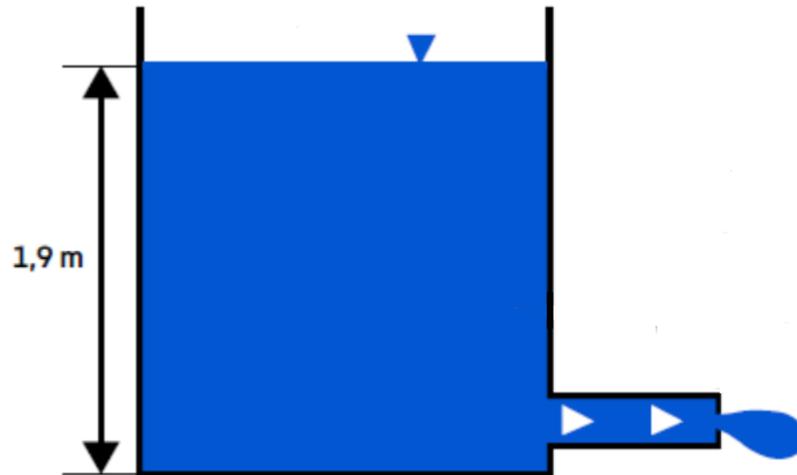


# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – IL SERBATOIO D'ACQUA \1

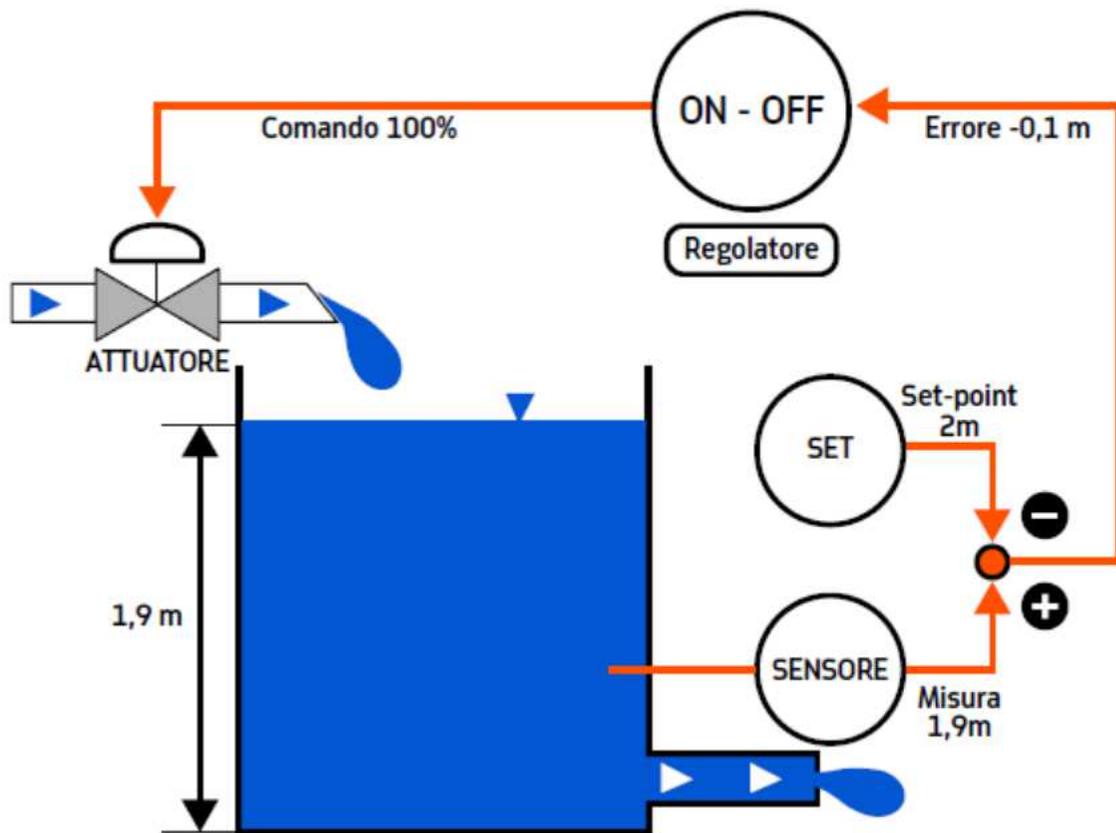
Come potremmo regolare il **livello** dell'acqua di questo serbatoio bucato?

L'idea è quella di dover usare un sistema che:

- Percepisca il livello d'acqua e relativo calo
- Lo confronti con il **valore desiderato**
- Operi per riportarlo



# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – IL SERBATOIO D'ACQUA \2

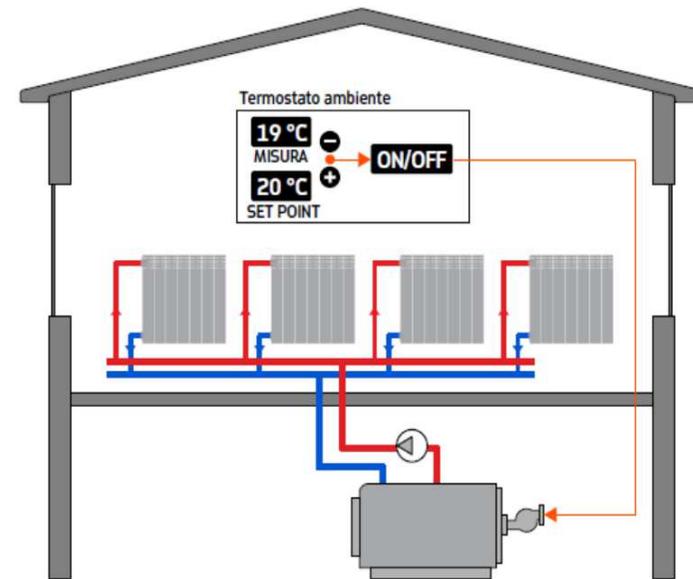
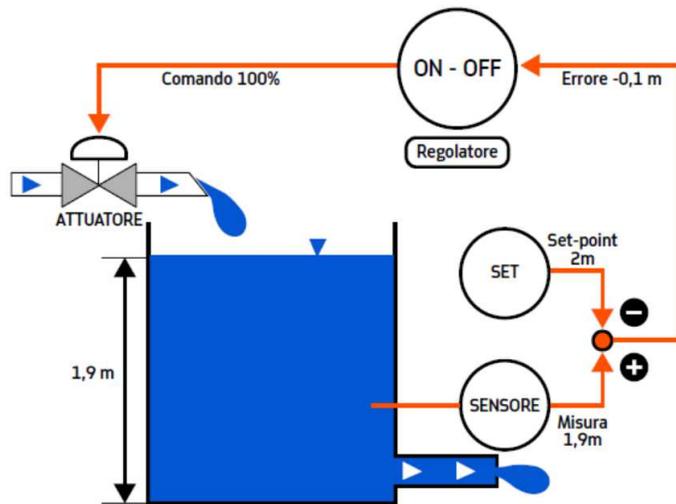


- Un sensore rileva il **livello** dell'acqua e lo paragona con quello di set-point
- Misurato l'**errore**, il regolatore ordina all'attuatore
- Il rubinetto apre o chiude a seconda della necessità

Regolatore ON-OFF

# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – L'ANELLO CHIUSO \1

Esiste un'analogia tra il sistema del serbatoio di acqua con una perdita ed un sistema di reintegro dell'acqua avente regolazione ON/OFF e un edificio munito di sistema di riscaldamento e dispersioni verso l'esterno.



# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – L'ANELLO CHIUSO \2

1. La **temperatura ambiente** corrisponde al livello dell'acqua

2. Il **calore disperso** è invece la quantità di acqua defluita

3. Un edificio non è mai completamente stagno, quindi ha sempre **perdite**



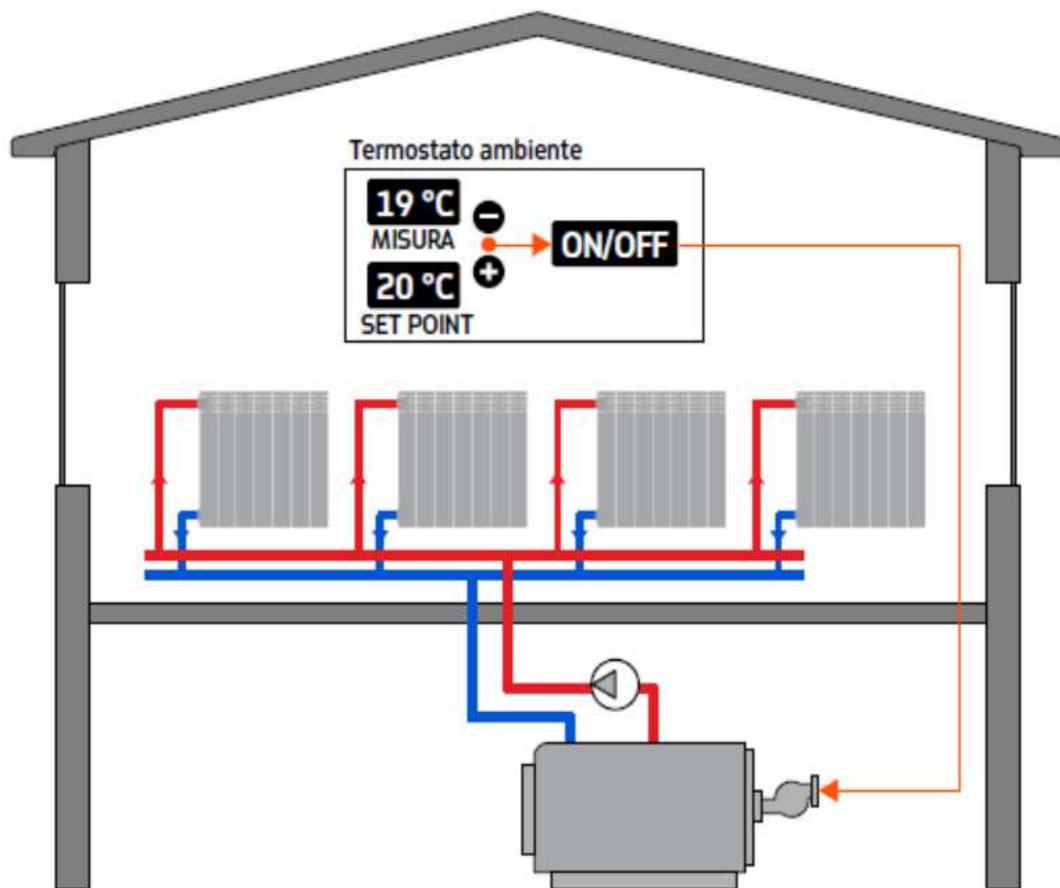
4. Vanno valutati anche gli **apporti gratuiti**: il calore che entra nell'edificio, ma non derivante dall'impianto

5. Il **regolatore ON-OFF** ne tiene conto

6. Se il calore aumenta, il regolatore non ordina all'attuatore di agire

## Regolazione ad anello chiuso

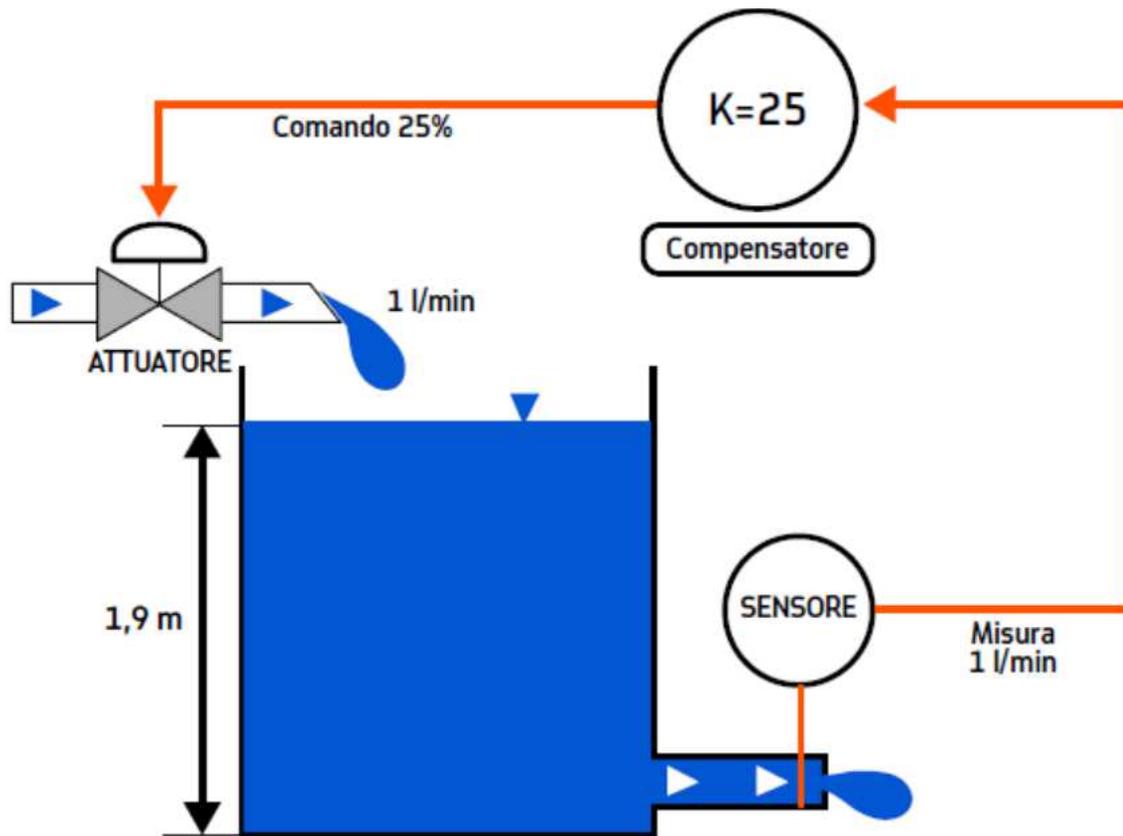
# ■ REGOLAZIONE AD ANELLO CHIUSO



L'equivalente termotecnico è un sistema di regolazione basato su uno o più **termostati/regolatori** con **sonda** di temperatura ambiente

Un termostato ha al suo interno il sensore, il set-point ed il regolatore.

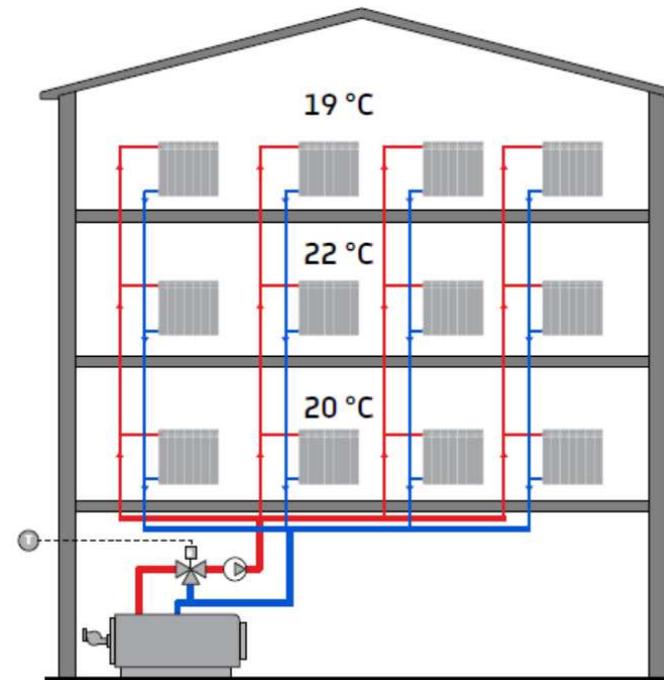
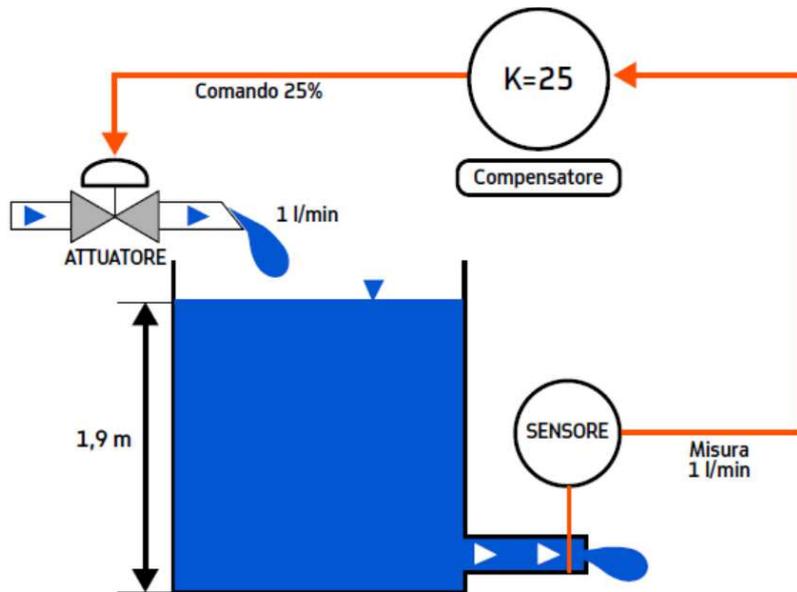
# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – IL SERBATOIO D'ACQUA \3



E se si misurasse l'acqua che esce dallo scarico e si reintegrasse per mantenere il livello costante?

# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – LA COMPENSAZIONE \1

Esiste un'analogia tra il sistema del serbatoio di acqua con perdita, sistema di reintegro dell'acqua e compensazione e un edificio munito di sistema di riscaldamento e dispersioni verso l'esterno.

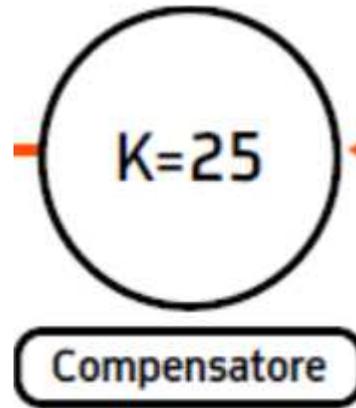


# ■ I SISTEMI DI REGOLAZIONE – LA COMPENSAZIONE \2

1. Il sensore misura la portata di acqua che esce dallo scarico

2. Il regolatore è sostituito da un **compensatore**

3. Riceve il segnale d'acqua defluente, ovvero la potenza termica dispersa dall'edificio



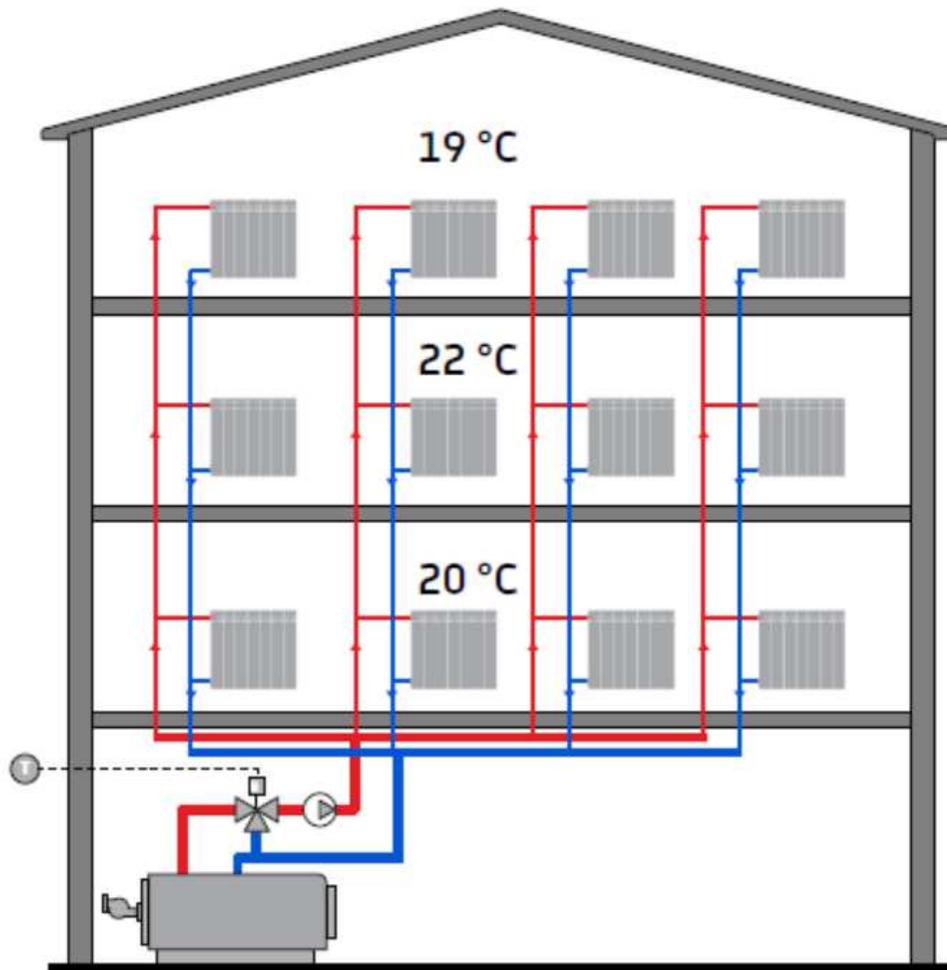
4. L'attuatore tenterà di compensare il calo di temperatura

5. Non è una regolazione precisa perché non si basa sulla misura della grandezza da regolare

6. Non valorizza gli apporti gratuiti

## Compensazione ad anello aperto

# ■ COMPENSAZIONE AD ANELLO APERTO



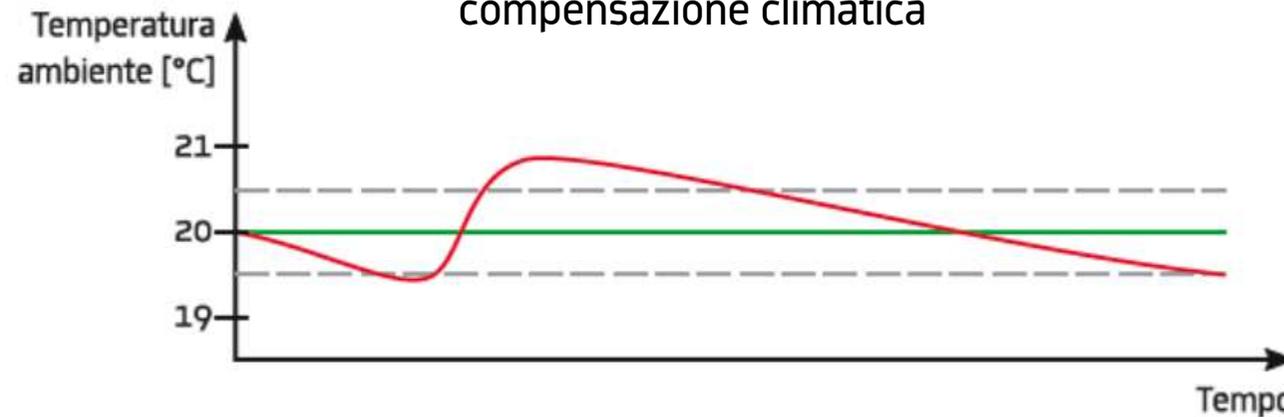
- Una sonda **esterna** misura la temperatura ambiente;
- Si possono valutare le dispersioni dell'edificio;
- Il compensatore tenta di far erogare all'impianto una potenza uguale a quella dispersa;

In questa maniera, però, **non** si ha regolazione della temperatura dei locali.

