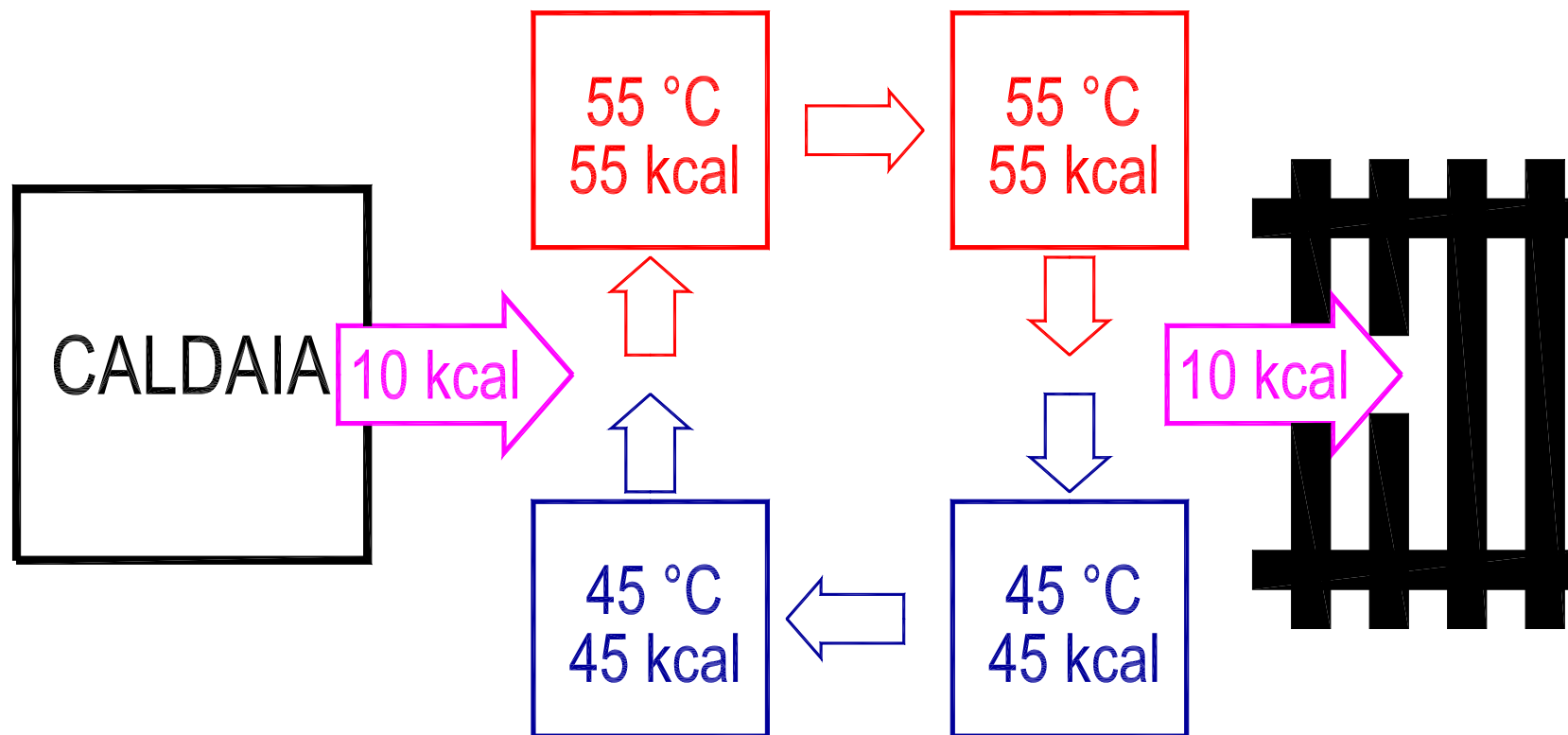


**REVIS DAYS**  
*12-13 giugno 2026*

## **Idraulica e pompe di calore**

**Ing. Laurent Socal**  
*Presidente Anta – Associazione Nazionale Termotecnici e Aerotecnici*



Per trasportare il calore dal generatore di calore ai corpi scaldanti occorre “caricarlo” su un «fluido termovettore».