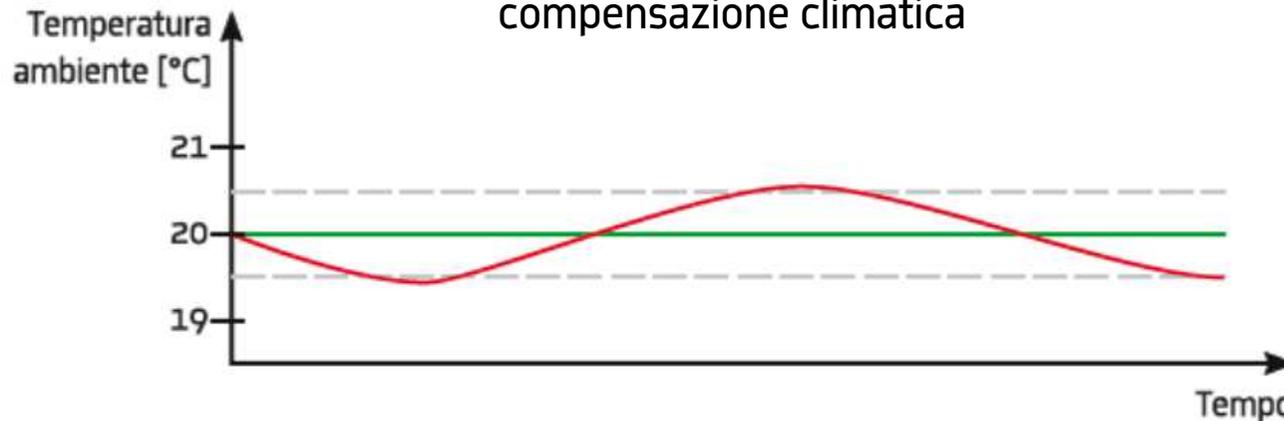
Questo **intensifica gli sprechi**: i locali più sfavoriti saranno alla temperatura desiderata, ma quelli più favoriti disperderanno di più del normale.

# ■ ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA

Andamento temperatura ambiente in presenza di regolatore ON-OFF senza compensazione climatica



Andamento temperatura ambiente in presenza di regolatore ON-OFF **assistito** da compensazione climatica



# ■ I REGOLATORI ON-OFF

## Funzionamento

Al di **sotto** del set-point, azione **massima**

Al di **sopra** del set-point, azione **nulla**

## Parametri

**Isteresi:** differenza tra valore di commutazione in accensione e spegnimento

## Limitazioni

Non si ha mai valore stabile della grandezza regolata

L'impianto funziona sempre a potenza massima o nulla

# ■ **REGOLATORI PROPORZIONALI «P»**

Il regolatore «P»:

- Genera un'azione proporzionale all'errore
- Si basa sullo stato attuale del sistema, sul presente

I **parametri** del regolatore proporzionale sono:

- Set-point
- **Guadagno**
- **Banda proporzionale**
- **Errore a regime**
- Stabilità

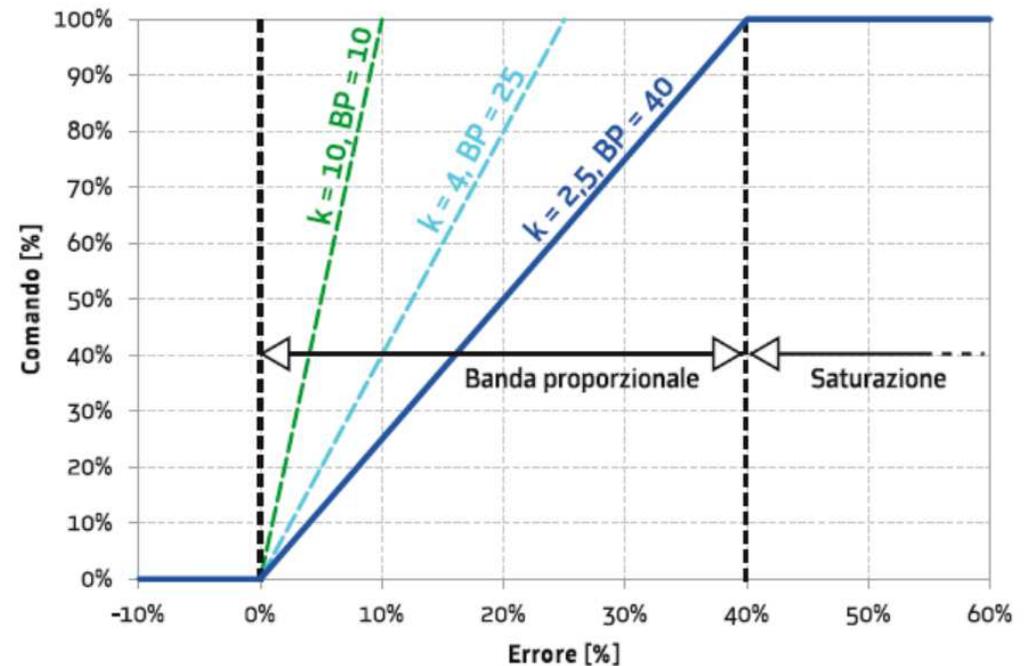
# ■ REGOLATORI «P» – GUADAGNO E BANDA PROPORZIONALE \1

**Guadagno:** definisce la proporzione tra l'errore misurato e la conseguente azione comandata dal regolatore

**Banda proporzionale:** viene definita come il valore dell'errore che porta ad una azione del 100%

Se  $k=2,5$  si ha che:

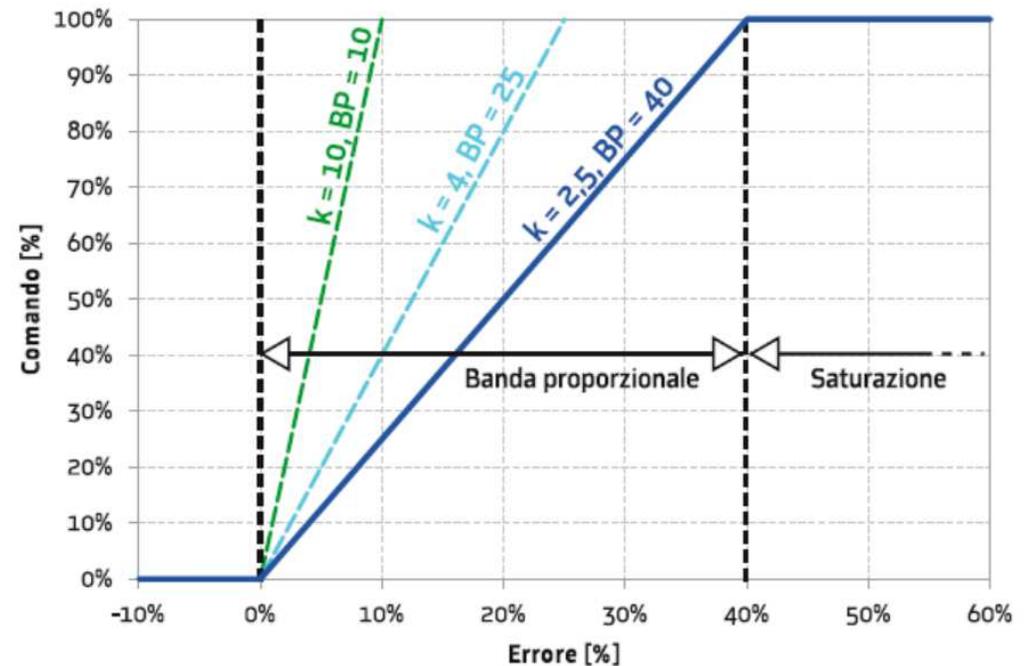
- Per errore inferiore a zero, azione nulla;
- Per errore del 10%, azione del 25%;
- Per errore del 20 %, azione del 50%;
- Per errori del 40 % o più, l'azione è sempre del 100%



# ■ REGOLATORI «P» – GUADAGNO E BANDA PROPORZIONALE \2

**Aumentare** la banda proporzionale significa ridurre il guadagno: è un regolatore più stabile ma anche più lento.

**Ridurre** la banda proporzionale significa aumentare il guadagno: il regolatore diventa più «nervoso» e meno stabile.



# ■ REGOLATORI «P» – L'ERRORE A REGIME \1

Il regolatore «P» non arriva mai a segno: il valore della variabile regolata non raggiunge mai il set-point.

**ESEMPIO:** una valvola termostatica è un regolatore proporzionale. Si può avere come set-point 20 °C con una banda di 2 °C. L'impianto erogherà quindi massima potenza a 18 °C, metà a 19 °C e sarà spento a 20 °C.

Con una regolazione puramente «P», affinché sia mantenuta la temperatura di 20 °C in inverno, ci deve essere un «errore»: se questo è nullo, l'azione sarà nulla. Se a

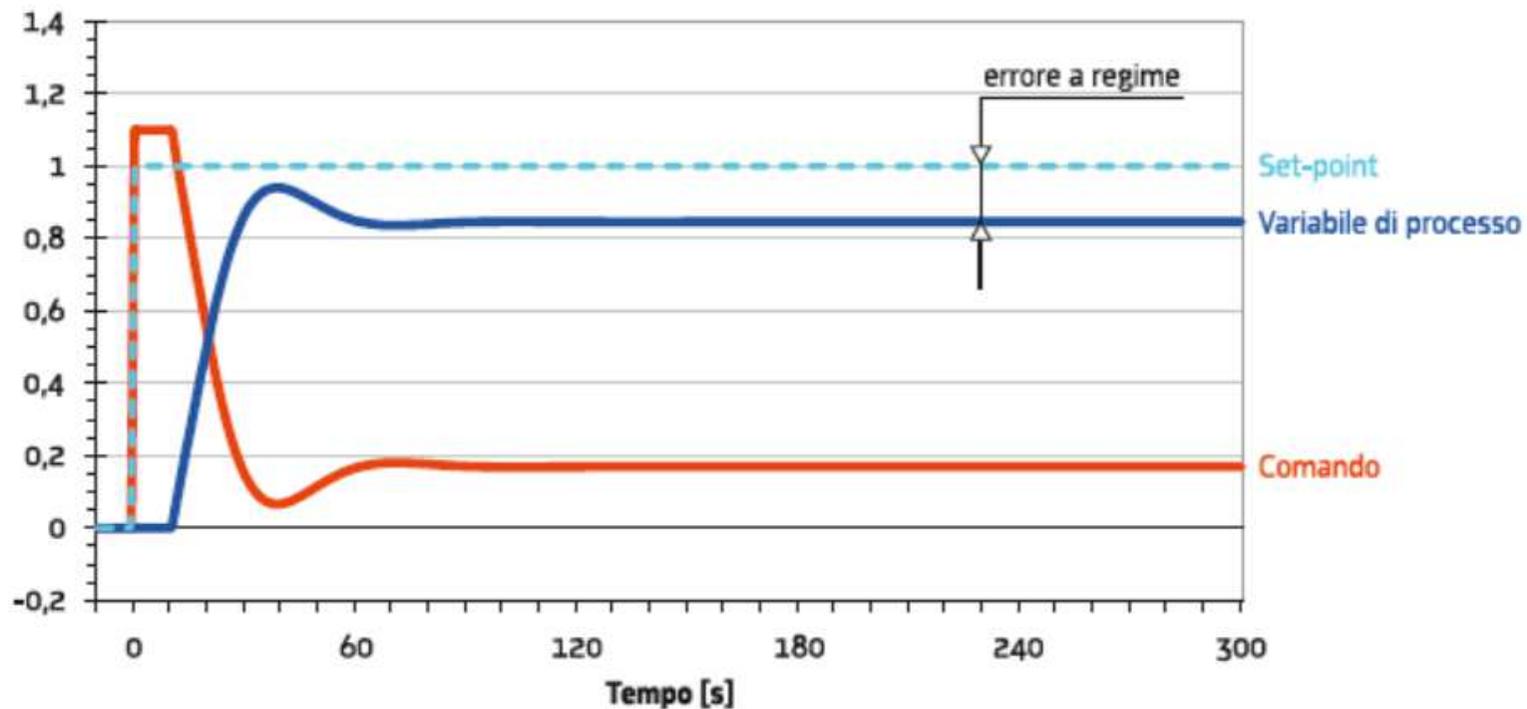
**regime** serve metà della potenza massima di impianto, la temperatura di equilibrio sarà 19 °C, in modo tale da avere un errore di 1 °C che generi un comando del 50 %.

Condizioni di equilibrio: la potenza dispersa è pari a quella erogata

Se avessimo avuto una banda proporzionale di 4 °C, la potenza massima sarebbe stata erogata a 16 °C e metà di essa a 18 °C (nuova temperatura di equilibrio)

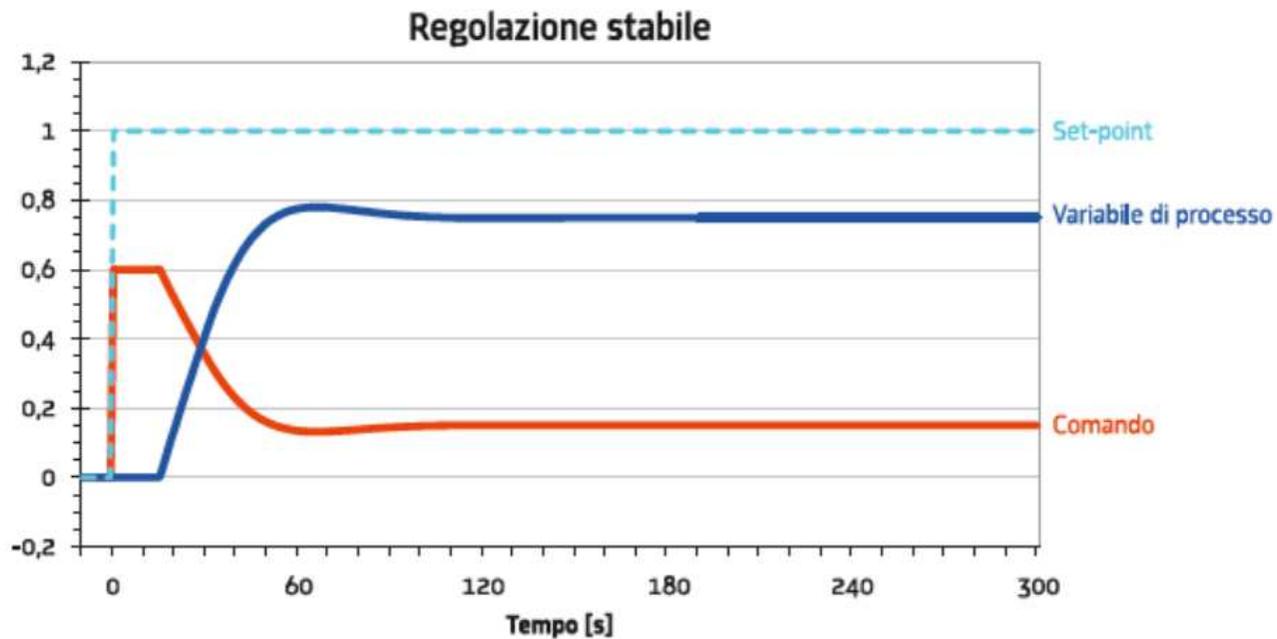
# ■ REGOLATORI «P» – L'ERRORE A REGIME \2

Il regolatore «P» non arriva mai a segno: il valore della variabile regolata non raggiunge mai il set-point.



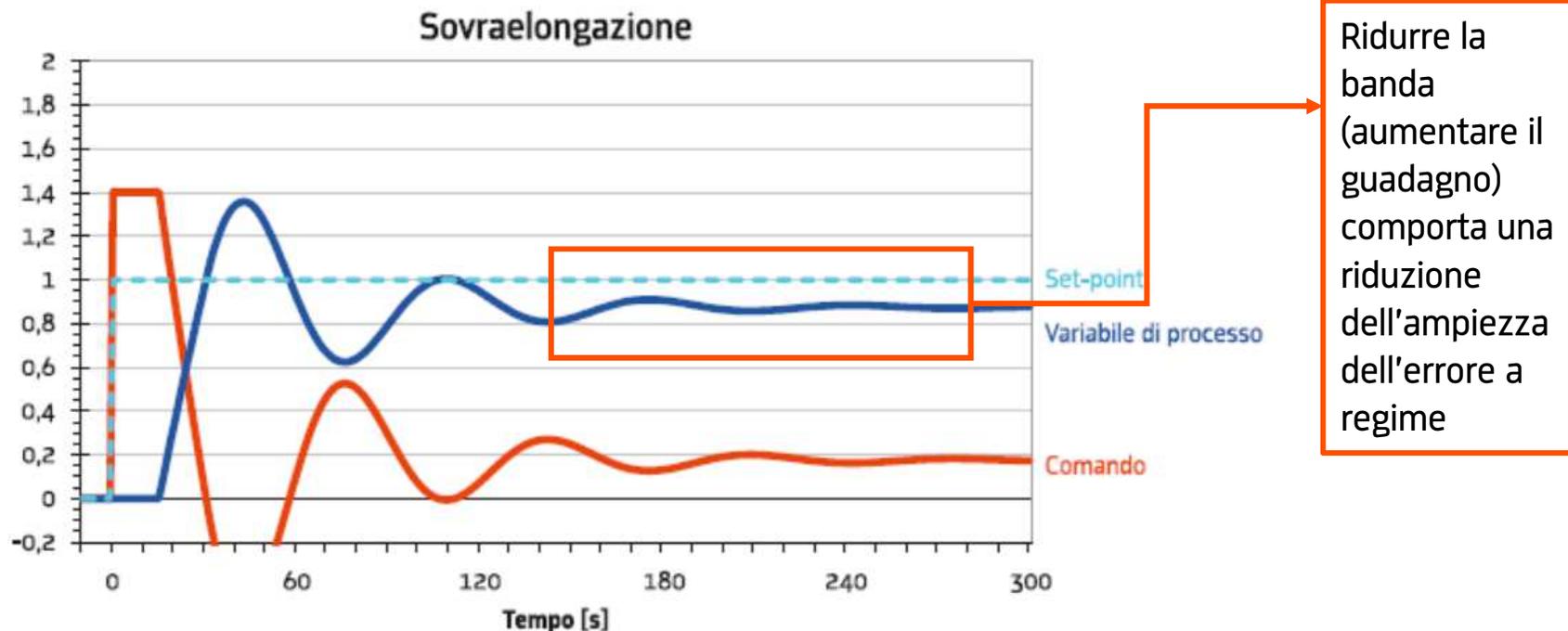
# ■ REGOLATORI «P» – LA STABILITÀ \1

Si potrebbe ridurre la banda proporzionale per ridurre l'ampiezza dell'errore ed avere una regolazione più precisa. Tuttavia, dopo un certo punto, ridurre ulteriormente la banda rende la regolazione meno stabile (oscillazioni).



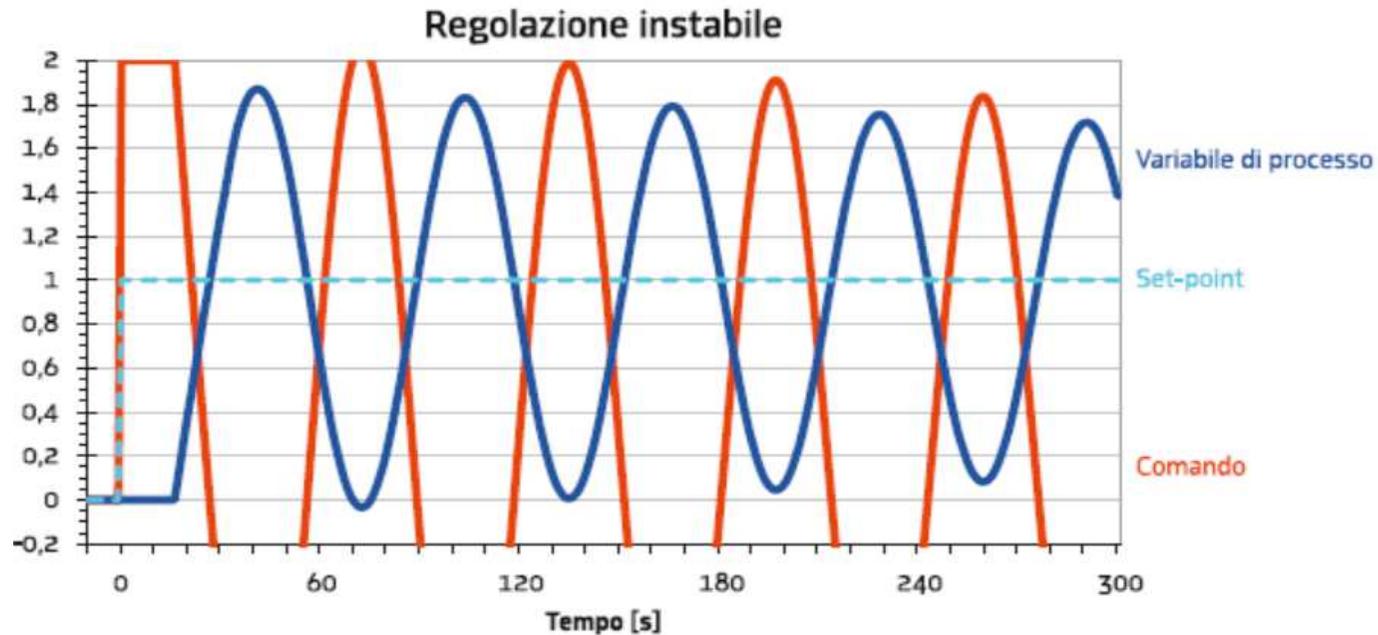
# ■ REGOLATORI «P» – LA STABILITÀ \2

Si potrebbe ridurre la banda proporzionale per ridurre l'ampiezza dell'errore ed avere una regolazione più precisa. Tuttavia, dopo un certo punto, ridurre ulteriormente la banda rende la regolazione meno stabile (oscillazioni).



# ■ REGOLATORI «P» – LA STABILITÀ \3

Dopo un certo punto, ridurre ulteriormente la banda provoca oscillazioni sempre più violente.