Ogni litro di acqua, ad ogni giro dell’impianto trasporta una quantità di calore proporzionale alla differenza di temperatura fra mandata e ritorno

## **NELLA GIUSTA QUANTITÀ A CIASCUN TERMINALE**

- 1. Dimensionamento: devo poter trasmettere abbastanza calore (potenza)*
- 2. Bilanciamento: deve arrivare dove richiesto*
- 3. Regolazione: ne deve arrivare quanto richiesto*

## **AL MOMENTO GIUSTO**

- È parte della regolazione*

## **...SENZA PERDERNE TROPPO PER STRADA...**

- Coibentazione delle tubazioni ma anche scelta del circuito idraulico*

## **... E CONSUMANDO MENO ENERGIA AUSILIARIA POSSIBILE...**

- Selezione del circuito idraulico e delle modalità di regolazione*

Si può fare tutto questo contemporaneamente senza aggrovigliarsi in impianti complicati e sofisticati?

$$\text{Potenza} = \text{Portata} \times \Delta t \times C_p$$

$$\text{Portata} = \frac{\text{Potenza}}{\Delta t \times C_p}$$

$$\Delta t = \frac{\text{Potenza}}{\text{Portata} \times C_p}$$

$\Delta T$  è una scelta progettuale

Valore di  $C_p$

W l/h



1,16 Wh/l°C

kW m<sup>3</sup>/h



1,16 kWh/m<sup>3</sup> °C

$$\frac{1000W}{5^{\circ}C \times 1,16 Wh/l^{\circ}C} = 164,4l/h$$

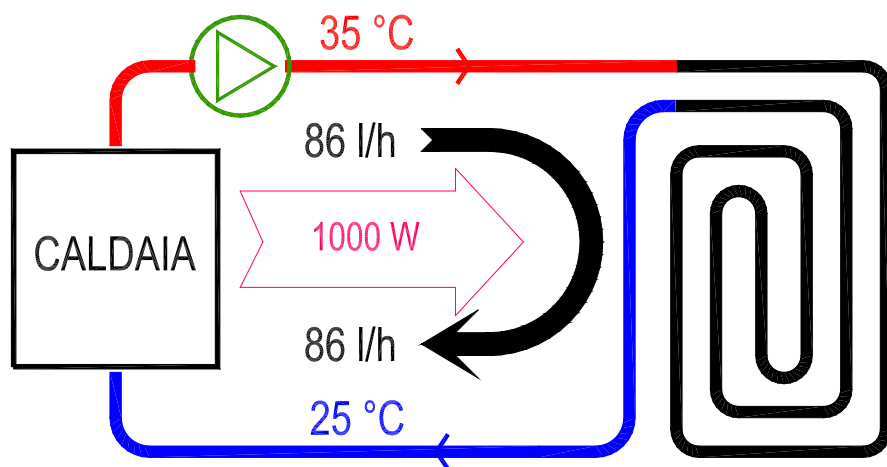
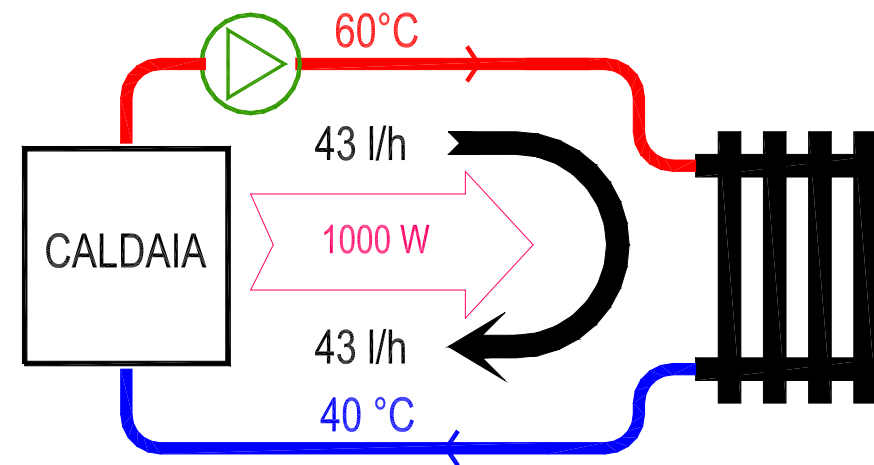
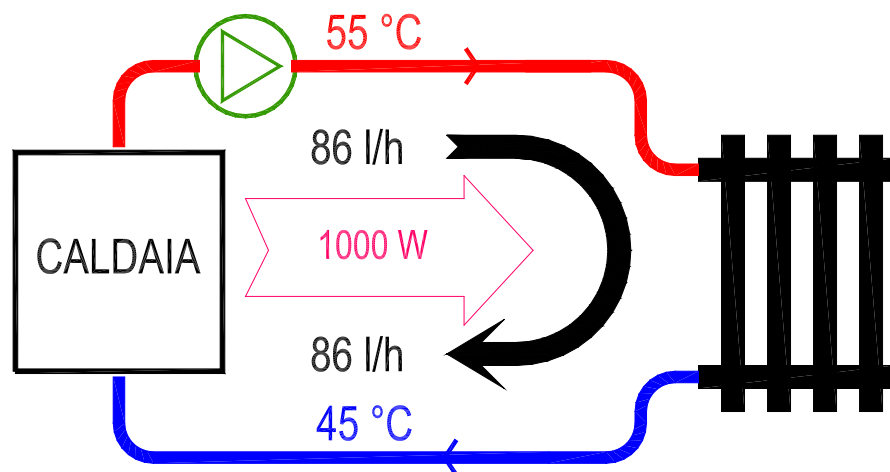
Pannelli

$$\frac{1000W}{10^{\circ}C \times 1,16 Wh/l^{\circ}C} = 82,2l/h$$

Ventilconvettori  
Radiatori

$$\frac{1000W}{20^{\circ}C \times 1,16 Wh/l^{\circ}C} = 41,1l/h$$

Radiatori con  
termostatiche



Quello che conta, ai fini del trasporto del calore nella rete di distribuzione non è la temperatura media dell'impianto ma la **differenza di temperatura** fra mandata e ritorno