# ■ REGOLATORI INTEGRALI «I» \1

Il regolatore «I»:

- Fornisce un errore proporzionale alla somma degli errori cumulati nel tempo
- Le correzioni non sostituiscono quelle precedenti ma vengono **accumulate**.

L'azione «I» è tanto più efficiente quanto più:

- L'errore è elevato
- Il tempo trascorso è lungo

Se l'errore è nullo:

- Un regolatore «P» fornisce un comando nullo
- Un regolatore «I» fornisce un comando costante

Se l'errore è costante:

- Un regolatore «P» fornisce un comando costante
- Un regolatore «I» dà un comando che cresce con velocità costante

# ■ REGOLATORI INTEGRALI «I» \2

Il regolatore «I»:

- Consente di eliminare l'errore a regime
- Quando l'errore si annulla, l'azione necessaria a mantenere il set-point è sostenuta dall'azione «I» e quella «P» si annulla

Il parametro fondamentale è il tempo integrale  $T_i$ , ossia:

Il tempo trascorso il quale un certo errore provoca un'azione «I» uguale a quella dovuta all'azione «P».

Aumentare  $T_i$



Riduce intensità dell'azione integrale

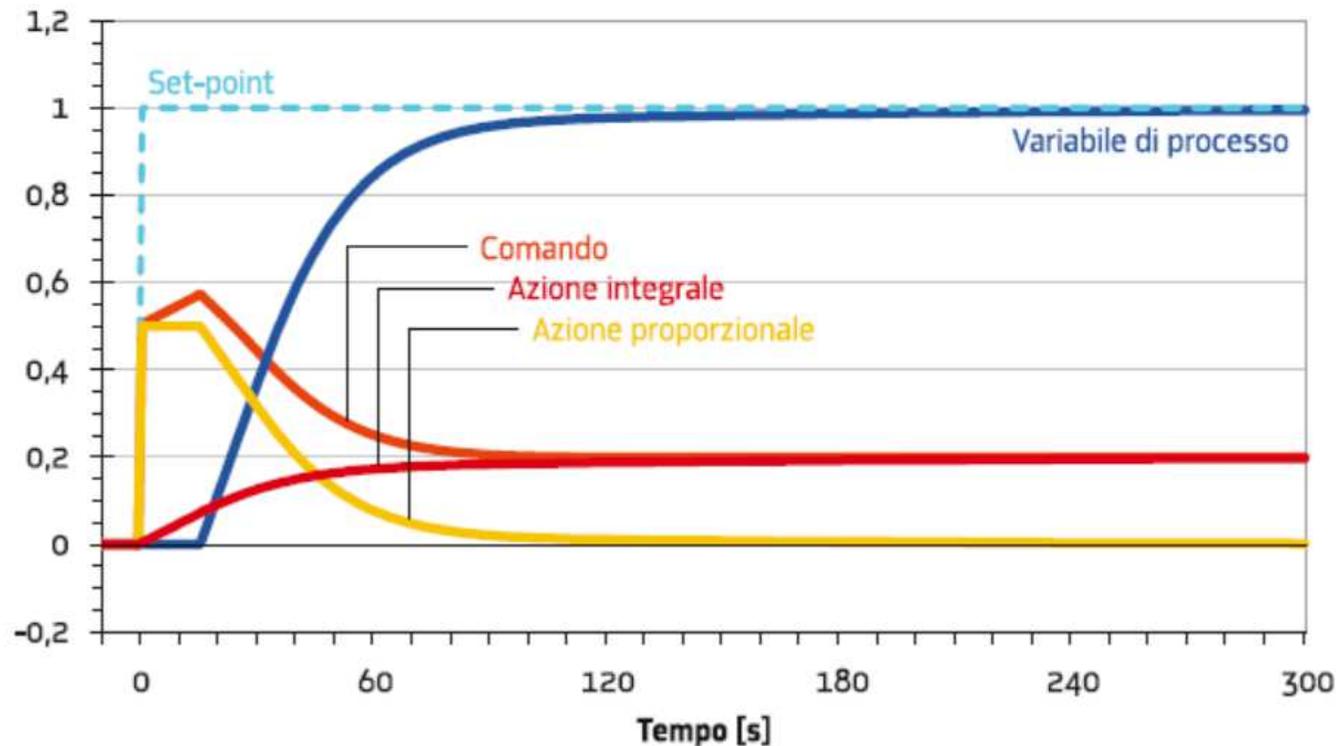
Ridurre  $T_i$



Provoca instabilità del regolatore

# ■ REGOLATORI INTEGRALI «I» \3

Il regolatore «I» ha memoria. Il suo valore dipende dalla storia passata dell'errore. Quando l'errore è nullo l'azione «I» rimane costante e il processo rimane stabilmente al valore di set-point, salvo altri disturbi.



# ■ IL REGOLATORE «PID»

Regolatore «P»

Regolatore «I»



Regolatore «D»

- Serve a smorzare le oscillazioni
- La sua azione è proporzionale alla velocità di variazione dell'errore
- Il parametro che lo caratterizza è il **tempo derivativo Td**: l'azione derivativa è uguale a quella proporzionale generata da un errore pari alla variazione della grandezza regolata che si avrebbe dopo un tempo Td
- L'azione derivativa è basata sul **futuro**

# ■ MESSA A PUNTO DEI REGOLATORI

Ridurre la banda proporzionale di «P» fino all'instabilità



Ridurre il guadagno di «P» fino a stabilità



Verificare stabilità anche per cambi di set-point



Escludere l'azione «I» ( $T_i=0$ )



Aumentare il guadagno di «P»



Raddoppiare la banda proporzionale

Verifica della stabilità complessiva del regolatore



Stabilizzare il regolatore aumentando «D»



Procedere come per il regolatore «PI» escludendo l'azione «D»



Ridurre l'azione «I» fino a un buon livello di stabilità



Ripristinare l'azione «I» fino al limite di instabilità



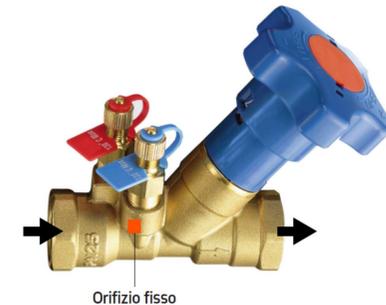
# LE VALVOLE DI REGOLAZIONE

# ■ VALVOLE DI REGOLAZIONE – TIPOLOGIE \1

Le valvole di regolazione sono dispositivi di controllo del flusso che agiscono con una sezione di passaggio variabile. Alcune delle possibili varianti sono:

- **Valvole di regolazione statiche**

- Ad orifizio calibrato **fisso**
- Ad orifizio **variabile**/regolazione della sezione di passaggio (Kv)



# ■ VALVOLE DI REGOLAZIONE – TIPOLOGIE

Le valvole di regolazione sono dispositivi di controllo del flusso che agiscono con una sezione di passaggio variabile. Alcune delle possibili varianti sono:

- Valvole di regolazione dinamiche, azionate da una pressione, per
  - Regolazione della pressione a **valle**
  - Regolazione della pressione a **monte**
  - Regolazione della pressione **differenziale**
  - Regolazione della **portata**



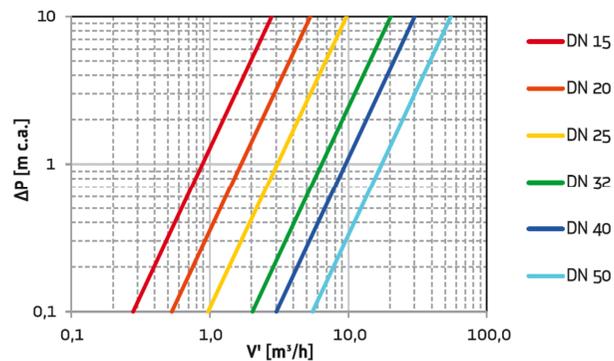
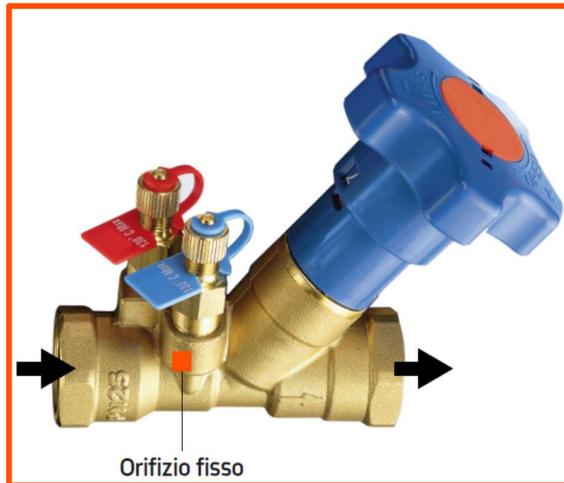
# ■ VALVOLE DI REGOLAZIONE – TIPOLOGIE \3

Le valvole di regolazione sono dispositivi di controllo del flusso che agiscono con una sezione di passaggio variabile. Alcune delle possibili varianti sono:

- **Valvole termostatiche (azionate da una temperatura)**
- **Valvole con comando di posizione esterno**
  - A due vie
  - A tre vie



# ■ VALVOLA AD ORIFIZIO FISSO



**Elemento principale:** orifizio parzialmente aperto o chiuso tramite otturatore mobile che determina il Kv desiderato.

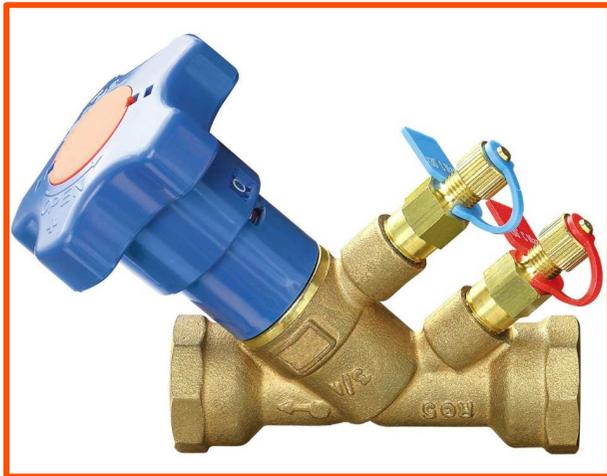
In serie ad esso c'è un orifizio Venturi (fisso) ai capi del quale ci sono due prese di pressione per misurarne il salto e poi ricavare la portata  $V'$ .

Sono **caratterizzate** da :

- Curva portata/prevalenza (o tabelle del Kv) di una serie di valvole a massima apertura
- Curva portata/prevalenza (o tabelle del Kv) **di ciascuna valvola in funzione della posizione dell'otturatore**

N.B: la **caratteristica** dell'orifizio fisso va utilizzata solo per la misura della portata in campo e non per il dimensionamento e il calcolo dell'apertura della valvola

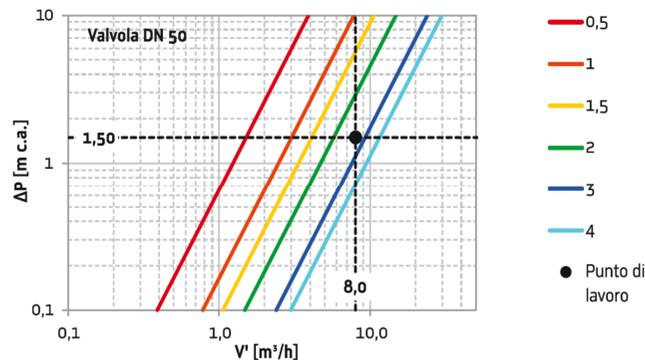
# ■ VALVOLA AD ORIFIZIO VARIABILE



**Elemento principale:** orifizio che può essere parzialmente aperto o chiuso per mezzo di un otturatore mobile e determina il Kv desiderato.

Il suo **utilizzo tipico** è per la suddivisione di una portata in proporzione «costante» in diversi rami. Ad esempio:

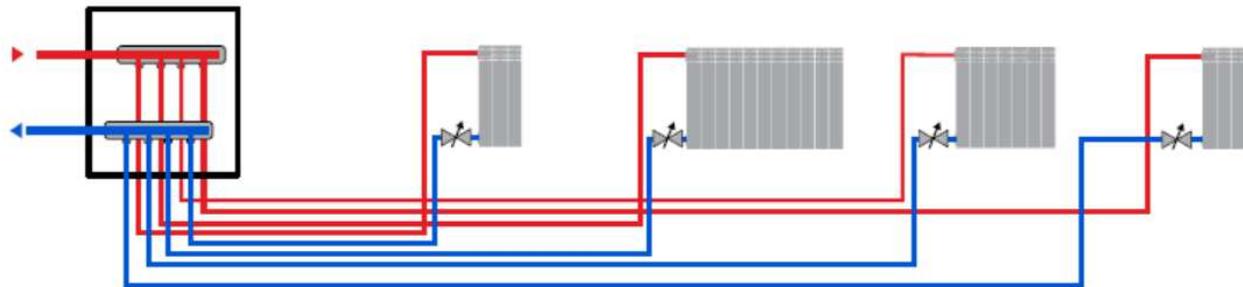
- Impianto a radiatori a zone
- Impianto a pannelli



Il dato caratteristico è la curva portata/perdita di carico in funzione della taratura della valvola. Partendo da valvola completamente aperta, vengono fornite le curve in funzione di un riferimento che indichi l'apertura dell'otturatore.

# ■ VALVOLA AD ORIFIZIO VARIABILE – ESEMPIO

## \1



Zona costituita da 4 radiatori collegati ad un collettore

Serve sapere:

Radiatore		1	2	3	4	Totale
Potenza	W	800	1400	2400	500	5100
Salto termico	°C	20	-	-	-	-
Calore specifico acqua	Wh/l°C	1,16	-	-	-	-
Portata	l/h	34,5	60,3	103,4	21,6	220
Perdita di carico ramo	m c.a.	0,06	0,21	0,53	0,03	
Prevalenza disponibile	m c.a.	0,7	-	-	-	
Perdita di carico detentore	m c.a.	0,64	0,49	0,17	0,67	-
	bar	0,064	0,049	0,017	0,067	-
Kv detentore	l/h	136	273	793	83	-
Posizione (giri)	n	2	3,5	8,5	1,5	-

- Prevalenza ai capi del collettore
- Portata desiderata in ogni radiatore
- Perdita di carico in ogni circuito (valvola esclusa)

# ■ VALVOLA AD ORIFIZIO VARIABILE – ESEMPIO

## \2

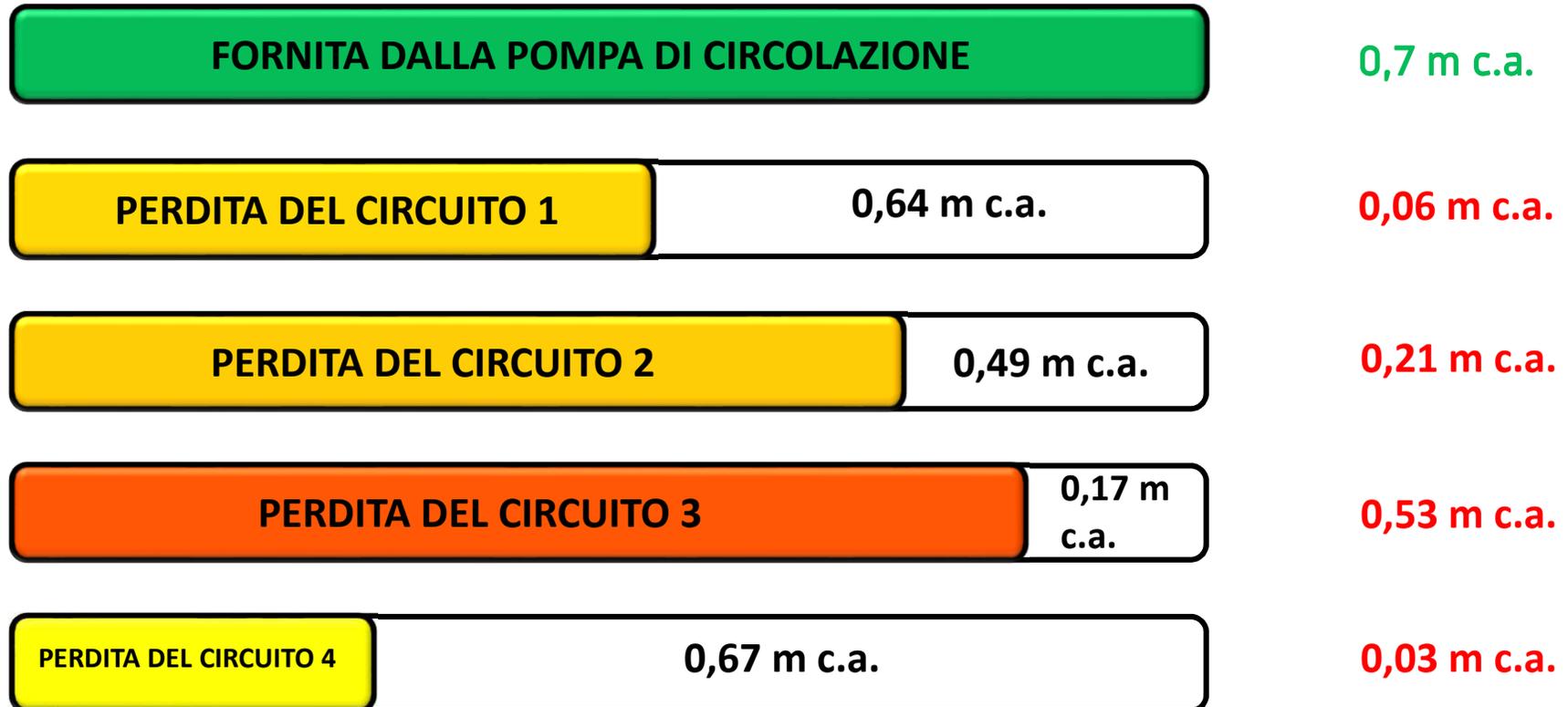
- Si sceglie una prevalenza del 30 % in più della perdita di carico del ramo più resistente (0,53), quindi 0,7 m c.a.
- Si determinano le perdite di carico residue sui detentori come differenza tra prevalenza disponibile e perdita di carico di ciascun ramo
- La portata nel ramo dipende dalla potenza massima che si vuole trasmettere e dal salto termico di progetto

Radiatore		1	2	3	4	Totale
Potenza	W	800	1400	2400	500	5100
Salto termico	°C	20	-	-	-	-
Calore specifico acqua	Wh/l°C	1,16	-	-	-	-
Portata	l/h	34,5	60,3	103,4	21,6	220
Perdita di carico ramo	m c.a.	0,06	0,21	0,53	0,03	-
Prevalenza disponibile	m c.a.	0,7	-	-	-	-
Perdita di carico detentore	m c.a.	0,64	0,49	0,17	0,67	-
	bar	0,064	0,049	0,017	0,067	-
Kv detentore	l/h	136	273	793	83	-
Posizione (giri)	n	2	3,5	8,5	1,5	-

- Si posiziona il punto di lavoro di ogni valvola sul grafico e si determina l'apertura richiesta

# ■ VALVOLA AD ORIFIZIO VARIABILE – ESEMPIO

## \3

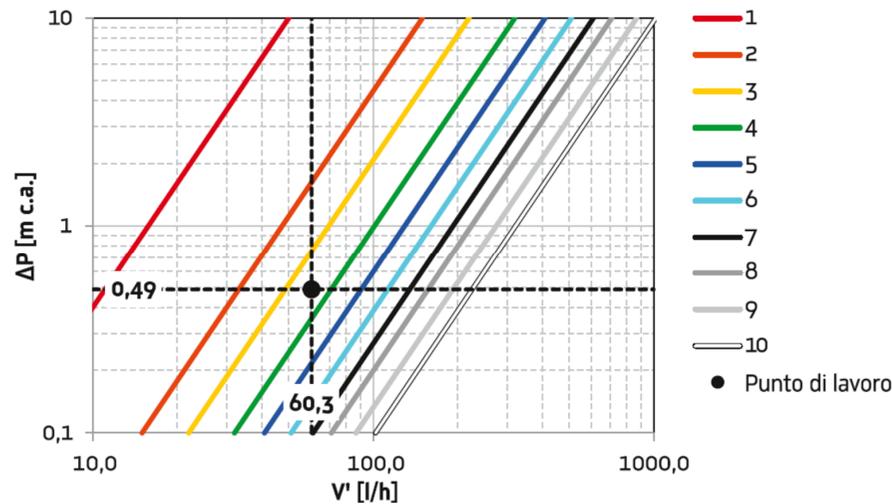


La quota di perdita di carico ulteriore rispetto a quella del circuito, sarà quella di cui il detentore dovrà farsi carico per impedire che nel ramo circoli più acqua del necessario.

# ■ VALVOLA AD ORIFIZIO VARIABILE – ESEMPIO

## \4

Successivamente, tramite tabella, determino il numero di giri richiesto per ottenerlo.



Giri	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Max
Kv	50	150	220	320	410	510	610	710	870	1020	1160

In **alternativa**, note portata e perdita di carico della valvola posso determinare il Kv richiesto tramite formula.

# ■ VALVOLA DI REGOLAZIONE AZIONATE DALLA PRESSIONE \1

Le valvole di regolazione «**dinamiche**» sono mosse da due pressioni che contrastano su una membrana o superficie di comando. Si muovono al variare della differenza di pressione

Le valvole autoazionate sono di tipo «**P**»: non arrivano **mai** a segno e riducono le influenze dei disturbi sulla pressione controllata ma **non le possono eliminare del tutto**.

**Pressioni differenziali massime** - se la pressione differenziale a cavallo della valvola supera un certo valore si possono avere diversi fenomeni negativi:

- Instabilità di funzionamento
  - L'elevata differenza di pressione causa un deflusso molto veloce che tende a chiudere l'otturatore
- Impedimento alla chiusura della valvola e impedimento all'apertura della valvola
  - La differenza di pressione moltiplicata per la sezione di passaggio genera una forza che può contrastare il comando
- **Rumorosità** del flusso sull'otturatore
  - La condizione peggiore è a **valvola parzialmente aperta** perché si hanno portate e turbolenze elevate

# ■ VALVOLA DI REGOLAZIONE AZIONATE DALLA PRESSIONE $\sqrt{2}$

**Pressioni differenziali minime** - se la pressione differenziale a cavallo della valvola scende sotto un certo valore la valvola potrebbe non essere più capace di regolare.

**Trafilamento** – gli otturatori potrebbero non essere in grado di chiudere del tutto e potrebbe esserci una portata residua di trafilamento.

# REGOLAZIONE DELLA PRESSIONE A VALLE – RIDUTTORI DI PRESSIONE \1

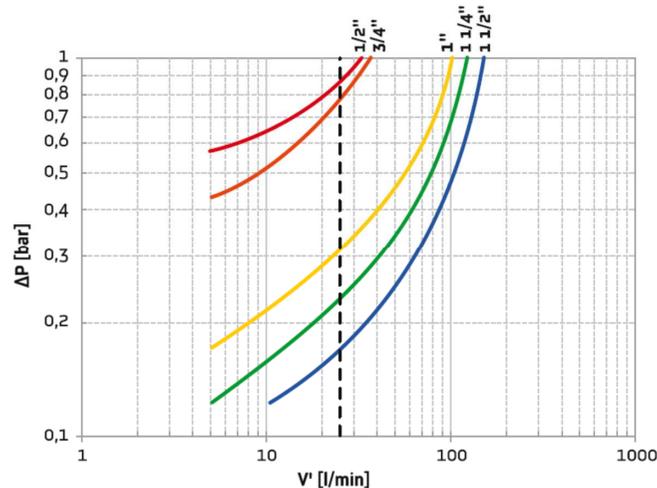


La pressione a valle della valvola agisce sulla membrana per chiudere l'otturatore. La pressione di chiusura della valvola può essere impostata caricando una molla di contrasto. Per qualificarli, servirebbero grafici della pressione a valle in funzione di:

- Impostazione della molla di regolazione
- Portata richiesta
- Pressione a monte

## Semplificazione:

- Dipendenza dalla posizione del volantino: si assume in prima approssimazione che **le curve vadano bene per tutte le posizioni**
- Dipendenza dalla pressione a monte: si prende **solo la condizione di riferimento** indicata da norma europea EN 1267 (IN: 8 bar; OUT: 3 bar)

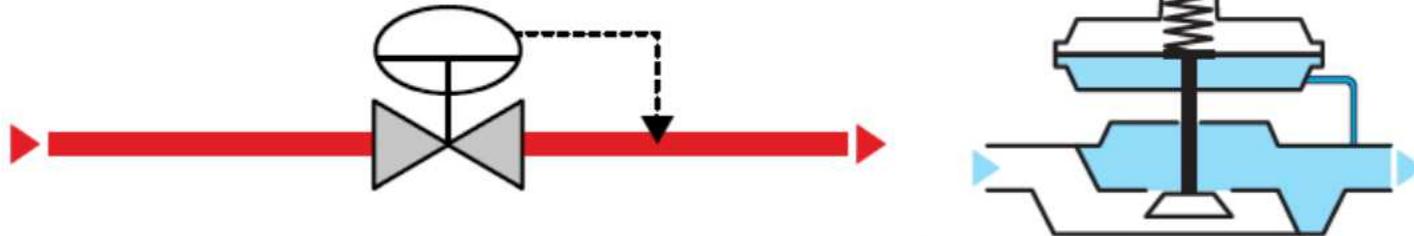


**Un solo grafico** per ogni valvola con differenza di pressione in funzione della portata

# ■ REGOLAZIONE DELLA PRESSIONE A VALLE – RIDUTTORI DI PRESSIONE \2



**Effetto:** stabilizzazione della pressione a valle della valvola.



# ■ RIDUTTORE DI PRESSIONE – ESEMPIO \1

Alimentazione ACS a partire da acquedotto:

I dati richiesti sono

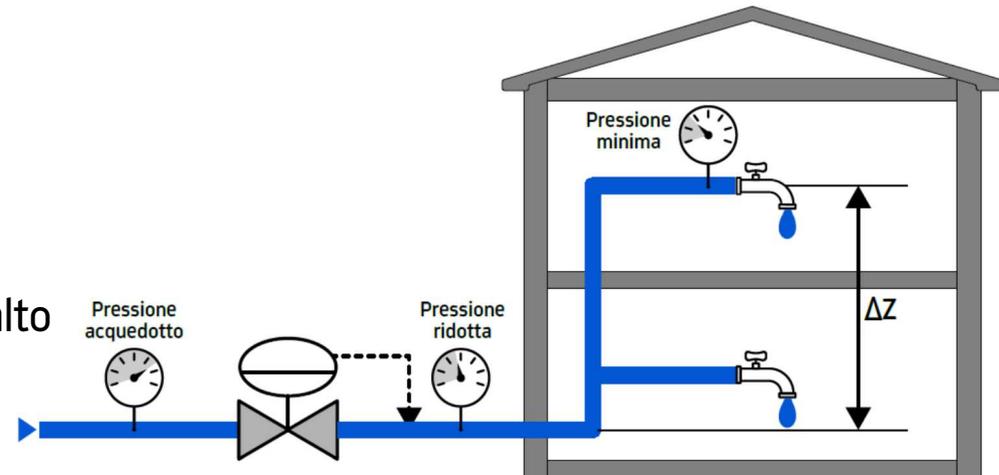
- Pressione garantita dall'acquedotto  $P_{acq}$
- Pressione garantita al sanitario  $P_{min}$
- Portata richiesta dai sanitari  $V'$
- Differenza di quota fino al sanitario più alto  $\Delta z$

Solitamente:

- $P_{acq} = 2.5 \text{ bar}$
- $P_{min} 0.5 \text{ bar} = 5 \text{ m c.a.}$

A quest'ultima devo sommare la perdita per la tubazione e l'altezza idrostatica per ottenere la pressione minima da garantire all'uscita del riduttore.

Si ipotizza di avere una  $\Delta P_{pdc}$  (da allacciamento a utenza più sfavorita) =  $0.4 \text{ bar} = 4 \text{ m c.a.}$  e una pressione idrostatica di  $6 \text{ m c.a.}$



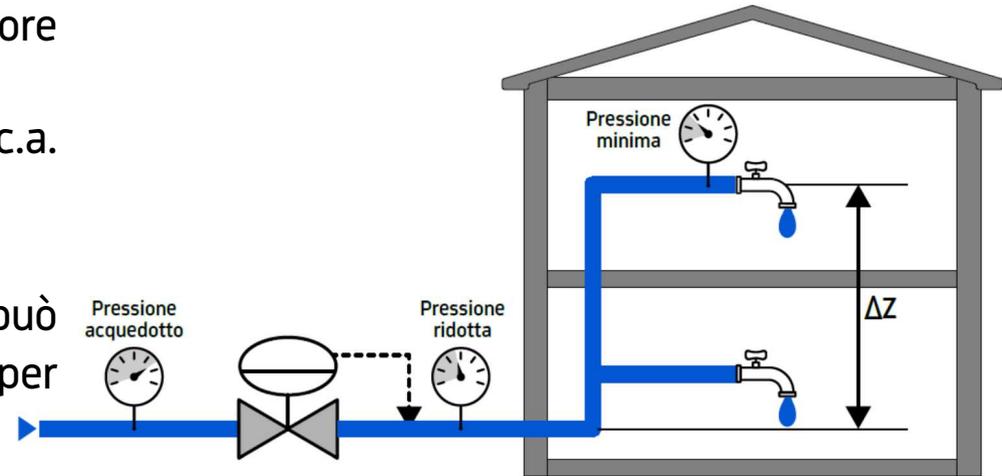
# ■ RIDUTTORE DI PRESSIONE – ESEMPIO \2

La pressione richiesta in uscita dal riduttore vale allora:

$$P_{out} = P_{min} + \Delta P_{pdc} + \Delta P_z = 5+4+6= 15 \text{ m c.a.} \\ = 1.5 \text{ bar}$$

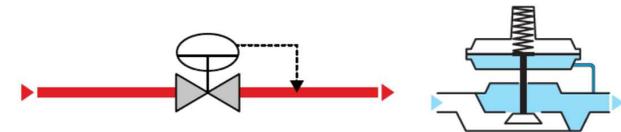
Si ipotizza una portata  $V' = 24 \text{ l/min}$

Dalla curva di prestazione del riduttore si può trovare la sua perdita di carico per determinate dimensioni.



Per un riduttore con diametro di mezzo pollice si avrà un salto di pressione residuo insufficiente, dato da  $2,5-1,5-0,8-0,9=0,2$  o  $0,1$  bar. Si ricorrerà a quello da un pollice, la cui perdita di carico è soli  $0.3$  bar e di conseguenza il salto residuo varrà  $0,7$  bar.

**N.B:** questa valvola può solamente **ridurre** la pressione. Se fosse necessario aumentarla, servirebbe introdurre una autoclave e un gruppo di pompaggio.

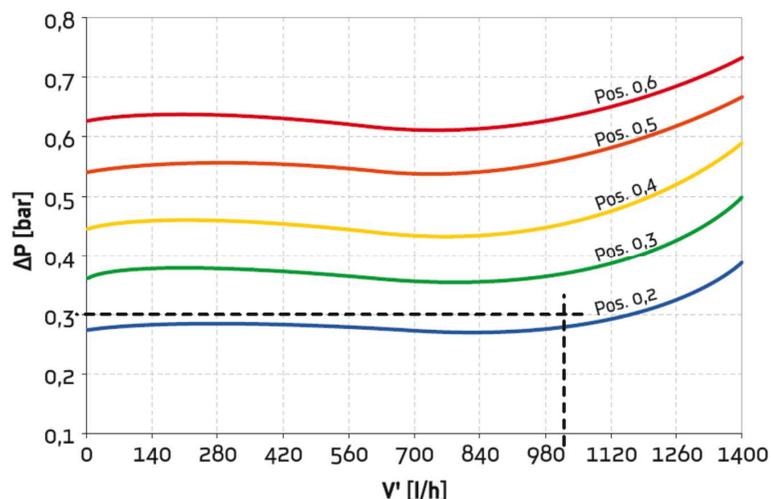


# ■ REGOLAZIONE DELLA PRESSIONE A MONTE – VALVOLE DI SFIORO \1



E' una valvola in grado di regolare la pressione a monte «sfiorando» o «scaricando» l'eccesso di portata.

**Effetto:** la pressione a monte agisce sulla membrana di comando per aprire l'otturatore. La pressione di apertura può essere impostata.



Può essere usata nei circuiti a portata variabile per garantire una prevalenza costante nel collettore di mandata scaricando l'eccedenza di portata sul ritorno.

I suoi **grafici** danno la pressione a monte in funzione della taratura e della portata sfiorata.

# ■ REGOLAZIONE DELLA PRESSIONE A MONTE – VALVOLE DI SFIORO \2



**Effetto:** agisce sulla pressione a monte della valvola



# ■ VALVOLA DI SFIORO – ESEMPIO

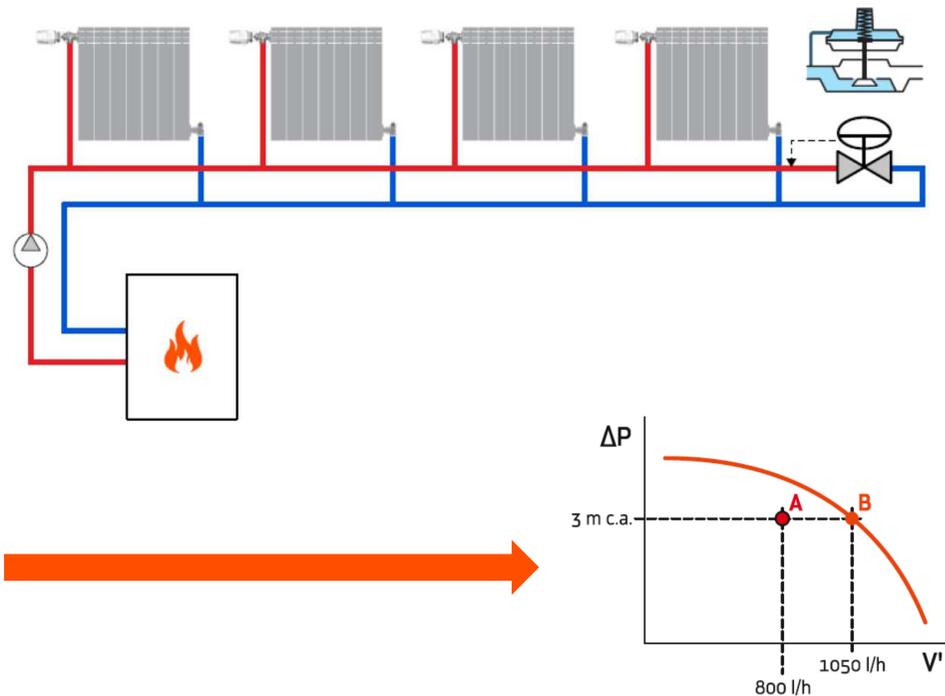
Si suppone di avere portata  $V' = 800$  l/h e una prevalenza tale da garantire nel ramo 3 m c.a. per evitare rumorosità.

Il dimensionamento della valvola deve **coordinarsi con quello della pompa.**

«A» è definito dalle condizioni di progetto dei radiatori e la pompa dovrà garantire la portata richiesta o di più.

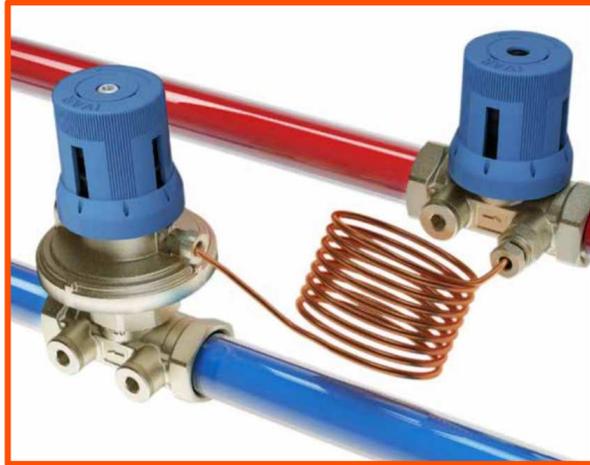
N.B: La portata massima che la valvola deve scaricare è tutta **quella erogabile dalla pompa** alla prevalenza stabilita.

N.B: In un circuito idraulico ci può essere **una sola valvola di sfioro** per regolare la pressione. Se ce ne fossero due, la prima che inizia a sfiorare impedirebbe all'altra di aprirsi.



# ■ REGOLATORI DI PRESSIONE DIFFERENZIALE

## \1



Le due pressioni di mandata e ritorno del circuito vengono fatte agire sui due lati di una membrana:

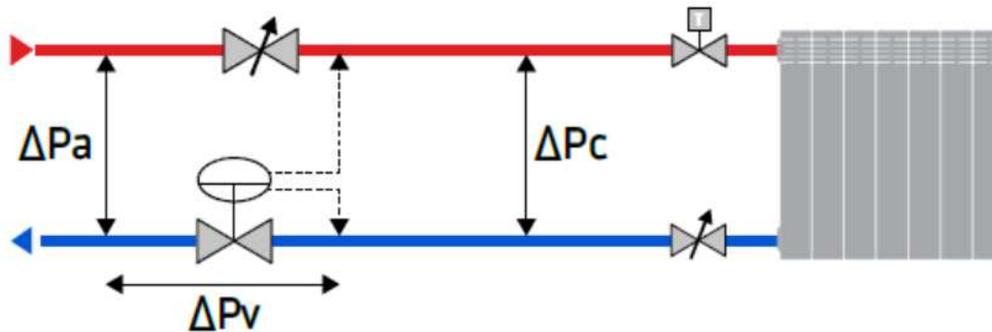
- La pressione a **monte** tende a **chiudere** l'otturatore;
- La pressione a **valle** tende ad **aprirlo**.

L'**equilibrio** è raggiunto quando la differenza tra le due pressioni genera una forza pari a quella ottenuta caricando la molla di regolazione che agisce sulla membrana.

Una delle due prese di pressione è incorporata nella valvola. La seconda presa è realizzata con un collegamento con tubo capillare metallico e una **valvola partner** di bilanciamento statica a orificio variabile.

# ■ REGOLATORI DI PRESSIONE DIFFERENZIALE

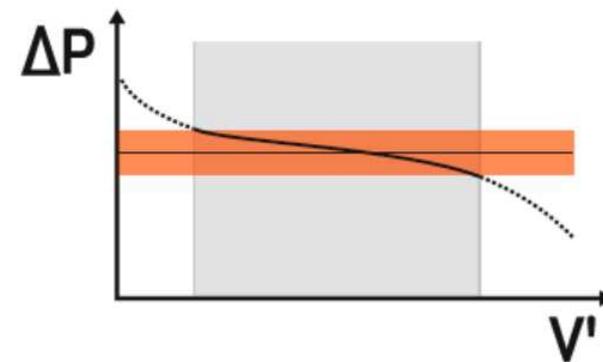
## \2



Occorre fornire dei grafici della differenza di pressione regolata in funzione della portata. Questi andrebbero forniti in funzione di:

- Diametro della valvola
- Valore desiderato di pressione differenziale a valle
- Pressione differenziale a monte

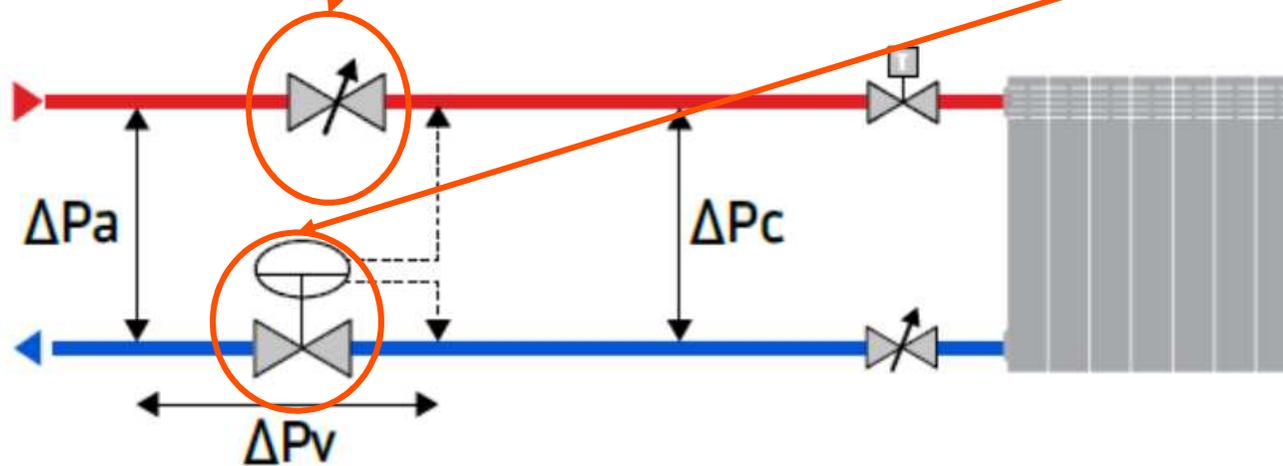
La valvola partner ha due prese per il collegamento della presa di pressione della valvola differenziale, a monte e a valle dell'orificio calibrato. In questo modo, l'orificio può essere **compreso o meno** nel tratto controllato.



# REGOLATORI DI PRESSIONE DIFFERENZIALE

## \3

In alternativa, può essere definita una differenza minima tra pressione disponibile a monte e quella regolata a valle affinché la valvola lavori correttamente.

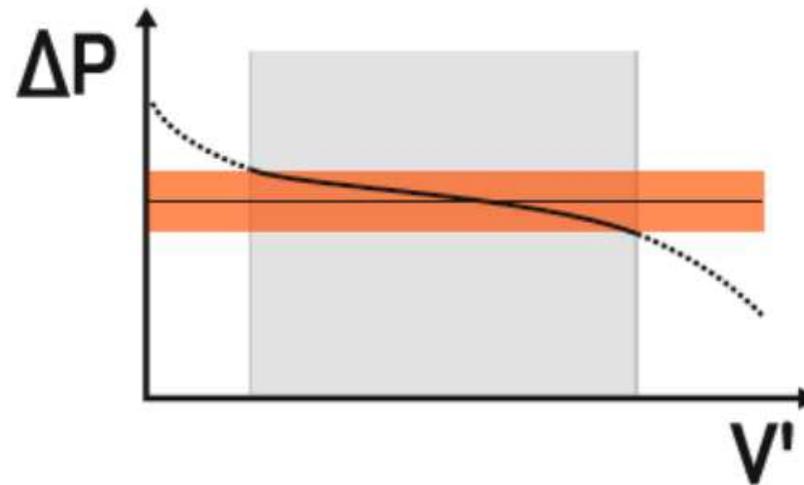


# ■ REGOLATORI DI PRESSIONE DIFFERENZIALE

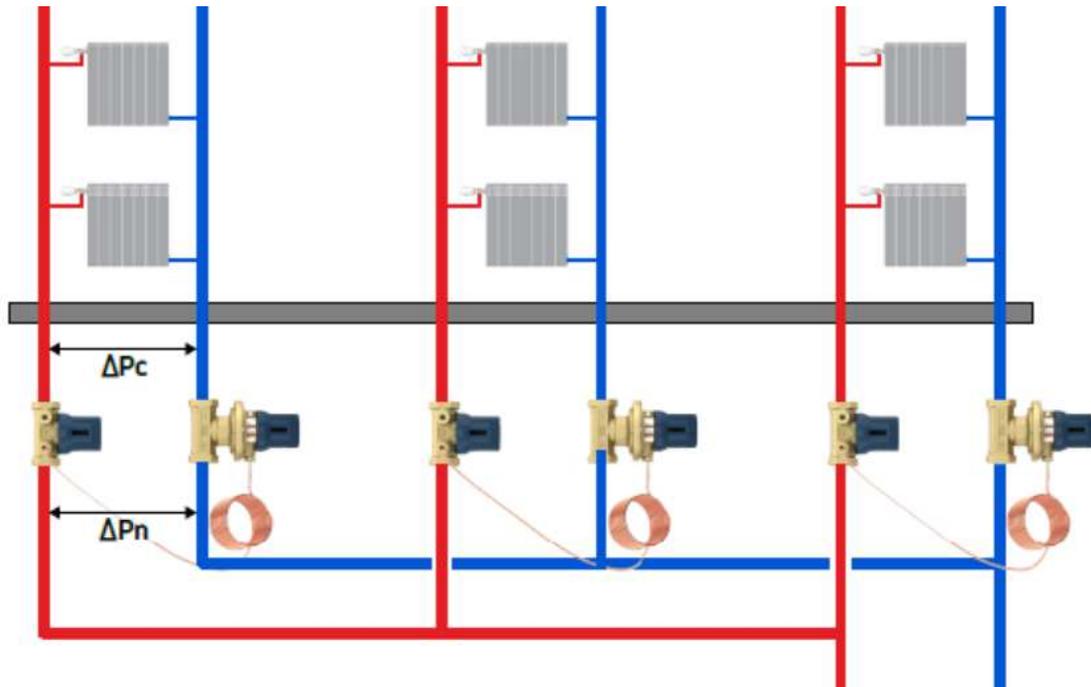
## \4

Nel grafico delle caratteristiche sono evidenti 3 zone:

- In una fascia sulla sinistra si ha una zona di trafilamento e potenziale **instabilità della regolazione** di pressione;
- La parte centrale è quella di normale funzionamento della valvola;
- La parte a destra è la regione dove la perdita di carico della valvola compromette la regolazione e la pressione differenziale crolla.



# ■ REGOLATORI DI PRESSIONE DIFFERENZIALE – ESEMPIO



Vengono usati frequentemente per la regolazione della pressione differenziale alla base delle colonne di un impianto con valvole termostatiche.

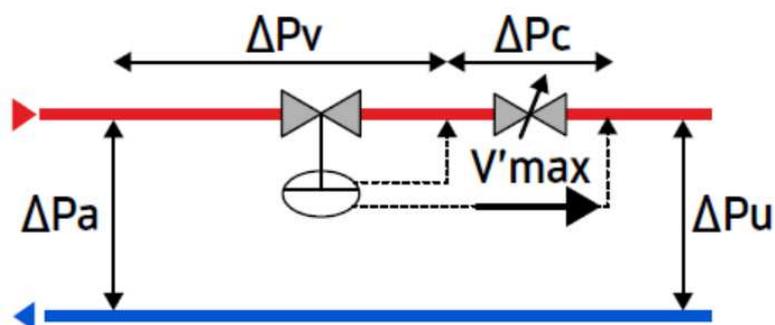
Le perdite di carico delle singole colonne montanti difficilmente superano i 0.5, 1 m c.a. Le valvole necessitano di questo stesso valore, ma non vanno superati i 2 m c.a.

# ■ VALVOLE DI REGOLAZIONE DELLA PORTATA \1



La valvola di regolazione della portata (PICV) funziona come una di regolazione della pressione differenziale, ma le prese di pressione sono a cavallo di un orifizio calibrato all'interno della valvola stessa, in serie al circuito di cui si vuole regolare la portata.

L'orifizio ha un Kv fisso, quindi mantenendo costante la differenza di pressione ai suoi capi se ne mantiene costante anche la portata.



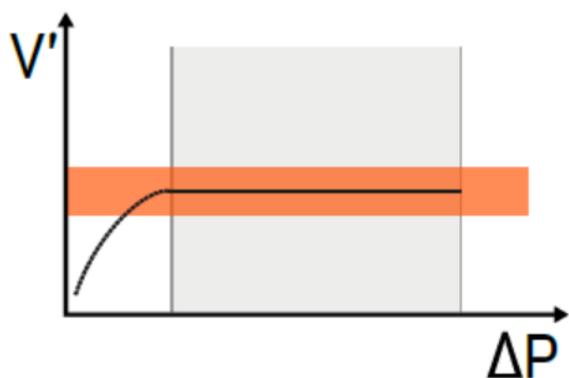
Questi regolatori sono usati per stabilizzare portate costanti nei circuiti, ad esempio nei sistemi a ventilconvettori e batterie di riscaldamento.

# ■ VALVOLE DI REGOLAZIONE DELLA PORTATA \2



Osservando il grafico:

- A sinistra, la valvola non lavora correttamente e lavora come un regolatore statico
- Nella zona centrale la valvola lavora correttamente e mantiene stabile la portata al valore impostato
- A destra, per alte pressioni differenziali, subentrano limiti costruttivi



Le valvole di regolazione della portata **non** vanno usate in serie alle termostatiche. Queste ultime infatti devono imporre la portata in circolazione modulandola, quindi andrebbero in conflitto con una valvola che la mantiene costante.

# LE VALVOLE TERMOSTATICHE

# ■ LE VALVOLE TERMOSTATICHE

È un regolatore della temperatura ambiente all'interno del locale dove viene installata.

Agisce sulla portata d'acqua che lo attraversa.

Funziona impostando un numero sulla testa della valvola, che consente di selezionare una temperatura alla quale essa chiude l'orifizio.

È costituita da:

- **Testa termostatica**
- **Corpo valvola**



# ■ LE VALVOLE TERMOSTATICHE – FUNZIONAMENTO \1

Un **aumento di temperatura** ambiente causa un avanzamento dell'otturatore fino a battuta e **chiude** completamente la **valvola**.

Il corpo scaldante non viene più alimentato quando la temperatura ambiente raggiunge quella desiderata.

Se la temperatura cala nuovamente, la valvola riprende ad aprirsi.

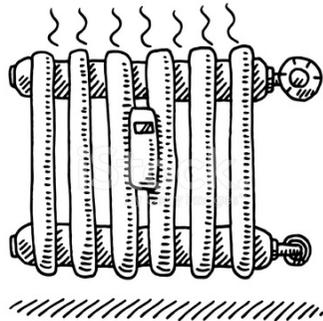
Si può considerare come un regolatore «P»: la potenza erogata dal corpo scaldante è all'incirca proporzionale alla **differenza di temperatura** tra:

- Valore desiderato della temperatura ambiente (impostato sulla testa);
- Valore della temperatura percepito dalla testa termostatica.



# LE VALVOLE TERMOSTATICHE – FUNZIONAMENTO \2

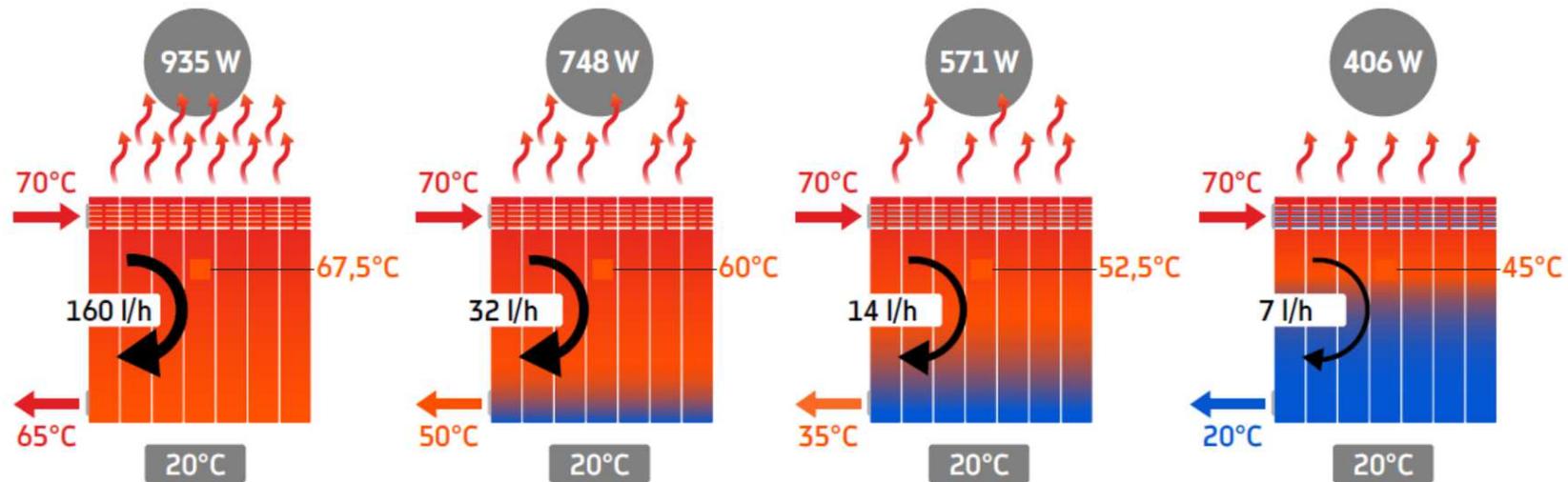
Quando cala la differenza di temperatura tra ambiente e valore desiderato:



- 1- Si riduce l'apertura della valvola
- ↓
- 2- Aumenta la perdita di carico a cavallo dell'otturatore della valvola
- ↓
- 3- Si riduce la portata di acqua nel corpo scaldante
- ↓
- 4- Si riduce la temperatura di ritorno del corpo scaldante
- ↓
- 5- Si riduce la temperatura media del corpo scaldante
- ↓
- 6- **Si riduce la potenza emessa dal corpo scaldante**

# LE VALVOLE TERMOSTATICHE – FUNZIONAMENTO \3

L'aumento di temperatura ambiente comporta una minore richiesta di potenza e di conseguenza la portata circolante nel radiatore.



Quindi se i radiatori si raffreddano nella parte inferiore, le valvole stanno agendo **correttamente!**

# ■ LE VALVOLE TERMOSTATICHE – CARATTERISTICHE \1

Come già detto, una valvola termostatica è costituita da:

- Testa termostatica, elemento di regolazione e comando
- Corpo valvola, componente che agisce sulla circolazione dell'acqua nell'impianto



Il collegamento funzionale tra loro è l'**asta dell'otturatore** della valvola.



N.B: testa e corpo valvola devono essere **coerenti** per:

- Entità dello spostamento dell'otturatore comandato dalla testa
- Entità dello spostamento dell'otturatore richiesto dal corpo valvola

Ma quali sono le **tipologie** di teste termostatiche disponibili?

# LE VALVOLE TERMOSTATICHE – TIPOLOGIE DI TESTE

Sensore a dilatazione di **cera**: il sensore è costituito da un involucro rigido riempito di cera, che si dilata al crescere della temperatura e spinge l'otturatore in chiusura.



Economiche ma con performance limitate



Sensore a dilatazione di **liquido**: l'involucro rigido è riempito di liquido speciale che si dilata al crescere della temperatura e spinge l'otturatore in chiusura.



Meno economiche ma tempi di risposta accettabili



Sensore a gas: sensore costituito da un involucro elastico riempito con un vapore in equilibrio con del liquido. Se la temperatura aumenta, evapora un po' di liquido e l'otturatore è spinto in chiusura



Migliori prestazioni e più efficienti nella regolazione

# ■ LE VALVOLE TERMOSTATICHE – CARATTERISTICHE \2

## Tempo di risposta

Caratteristica funzionale che qualifica la testa termostatica.

Il tipo di sensore condiziona questa specifica della valvola.

Una valvola **molto rapida** consente una regolazione più precisa e senza oscillazioni.

Se la valvola è **troppo lenta**:

- Quando la temperatura ambiente sale, la valvola si chiude completamente
- Quando la temperatura ambiente cala, si arriva alla sua completa apertura

## Massima pressione differenziale

Caratteristica importante del complesso sede/otturatore del corpo valvola.



# ■ LE VALVOLE TERMOSTATICHE – CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Massima pressione  
differenziale

Elevate pressioni differenziali causano una forte accelerazione dell'acqua nel passaggio tra otturatore e sede. Questo comporta **rumorosità** del corpo valvola.

I costruttori dichiarano la **massima pressione differenziale** per la quale è garantito il funzionamento «**silenzioso**».

Limiti di temperatura

Esistono meccanismi per limitare le modifiche della temperatura da parte dell'utente. La limitazione va impostata a temperature leggermente maggiori di quella desiderata.

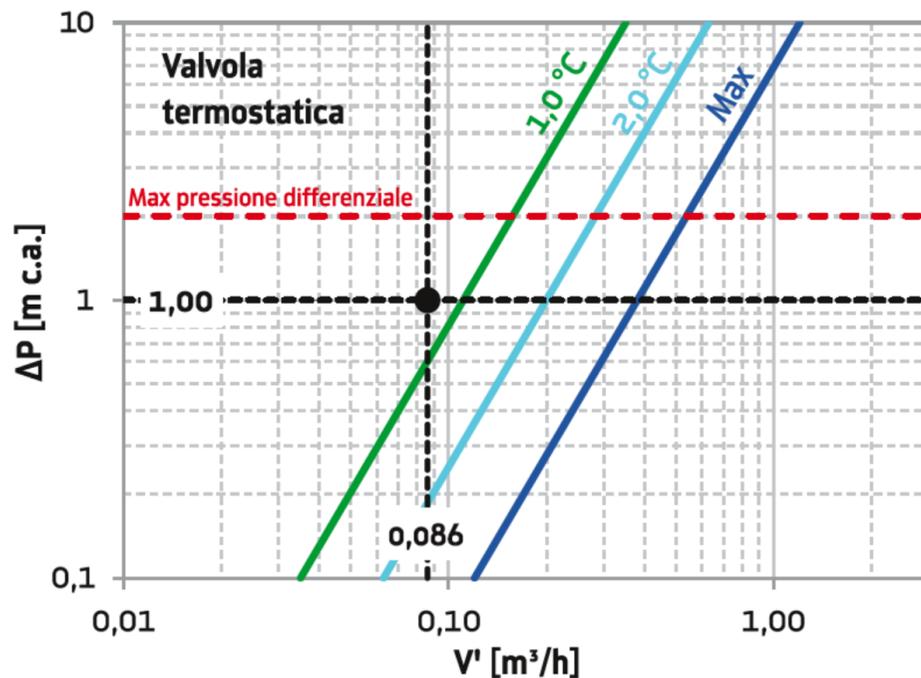
Prerregolazione

Si riferisce alla possibilità di limitare la corsa dell'otturatore in apertura o di disporre di un otturatore di precisione integrato nel corpo valvola.

# ■ CARATTERISTICHE IDRAULICHE

Un grafico tipico di una valvola termostatica è quello che relaziona **portata e perdita di carico**.

La caratteristica è riportata per varie posizioni dell'otturatore (identificate dall'errore di temperatura diverso).



È sufficiente scegliere una valvola che consenta, con un errore di temperatura accettabile, la circolazione dell'acqua necessaria per erogare la massima potenza termica di progetto.

L'impianto si bilancia automaticamente, utilizzando una valvola per ogni radiatore.

# ■ DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE – PARAMETRI \1

N.B: le considerazioni fatte si riferiranno a circuiti idraulici con collegamento in parallelo o «bitubo».

La scelta della valvola termostatica va fatta in funzione di:

Potenza di  
dimensionamento del  
corpo scaldante

Salto termico  
mandata/ritorno di  
progetto

Differenza di pressione di  
progetto disponibile per  
la valvola

Banda proporzionale di  
progetto (errore massimo  
di temperatura)

# ■ DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE - PARAMETRI \2

N.B: le considerazioni fatte si riferiranno a circuiti idraulici con collegamento in parallelo o «bitubo».

La scelta della valvola termostatica va fatta in funzione di:

Potenza di  
dimensionamento del  
corpo scaldante

Salto termico  
mandata/ritorno di  
progetto

Differenza di pressione di  
progetto disponibile per  
la valvola

Banda proporzionale di  
progetto (errore massimo  
di temperatura)

# ■ **DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE - PARAMETRI \3**

N.B: le considerazioni fatte si riferiranno a circuiti idraulici con collegamento in parallelo o «bitubo».

La scelta della valvola termostatica va fatta in funzione di:

Potenza di  
dimensionamento del  
corpo scaldante

Salto termico  
mandata/ritorno di  
progetto

Differenza di pressione di  
progetto disponibile per  
la valvola

Banda proporzionale di  
progetto (errore massimo  
di temperatura)

# ■ DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE- PARAMETRI \4

N.B: le considerazioni fatte si riferiranno a circuiti idraulici con collegamento in parallelo o «bitubo».

La scelta della valvola termostatica va fatta in funzione di:

Potenza di  
dimensionamento del  
corpo scaldante

Salto termico  
mandata/ritorno di  
progetto

Differenza di pressione di  
progetto disponibile per  
la valvola

Banda proporzionale di  
progetto (errore massimo  
di temperatura)

# ■ DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE - PARAMETRI \5

N.B: le considerazioni fatte si riferiranno a circuiti idraulici con collegamento in parallelo o «bitubo».

La scelta della valvola termostatica va fatta in funzione di:

Potenza di  
dimensionamento del  
corpo scaldante

Salto termico  
mandata/ritorno di  
progetto

Differenza di pressione di  
progetto disponibile per  
la valvola

Banda proporzionale di  
progetto (errore massimo  
di temperatura)

# ■ DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE \1

Fissati i valori di:

- Potenza termica da erogare
- Salto termico tra mandata e ritorno del corpo scaldante
- Differenza di pressione tra mandata e ritorno
- Banda proporzionale

Si determina

- la portata di acqua di progetto come: 
$$V' = \frac{Q_{nom}}{\Delta\theta \times c}$$
- Dimensione della valvola termostatica, la cui curva deve passare sopra il punto di funzionamento determinato da portata massima e  $\Delta P$  di progetto

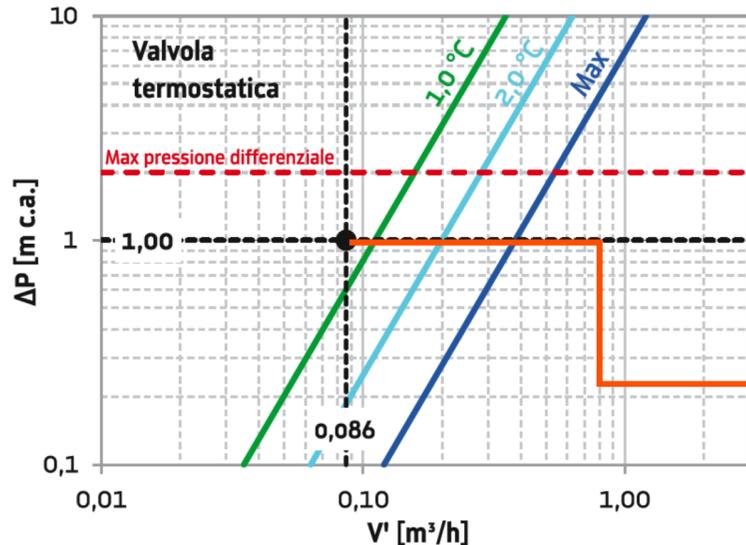
# ■ DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE \2

ESEMPIO:

Si voglia installare un radiatore in grado di erogare 2000 watt e si scelga un  $\Delta\theta$  di 20 °C. La portata da garantire sarà quindi di

$$V' = \frac{2000 \text{ W}}{20 \text{ °C} \times 1.16 \text{ Wh}/(\text{kg} \text{ °C})} = 86 \text{ kg/h.}$$

Si scelga una perdita di carico di 1 m c.a. e costruiamo il suo punto di funzionamento come segue:



Allora basterà una differenza di temperatura di meno di 1 °C tra temperatura desiderata e effettiva per ottenere la circolazione di più della portata massima richiesta.

Portata circolante con 1 m c.a. di caduta con una differenza di temperatura ambiente/set-point di 1 °C.

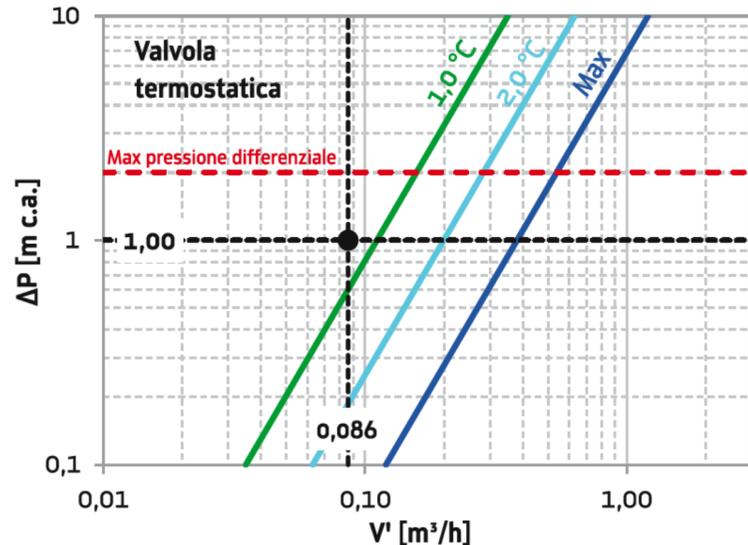
Tuttavia...

# ■ DIMENSIONAMENTO DELLE VALVOLE \3

...Se:

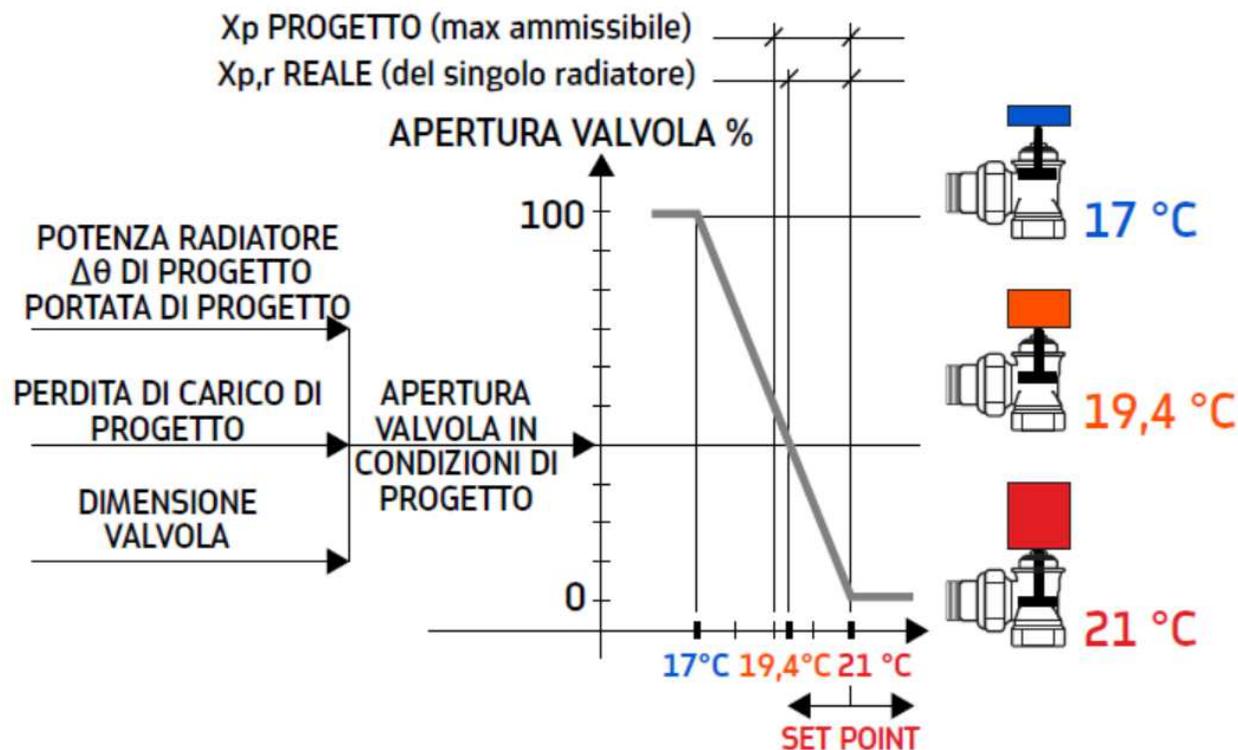
- La potenza del radiatore superasse i 2000 W
- Il  $\Delta\theta$  mandata/ritorno fosse inferiore a 20 °C
- Il  $\Delta P$  fosse inferiore a 100 mbar

Potrei avere richiesta di portata maggiore o prevalenza disponibile inferiore e il punto di lavoro si sposterebbe più a destra e più in basso.



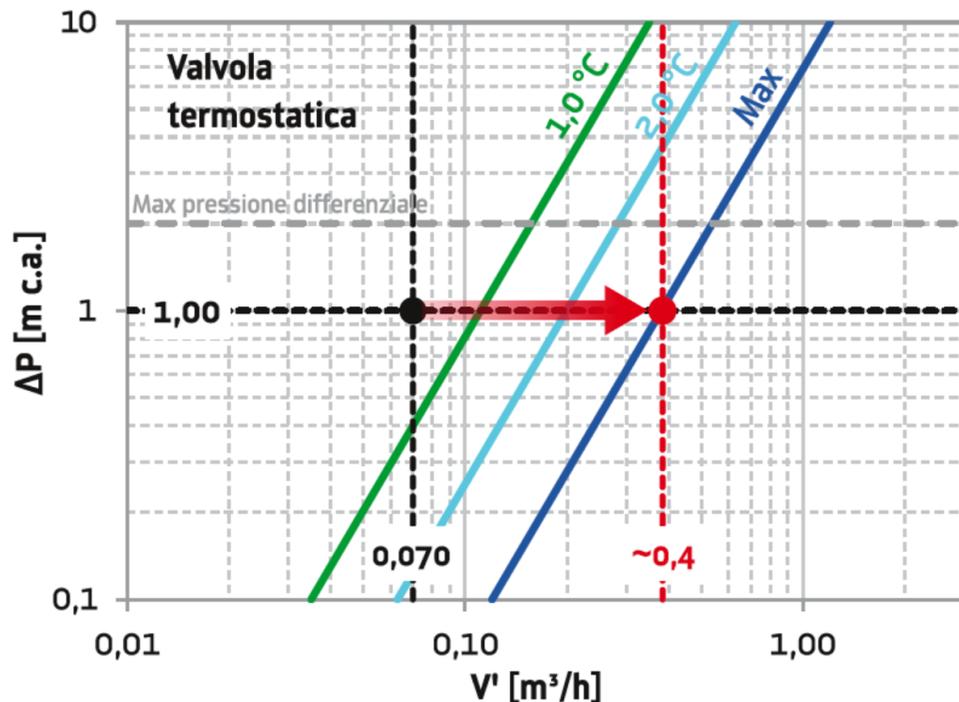
I dati dell'esempio ci dicono che la valvola termostatica più piccola in commercio risulta sufficiente per la stragrande maggioranza dei corpi scaldanti installati negli impianti domestici.

# BANDA PROPORZIONALE



Il grado di apertura della valvola dipende dalla portata di progetto, dal  $\Delta P$  ammissibile e dalla dimensione della valvola.

# PREREGOLAZIONE \1



All'avviamento del sistema, le teste termostatiche percepiscono una grande differenza tra temperatura desiderata e quella dell'ambiente e **aprono del tutto gli otturatori**.

La portata si ripartirà in base alle resistenze delle valvole dei radiatori (di solito simili) e a quelle delle tubazioni. L'acqua infatti tenderà a fluire nei circuiti aventi minori resistenze. Di conseguenza:

- I radiatori più piccoli e vicini alla pompa avranno **eccesso** di portata e funzioneranno a potenza un po' superiore rispetto a quella di progetto;
- I radiatori più lontani e di dimensioni maggiori avranno potenza **molto inferiore** a quella di progetto.

## ■ PREREGOLAZIONE \2

L'impianto sarà fortemente sbilanciato, con un minore assorbimento di potenza da parte dei radiatori rispetto a quella erogata dal generatore e un **innalzamento della temperatura di ritorno** alla caldaia, per cui:

- Nel momento di maggior bisogno, si ridurrà la potenza erogabile dall'impianto;
- Negli ambienti di maggior dimensione e più lontani dalla centrale termica, si riduce la potenza erogabile;
- Cala il rendimento di un'eventuale **caldaia a condensazione**, nel momento in cui invece dovrebbe garantire i rendimenti maggiori.

# ■ PREREGOLAZIONE DELLE VALVOLE TERMOSTATICHE

La prerregolazione delle valvole consiste essenzialmente in una **limitazione della corsa in apertura** dell'otturatore della valvola o in un detentore micrometrico incorporato.



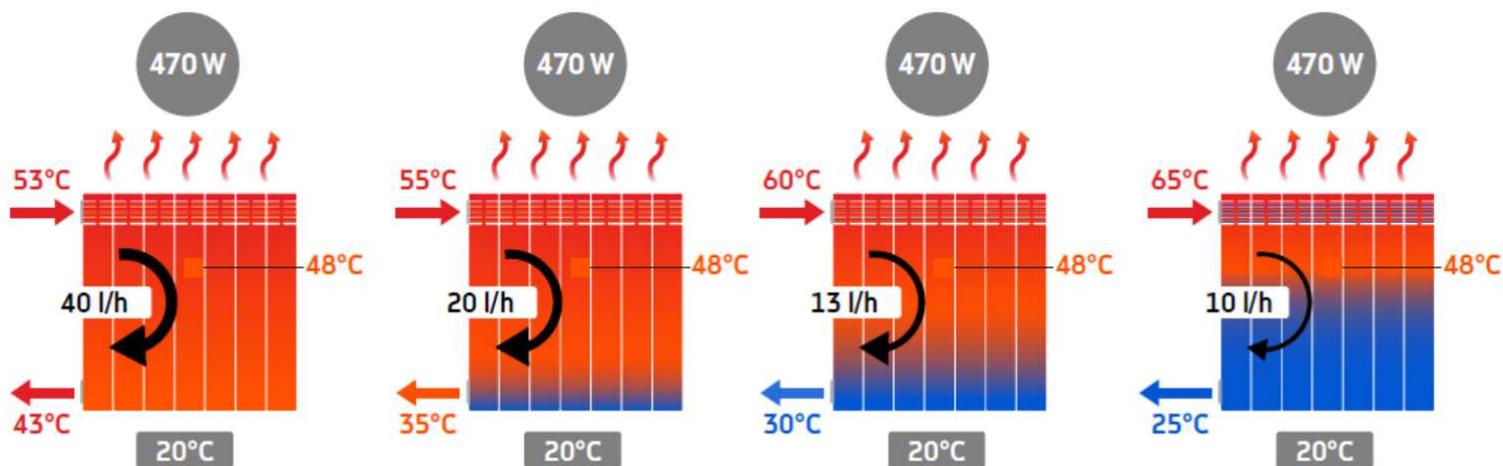
Dovrà essere fatta per garantire la circolazione della portata di progetto in condizioni di massima apertura e massimo carico.

Se la prerregolazione è ben svolta, all'avviamento da freddo **la portata si ripartisce subito nella maniera giusta** e la temperatura dell'edificio sale uniformemente.

# ■ VALVOLE TERMOSTATICHE E TEMPERATURA DI RITORNO \1

L'utilizzo corretto delle valvole termostatiche consente di controllare e regolare la temperatura dell'acqua di ritorno dall'impianto.

Mantenendo fissata la potenza da erogare all'ambiente al fine di mantenere il comfort, **all'aumentare della temperatura di mandata ai radiatori, calerà quella di ritorno**, poiché deve mantenersi costante la temperatura media superficiale del corpo scaldante. Contemporaneamente, si avrà un calo della portata circolante in esso.

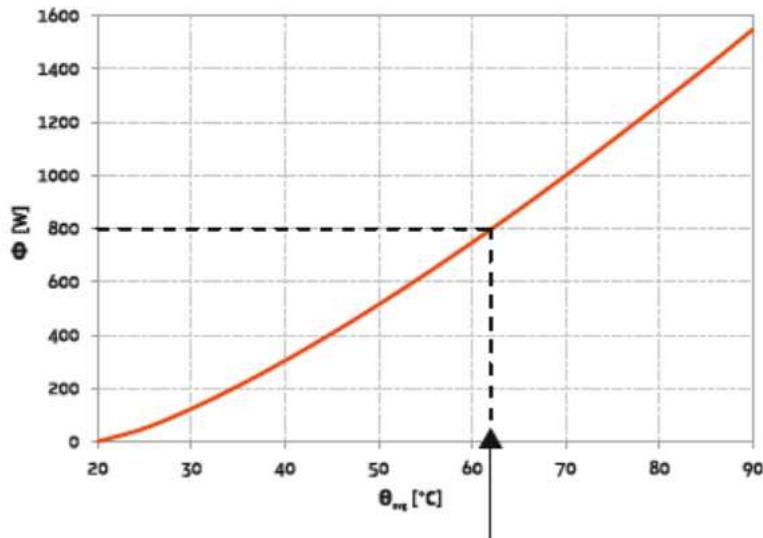


# ■ LA CURVA DI EMISSIONE DEL RADIATORE \1

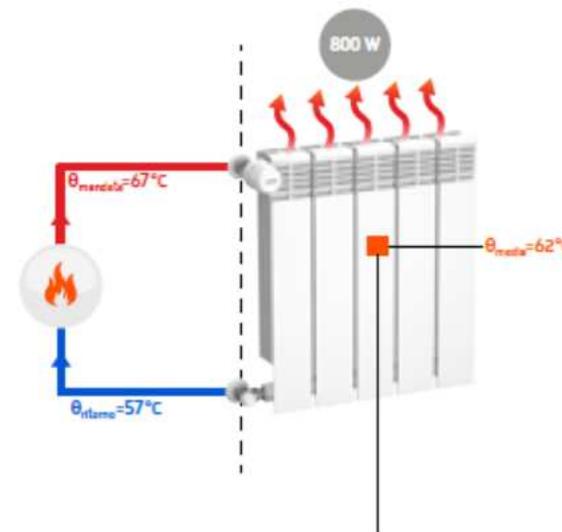
$$T_{ms} = \frac{(T_m + T_r)}{2}$$

$$Q_{acqua} = V' \times cp \times (T_m - T_r)$$

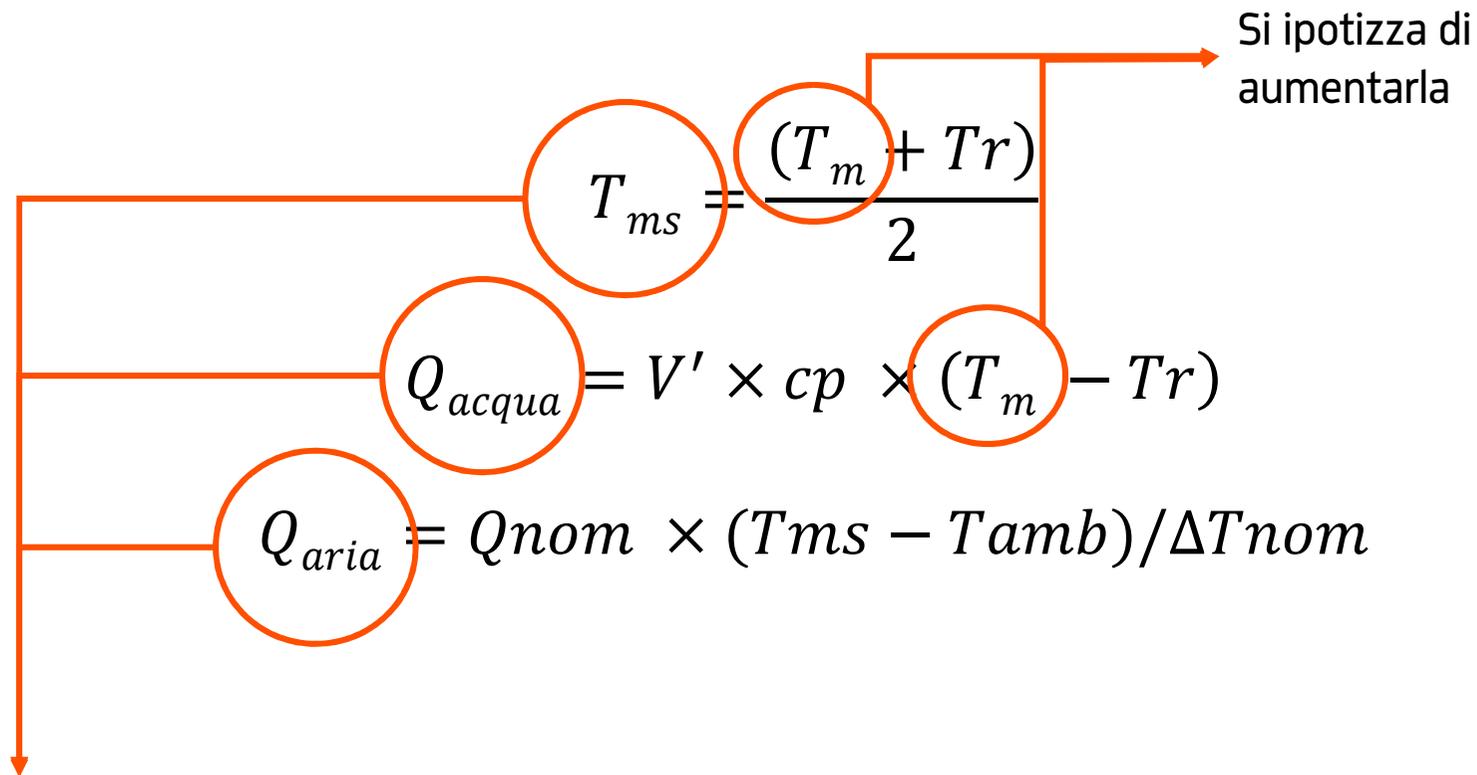
$$Q_{aria} = Q_{nom} \times (T_{ms} - T_{amb}) / \Delta T_{nom}$$



Cosa significa aumentare la temperatura di mandata mantenendo fissate potenza erogata e temperatura media superficiale del radiatore?



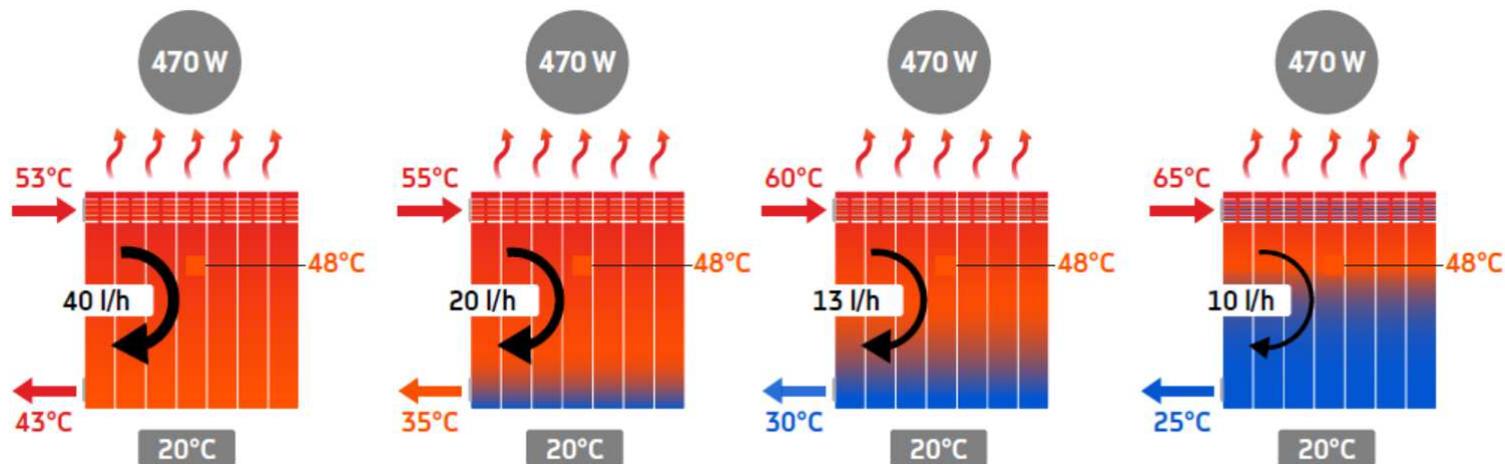
# ■ LA CURVA DI EMISSIONE DEL RADIATORE \



# ■ VALVOLE TERMOSTATICHE E TEMPERATURA DI RITORNO \2

N.B: **non** bisogna scendere troppo **al di sotto dei 25 °C** per la temperatura di ritorno, perché questo significherebbe:

- Aumentare le perdite termiche delle tubazioni di mandata
- Costringere il generatore a lavorare con salti termici elevatissimi
- Sfruttare male i radiatori, che sarebbero del tutto freddi in basso
- Un degrado della precisione di eventuali ripartitori per la contabilizzazione



# ■ INSTALLAZIONE DELLE VALVOLE TERMOSTATICHE

Le regole fondamentali da seguire sono:

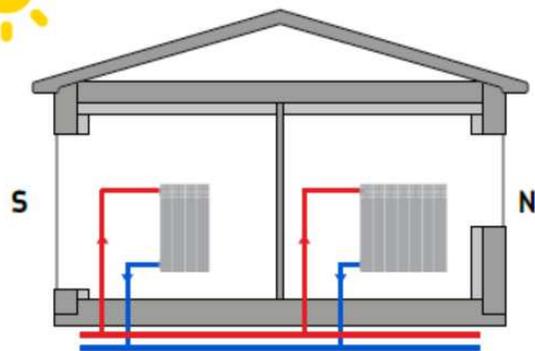
- Valvole termostatiche installate su **tutti** i radiatori. Diversamente, le caratteristiche idrauliche sarebbero troppo diverse tra radiatori con e senza valvola;
- La testa termostatica deve **percepire correttamente** la temperatura ambiente della stanza;  
La testa termostatica deve essere montata con asse orizzontale;  
Non devono esserci ostacoli che aumentino la temperatura in prossimità della testa;
- Su impianti preesistenti è necessario riprogettare da capo la circolazione dell'acqua e sostituire la pompa di circolazione, che andrà correttamente dimensionata e parametrizzata;
- Per impianti centralizzati, le valvole dovranno essere dotate di preregolazione.

# ■ BENEFICI DELLE VALVOLE TERMOSTATICHE

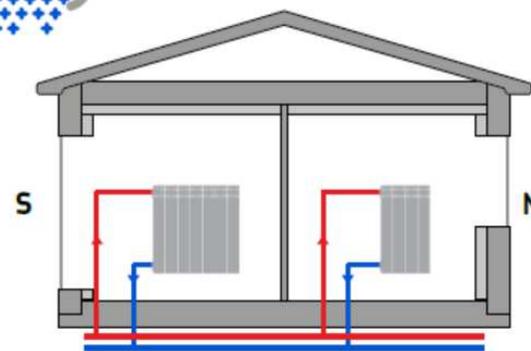
L'utilizzo delle valvole:

- Consente di stabilizzare ciascun locale e ottenere la temperatura di **comfort**;
- Consente di controllare la temperatura di **ritorno** per sfruttare appieno la condensazione anche in vecchi impianti;
- Consente di recuperare ogni tipo di **apporto gratuito**, di origine interna ed esterna;
- Garantisce il **bilanciamento continuo** ed automatico dell'impianto di riscaldamento;

# IL BILANCIAMENTO DELL'IMPIANTO



(a)



(b)

# ■ COSA SI INTENDE CON «BILANCIAMENTO»?

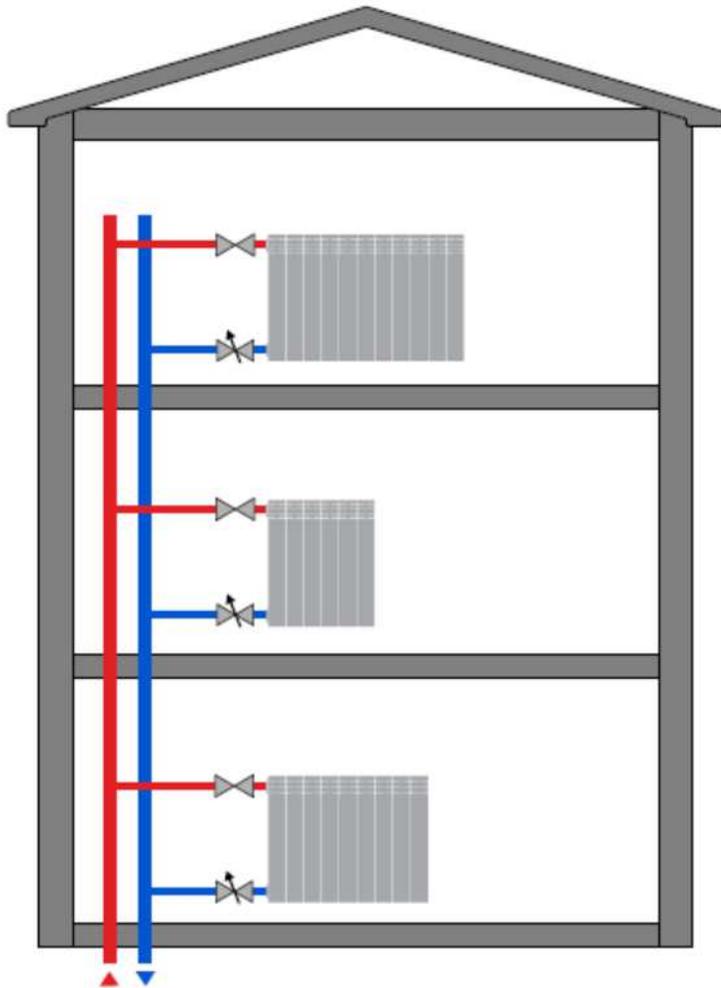
In cosa consiste il bilanciamento?

A) Insieme di decisioni, pratiche e accorgimenti finalizzati a portare il calore là dove serve.

...0...

B) Distribuzione delle portate di acqua in funzione delle potenze dei corpi scaldanti

# ■ ESEMPI DI BILANCIAMENTO \1



Impianto munito di valvola manuale sulle mandate dei radiatori e di detentori sui loro ritorni.

Il radiatore più in **alto** deve vincere le dispersioni del soffitto, quindi necessita di più elementi.

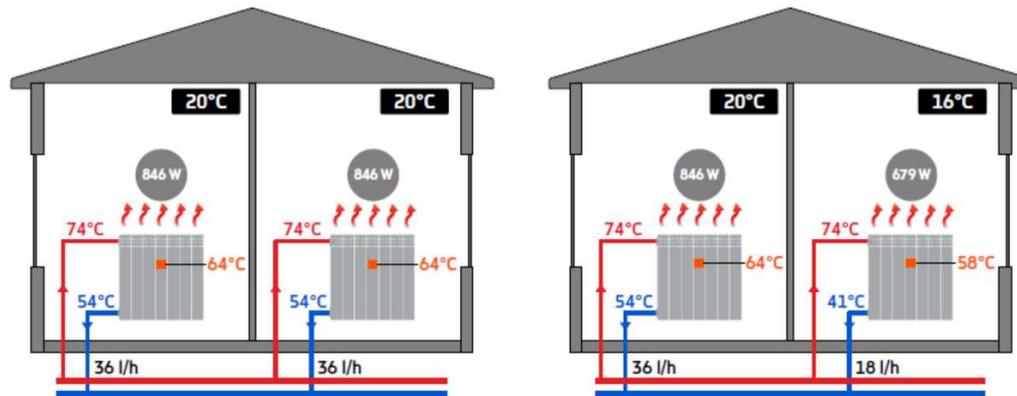
Lo stesso si dica per quello **inferiore**, nonostante le perdite verso il terreno siano più basse.

Bilanciare l'impianto, significa **distribuire le potenze dei corpi scaldanti in base ai fabbisogni** delle varie parti dell'edificio

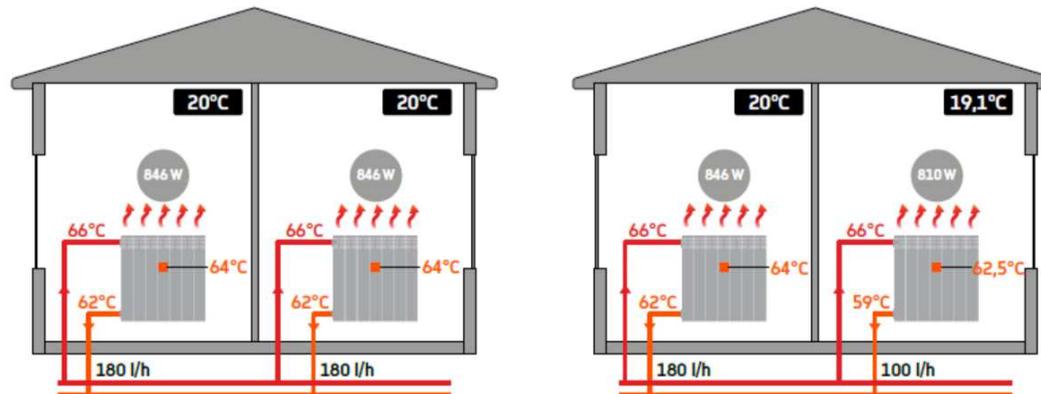


Il **primo** passo sarà distribuire correttamente le potenze dei corpi scaldanti, **successivamente** vi si dovrà inviare la portata corretta, dipendente dalla potenza del terminale e dal salto termico tra sua mandata e ritorno.

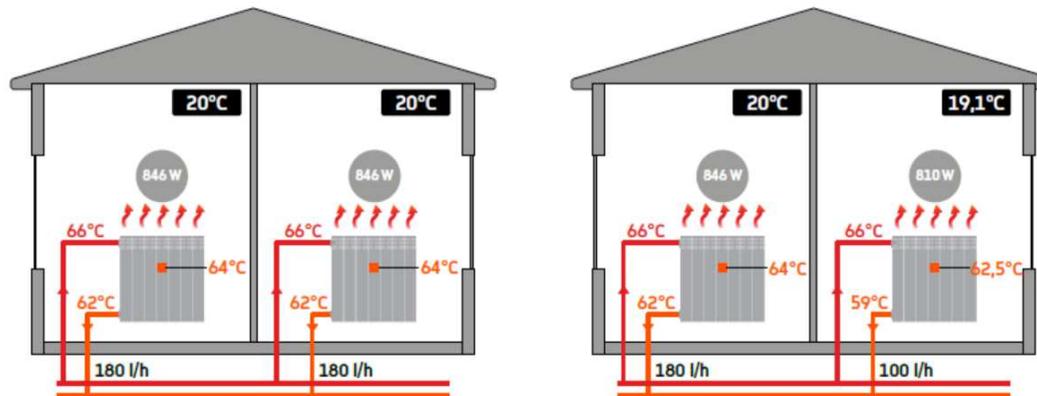
## ■ ESEMPI DI BILANCIAMENTO \2



Esempio semplice di bilanciamento: due locali uguali che richiedono radiatori uguali e portate uguali. Regolare una stessa portata con un comune detentore porta a errori di sbilanciamento visibili nella figura di destra. La soluzione adottata è la seguente.



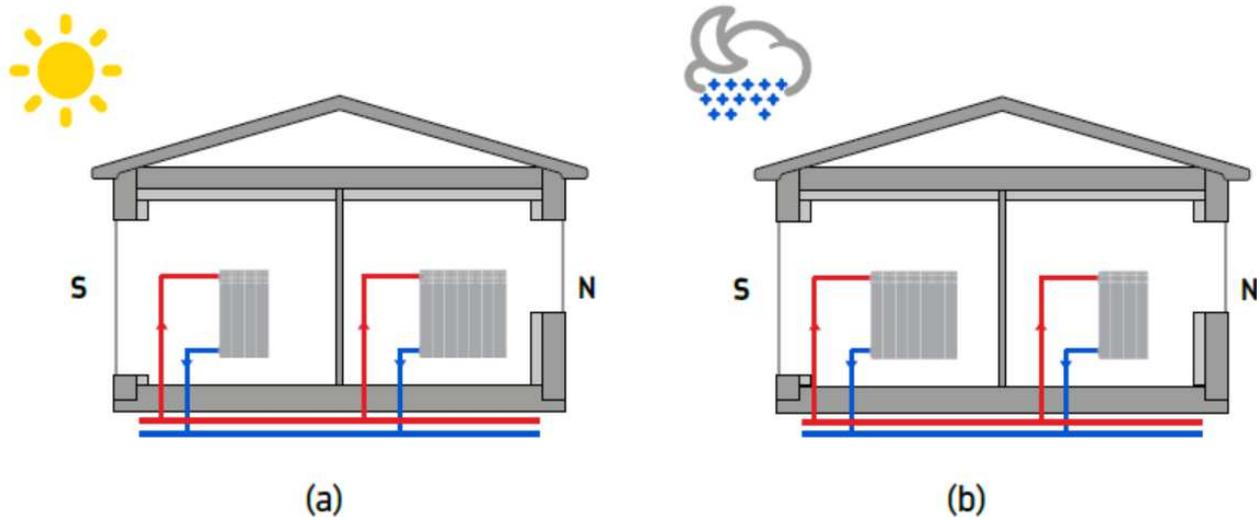
## ■ ESEMPI DI BILANCIAMENTO \3



In questa soluzione la portata è aumentata a dismisura. Ci sono sbalzi termici limitati e gli sbilanciamenti di portata sono trascurabili. Il bilanciamento è controllato esclusivamente dalla distribuzione delle potenze nominali dei corpi scaldanti.

Questo però **incrementa** il diametro dei tubi e **le perdite di rete**.

## ■ ESEMPI DI BILANCIAMENTO \4



Consideriamo ora una «**casa passiva**»: un edificio ben coibentato ma dotato di grandi finestre a sud e poche a nord per sfruttare al meglio gli apporti solari.

Con il sole, il bilanciamento corretto è quello di sinistra, con un piccolo radiatore a sud e uno grande a nord. In mancanza di sole però, la situazione diventa quella della seconda immagine, e sarebbe necessario scambiare i radiatori.

Non esiste quindi IL bilanciamento di un impianto: condizioni mutevoli richiedono bilanciamento dinamico.

**Un bilanciamento statico, infatti, non ottimizza l'erogazione del calore nell'edificio.**

# ■ ESEMPI DI BILANCIAMENTO \5

Per adattarsi, quindi, ai fabbisogni mutevoli dell'edificio, il sistema potrà essere dotato di regolazione automatica per singolo ambiente. Questo potrà essere fatto, più comunemente tramite:

- **Valvole termostatiche autoazionate**
  - Si riducono drasticamente le portate
  - Si ottiene regolazione modulante della portata
  - Se meccaniche, non possono gestire profili orari di temperatura
- **Valvole elettroazionate**
  - Gestiscono profili temporali di temperatura
  - Si ha regolazione intermittente della portata
  - Si aggiungono consumi elettrici continui durante la loro apertura

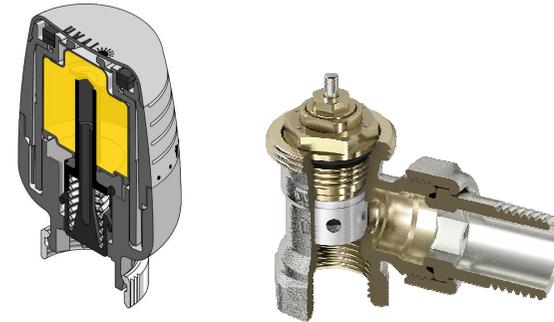
# ■ BILANCIAMENTO DEI CIRCUITI \1

Uno dei motivi fondamentali per effettuare il bilanciamento idraulico è che, se si vogliono utilizzare le portate giuste e dimensionare le pompe correttamente, non è possibile sprecare portata.

Si prenda ad esempio, l'impiego della **preregolazione delle valvole termostatiche**. Se la pompa è dimensionata correttamente, la portata disponibile è quella sufficiente per l'impianto.

**SE non ci fosse il bilanciamento**, durante i transitori di avviamento i tempi si dilaterebbero eccessivamente.

**In breve: fintanto che c'è portata eccessiva nell'impianto, nessuno si rende conto della mancanza di bilanciamento. Quando però si ottimizza la portata introducendo solo l'acqua necessaria al funzionamento del sistema, il bilanciamento diventa fondamentale, anche solo per gestire i transitori di funzionamento.**

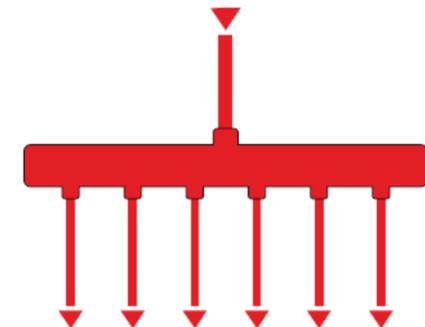


# ■ BILANCIAMENTO DEI CIRCUITI \2

Per effettuare il bilanciamento idraulico di **rami in parallelo** si procede come segue:

1- stabilire le portate corrette **nei vari rami** in parallelo

- verificare la perdita di carico del ramo più sfavorito
- aggiungere su ogni altro ramo una valvola di bilanciamento statico
- ottenere su ogni ramo la stessa perdita di carico, pari a quella massima



2- procedimento **iterativo** di bilanciamento delle valvole di ogni ramo

- iniziare dal componente più lontano e avvicinarsi all'inizio del collettore/dell'impianto
- iniziare dai componenti con differenze maggiori tra portata desiderata ed effettiva
- chiudere i rami con portata eccessiva e incrementare quelli con portata non sufficiente

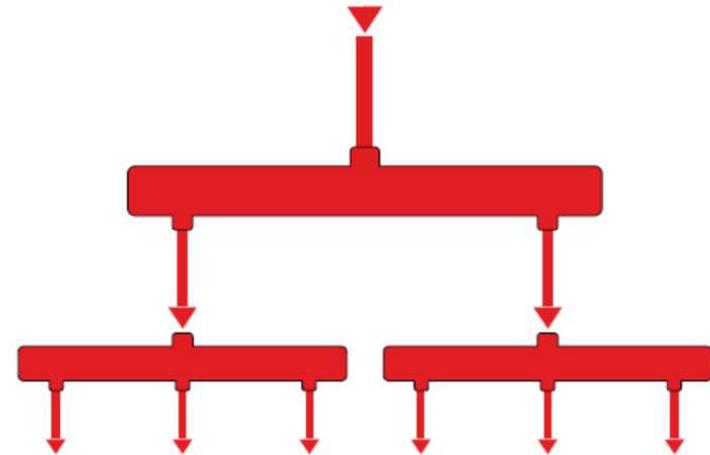
# ■ BILANCIAMENTO DELLE ZONE

Il procedimento potrebbe **ripetersi** per zone aventi una valvola di bilanciamento statico per ciascuna e ciascuna dotata di un collettore:

Se si bilanciassero le singole zone per poi passare ai collettori, si altererebbero nuovamente le zone.

Diventa opportuno **sfruttare una valvola di regolazione di pressione differenziale** per ogni zona. Così si ottengono molti vantaggi:

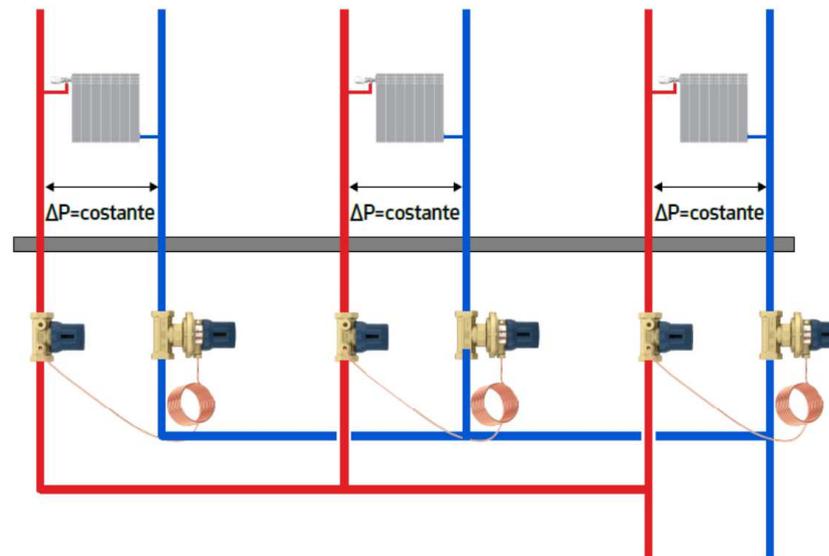
- Dopo aver ripartito correttamente le portate per tutti i rami di una zona, si potranno ritoccare tutti assieme agendo sulla pressione differenziale di zona;
- Durante il bilanciamento dei rami ci sarà interferenza minore tra le portate dei rami della stessa zona e nessuna rispetto alle altre.



# ■ BILANCIAMENTO DINAMICO

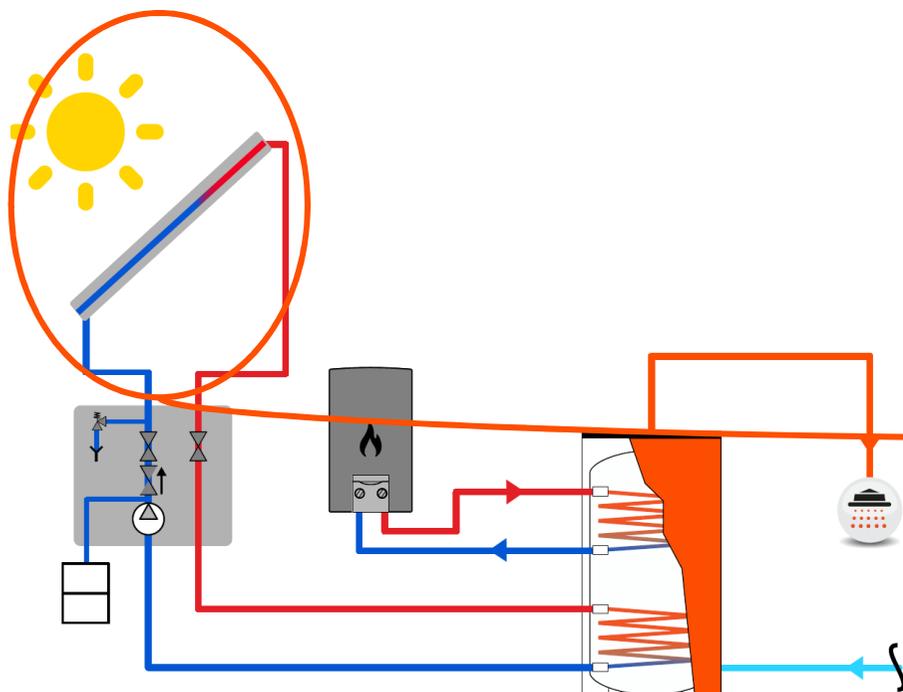
Quando si utilizza una pompa a giri variabili, si ha controllo di pressione **solo nel punto di partenza** del circuito. Installare valvole di regolazione della pressione differenziale consente di farlo in prossimità dei singoli rami e in maniera indipendente in più punti. Si otterrà così un funzionamento stabile del sistema.

Rimane comunque necessaria una regolazione di portata e il bilanciamento statico per singolo ramo.



# GLI IMPIANTI SOLARI TERMICI

# ■ IL SISTEMA \1



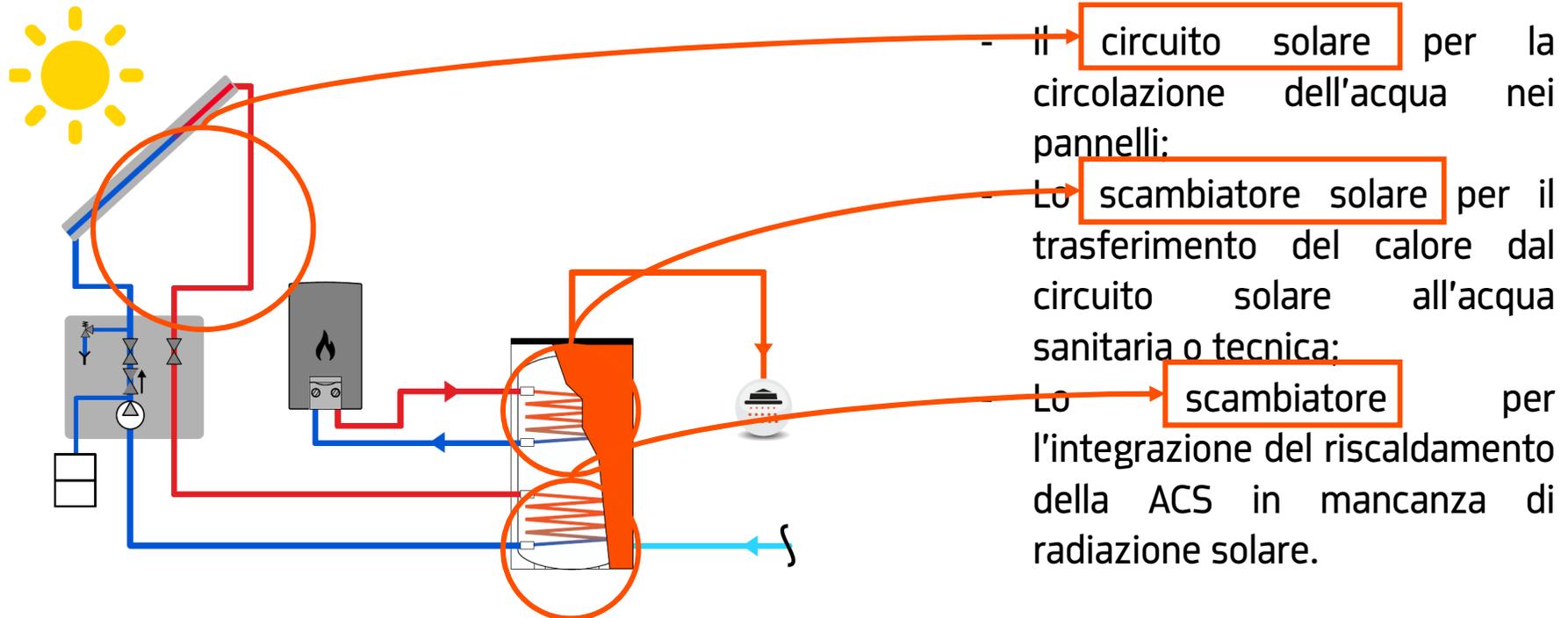
I sistemi solari termici hanno lo scopo di **captare l'energia radiante** del sole per riscaldare un fluido termovettore.

Gli elementi principali sono:

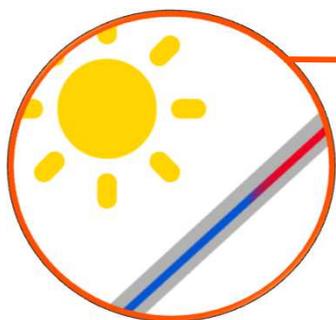
- I collettori solari, che devono captare l'energia incidente e trasferirla al fluido vettore.

Possono essere piani, evacuati o a concentrazione. Alla loro uscita c'è una sonda di temperatura che rileva la temperatura del fluido. Tanti collettori solari costituiscono un campo solare.

## ■ IL SISTEMA \2



# ■ IL FUNZIONAMENTO



La radiazione scalda l'acqua nel collettore

Due sonde misurano la temperatura all'uscita dal collettore e nell'accumulo di acqua da riscaldare

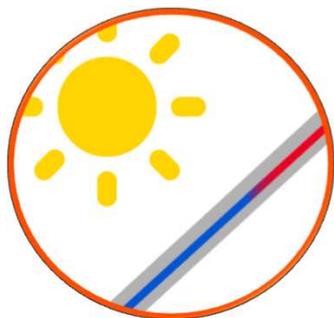
Il circuito solare scalda la parte inferiore dell'accumulo

Quando la prima è più alta della seconda, si attiva la pompa di circolazione

Se la prima ridiscende, la pompa si ferma

L'acqua viene riscaldata e mandata alle utenze

# ■ LA STAGNAZIONE



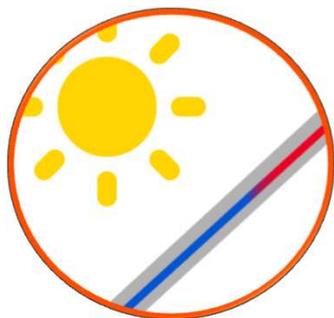
Se non si raffredda il collettore asportando calore, il pannello si porterà alla temperatura di **stagnazione**

Il calore disperso dalla cassa e dal vetro del pannello bilancia l'energia solare radiante catturata

Il fluido termovettore evapora e forma una bolla di vapore nel pannello, che potrebbe portare a una rottura delle tubazioni



## ■ COME EVITARLA



Sono numerose le **strategie** per evitare la stagnazione:

- Disporre di un **accumulo abbondante** per limitare l'escursione di temperatura del circuito solare durante il giorno;
- **Dimensionare** correttamente lo **scambiatore** tra circuito solare e resto dell'impianto;
- **Controllare** accuratamente la **portata** che scorre nel circuito solare;
- **Bilanciare** accuratamente il **campo solare** nel caso si disponga di più collettori connessi tra loro

Se questo non dovesse bastare, come in **casi estremi** di prelievo quasi nullo, è necessario:

- Scaricare un po' di acqua calda finché la temperatura nell'accumulo torna nella norma;
- Coprire i collettori, difficile da farsi ma efficiente.

# ■ DIMENSIONAMENTO DEI COMPONENTI

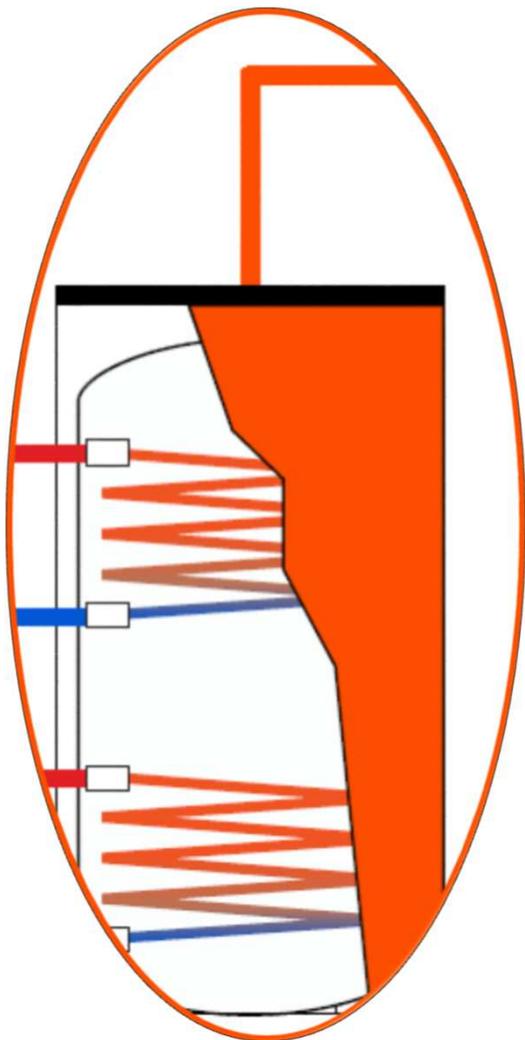


Quando si dispone di un campo solare costituito da più collettori, la loro **superficie** va **dimensionata** correttamente per soddisfare le esigenze di produzione di acqua calda sanitaria durante la stagione estiva.

Il dimensionamento avviene in base alla potenza massima erogabile dai collettori solari ed al salto termico accettabile tra mandata e ritorno.

La potenza massima sviluppata è circa 1 kW per metro quadrato di collettore, mentre il salto termico va mantenuto basso (10 °C) per limitare il rischio di stagnazione.

## ■ IL VOLUME DI ACCUMULO



Il volume di accumulo deve essere adeguato alla situazione impiantistica con cui si ha a che fare.

Dal punto di vista dell'utenza, se non c'è un accumulo adeguato per un'intera giornata di utilizzo, alla mattina deve intervenire **l'integrazione**.

Dal punto di vista dei collettori, questi sono esposti al sole durante tutta la giornata e il calore raccolto **deve poter essere accumulato** dal bollitore solare senza che questo si surriscaldi.

*Esempio: un pannello ben orientato può raccogliere anche 5 kWh per metro quadrato, durante una giornata. Se si vuole limitare la temperatura dell'acqua a 60 °C, l'accumulo dovrà avere un volume minimo di 71 litri per ogni metro quadrato di collettore.*

# CONTABILIZZAZIONE

# ■ IN COSA CONSISTE E DA DOVE NASCE

L'obbligo consiste nella fatturazione individuale dei servizi di **riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento** in base ai consumi effettivi.

Perché?

**Responsabilizzare direttamente l'utente**, tramite la contabilizzazione e la fatturazione individuale dei consumi, senza utilizzo di coefficienti correttivi e rispettando la ripartizione in conformità alla norma UNI 10200.

La sola termoregolazione non è sufficiente: per esempio, un condomino che ha troppo caldo potrebbe aprire le finestre, anziché regolare le teste termostatiche!

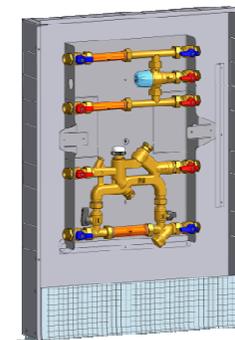
Se però si aggiunge la contabilizzazione, il condomino pagherà tutto quello che disperde dalla finestra e cercherà quindi di risparmiare.



# ■ COME FARE

Per fare un sistema di contabilizzazione occorrono:

- Apparecchiature di **misura** come:
  - Contacalorie diretti, ripartitori, altri sistemi consentiti da normativa...
  - Progettazione, installazione e collaudo del sistema;
- Un **criterio** di ripartizione;
- La **gestione** del sistema:
  - Lettura ed esecuzione di conteggi ordinari;
  - Manutenzione del sistema e gestione delle anomalie.



# ■ IL PRINCIPIO GENERALE



Determino il costo dell'**energia utile** all'**uscita** dal generatore [€/kWh]



Valuto il **prelievo involontario**, da ripartire in base a una proporzione fissa (a millesimi) di fabbisogno



Valuto il **prelievo volontario**, cioè l'energia erogata dai corpi scaldanti, da conteggiarsi in base al consumo

La **ripartizione** tra prelievo **volontario** e **involontario** può essere: misurata anno per anno o determinata con un calcolo di prestazione energetica nel progetto dell'impianto.

N.B: il principio illustrato **vale per la contabilizzazione indiretta**. Quella diretta funziona diversamente, determinando **prima** il consumo **volontario** e **poi** quello **involontario**.

# ■ CRITERI DI RIPARTIZIONE

1. **Quota riscaldamento e ACS a consumo**
  1. In base alle letture degli apparecchi di contabilizzazione
  2. Di competenza dell'occupante dell'unità immobiliare
  
2. **Quota riscaldamento e ACS a millesimi**
  1. In base alla tabella millesimale di riscaldamento / ACS
  2. Di competenza dell'occupante dell'unità immobiliare
  
3. **Ammortamenti degli impianti**
  1. In base alla tabella di proprietà
  2. Di competenza della proprietà



# ■ RIPARTIRE IL COSTO DELL'ENERGIA

1. determinare le spese totali  $C_{tot}$  per l'energia (combustibile energia elettrica)
2. determinare l'energia totale  $Q_u$
3. Calcolare il costo unitario dell'energia utile  $C_{tot}/Q_{u,tot}$
4. Ripartire l'energia utile tra:
  1. Riscaldamento
  2. Acqua calda sanitaria
5. Ripartire l'energia utile per il **riscaldamento** in:
  1. Consumi **volontari** per il riscaldamento
  2. Consumi **involontari** della rete di distribuzione
6. Ripartire l'energia utile per l'**acqua calda sanitaria** in:
  1. Consumi **volontari** per essa
  2. Consumi **involontari** per essa



# ■ CONTABILIZZAZIONE

La contabilizzazione dell'energia può essere effettuata in maniera:

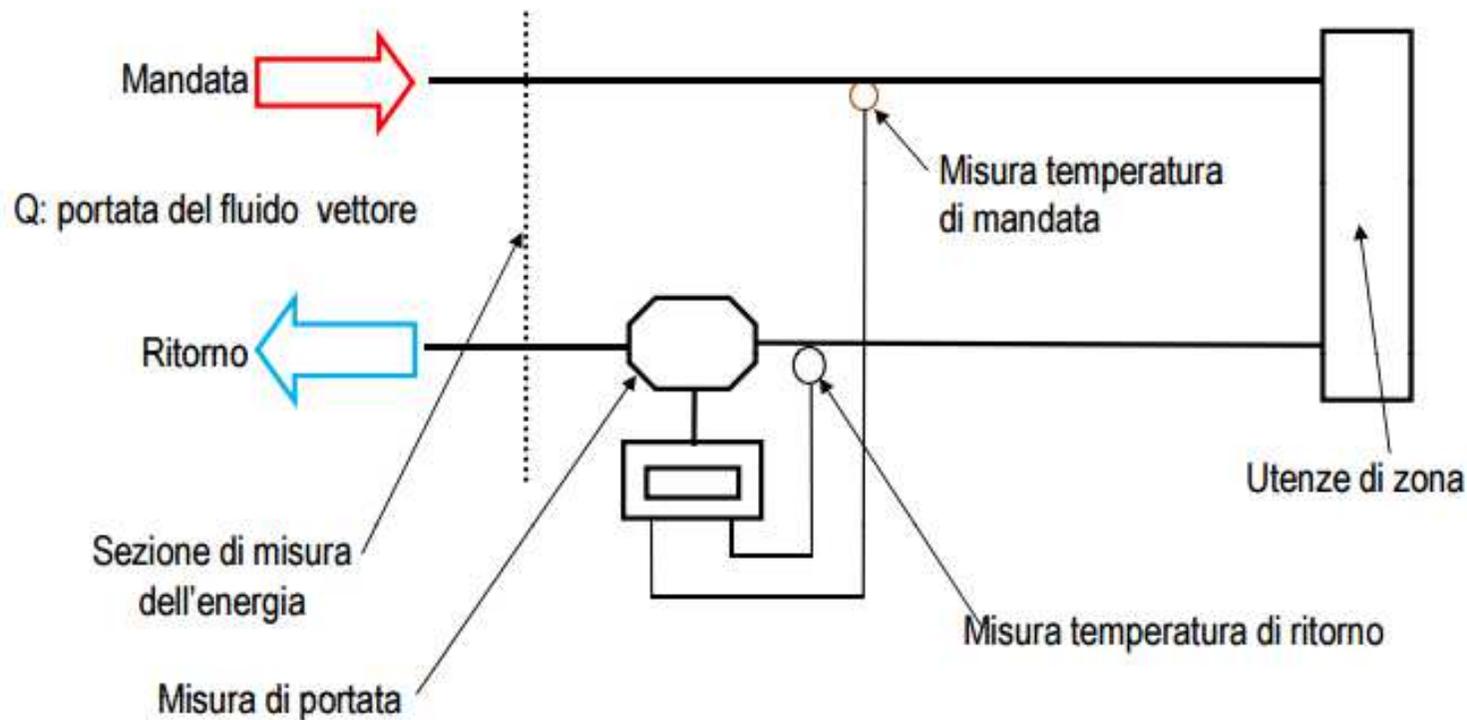
**DIRETTA:** basandosi sulla misura dell'energia termica **prelevata** da ogni utenza, attraverso la misura, **direttamente sul fluido termovettore**, di parametri atti a definire a differenza di entalpia tra l'ingresso e l'uscita del circuito utilizzatore;

**INDIRETTA:** basandosi sulla valutazione dell'energia **prelevata** dall'utenza tramite la misura di **parametri di proporzionalità** con l'emissione termica, nota la potenza termica nominale del corpo scaldante.

# ■ CONTABILIZZAZIONE DIRETTA

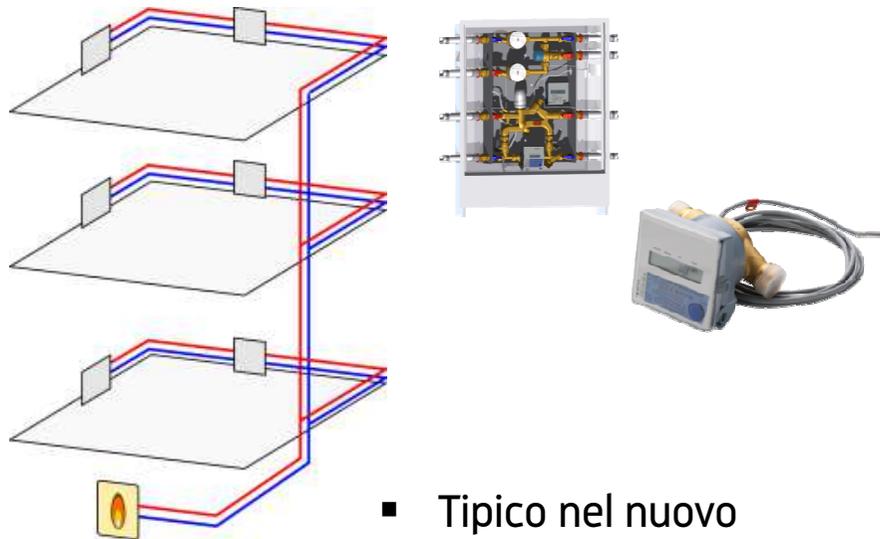
Consiste nella misura della **differenza** di entalpia del fluido termovettore **tra ingresso e uscita** del circuito utilizzatore.

È facilmente utilizzabile negli impianti caratterizzati da un **unico circuito** di alimentazione per ogni unità immobiliare.



# ■ QUANDO UTILIZZARLA

## Impianti a distribuzione **orizzontale**



- Tipico nel nuovo
- Contabilizzazione diretta

# ■ CONTATORI DI CALORE

I contatori di calore consistono in veri e propri **strumenti di misura** le cui caratteristiche sono soggette a normativa.

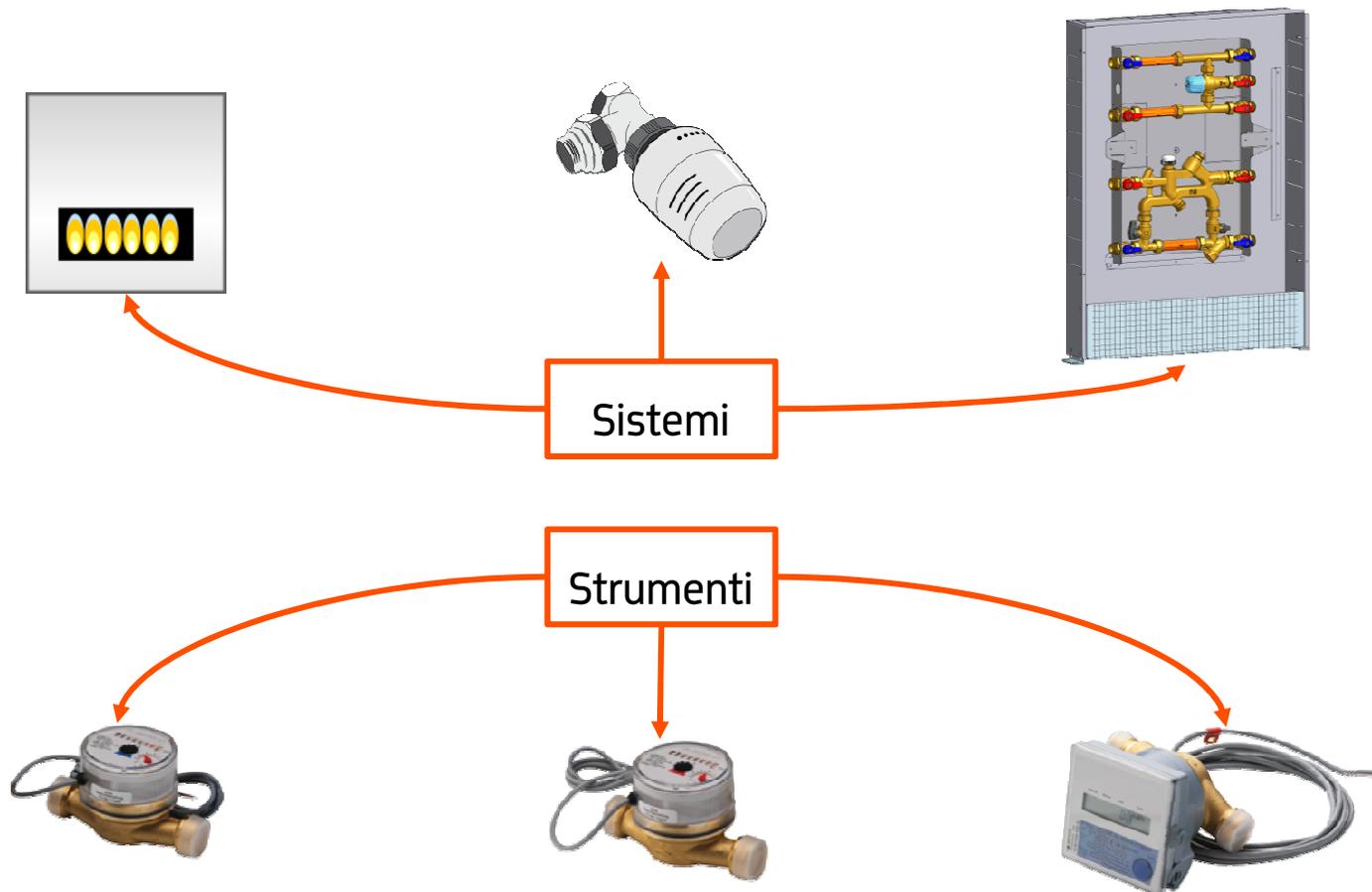
Gli **elementi** che costituiscono un contatore di calore sono:

- Sensore di portata, di tipo volumetrico o statico;
- Coppia di sensori di temperatura;
- Unità di calcolo;
- Eventuale interfaccia per il trasferimento dei dati.

Possono trovarsi sistemi **compatti**, dove gli elementi costitutivi sono tutti raggruppati in un unico apparecchio, o strumenti **combinati** dove gli elementi costitutivi sono forniti separatamente per essere montati e collegati direttamente sull'impianto.

# ■ SISTEMI DI MISURA E DI CONTROLLO

La contabilizzazione diretta si appoggia sull'utilizzo di **sistemi di controllo** e **strumenti di misura**.



# ■ DIRETTA E INDIRETTA

Ma se la contabilizzazione diretta risulta essere poco vantaggiosa...

# ■ CONTABILIZZAZIONE INDIRETTA

È necessario conoscere la **potenza termica nominale** del corpo scaldante e, in base alle sue condizioni di funzionamento, la sua emissione termica.

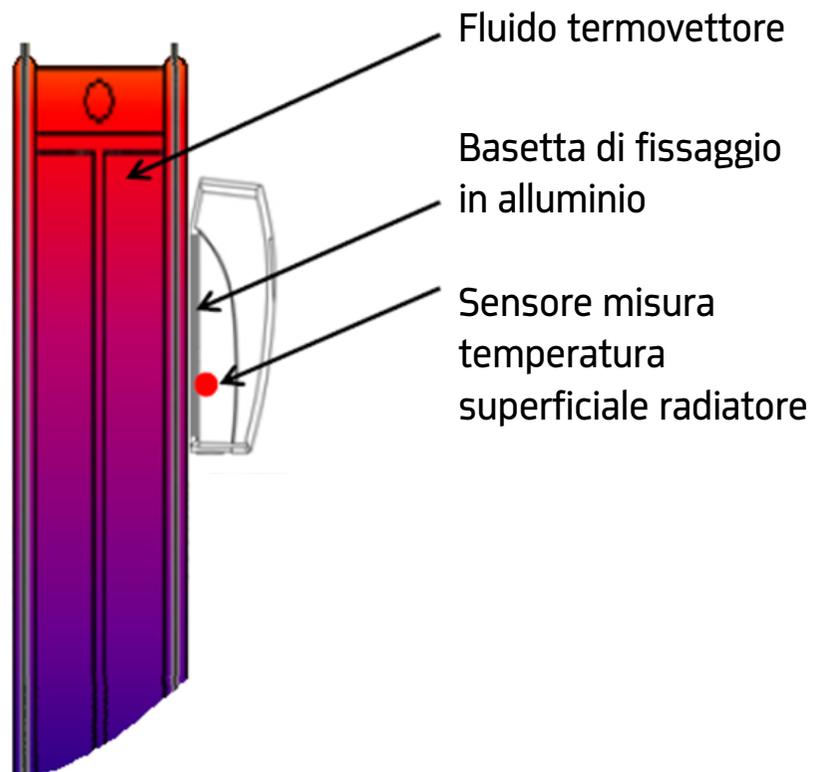
La contabilizzazione indiretta viene usata principalmente negli impianti a distribuzione «**verticale**» a colonne montanti, ponendo un ripartitore su ogni corpo scaldante.



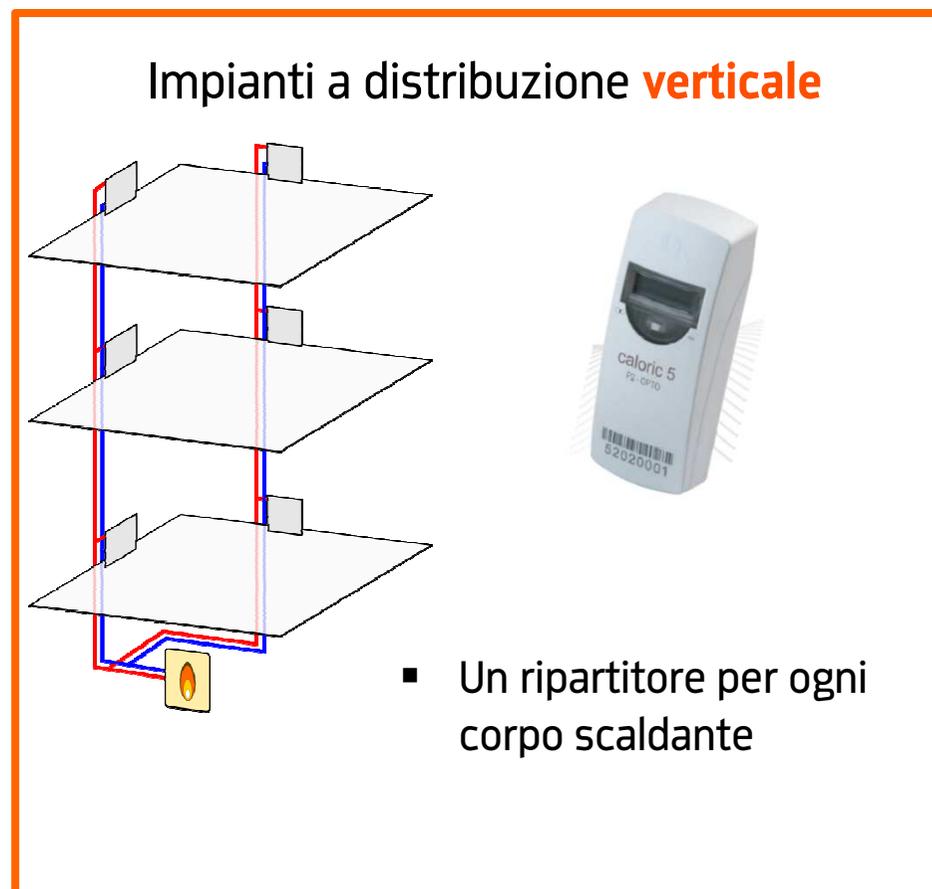
Il ripartitore posto sul corpo scaldante fornisce delle unità di ripartizione proporzionale all'energia erogata, che si sommano tra loro nel tempo. A fine stagione, la loro somma è proporzionale all'energia termica emessa nello stesso periodo.

È necessario **programmare i ripartitori** prima dell'installazione.

# ■ QUANDO UTILIZZARLA



Possono anche esserci ripartitori a **due sensori**, uno per la temperatura superficiale e uno per quella dell'ambiente...



# ■ ATTIVITÀ NECESSARIE

1. **Progetto** dell'impianto di contabilizzazione ad opera di un tecnico abilitato alla progettazione degli impianti termici;
2. **Montaggio** di valvole e detentori da parte di un installatore idraulico qualificato;
3. **Programmazione** dei ripartitori;
4. **Installazione** dei ripartitori sotto la supervisione del progettista;
5. Montaggio delle **teste termostatiche**;
6. **Lettura** dei **contatori** (via radio o locale);
7. **Ripartizione** delle **spese** secondo norma UNI 10200.

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

**GOOD  
IDEAS**