La **temperatura media** influenza l'erogazione di calore da parte dei corpi scaldanti

## LATO ACQUA

**Potenza termica**  
Valore nominale = 1000 W

## LATO ARIA

**Temperatura ambiente**  
Valore nominale = 20 °C

**Temperatura di mandata**  
Valore nominale = 80 °C

**Salto termico lato aria**  
Valore nominale = 50 °C  
**Controlla la potenza lato aria**

**Salto termico mandata/ritorno**  
Valore nominale = 20 °C  
**Insieme alla portata, controlla la potenza lato acqua**

**Portata**  
Valore nominale  
43 l/h

**Temperatura media del radiatore**  
Valore nominale = 70 °C

**Temperatura di ritorno**  
Valore nominale = 60 °C

1000 W

*I «dati nominali» servono solo a dire «quanto grande è il radiatore».*

## Potenza = Portata x salto termico

In un impianto notate che le temperature di mandata e ritorno sono molto simili. **Cosa vuol dire?**

In un impianto notate che le temperature di mandata e ritorno sono molto diverse. **Cosa vuol dire?**

- La **quantità di acqua  $V$**  si misura in kg (massa) o litri (volume)  
→ nei circuiti idraulici possiamo confonderli  
*(finché non dobbiamo pensare alla dilatazione... vaso espansione)*
- La **portata di acqua  $V'$**  è la quantità di acqua che passa in una unità di tempo  
→ litri/ ora ... m<sup>3</sup>/ora  
... l/min ... l/s ...

**1...4 l/min**  
**60...240 l/h**



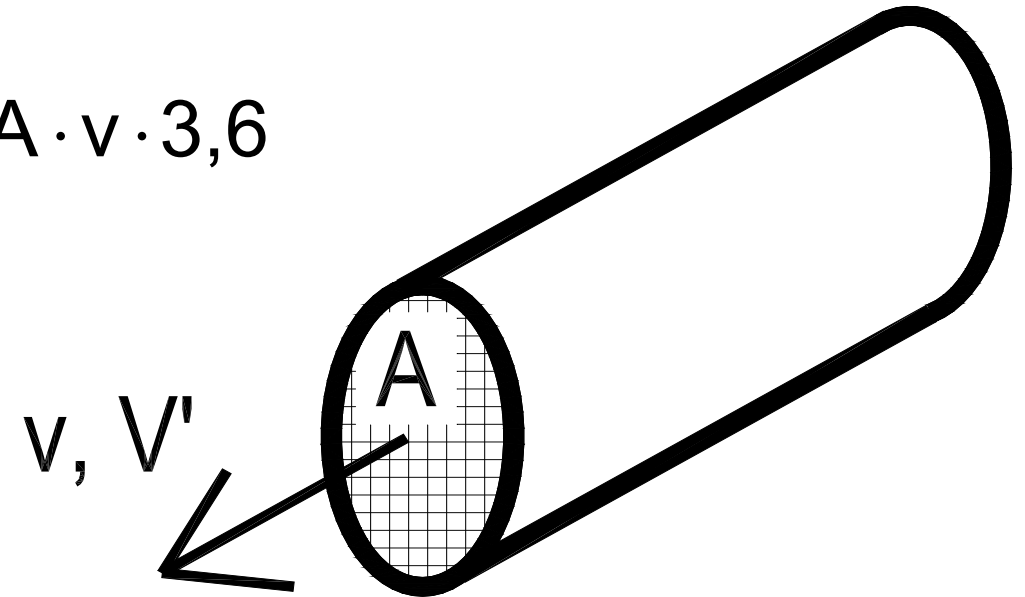
	Portata			
	m <sup>3</sup> /h	l/h	l/min	l/s
<b>SANITARI</b>				
Rubinetto vasca da bagno	0,72	720	12,0	0.2
Doccia	0,54	540	9,0	0.15
Rubinetto lavabo	0,36	360	6,0	0.1
<b>CIRCOLAZIONE NEGLI IMPIANTI</b>				
1 radiatore da 500 W, $\Delta\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,02	22	0,36	0,006
1 radiatore da 3000 W, $\Delta\theta = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,26	259	4,31	0,072
1 pannello da 1 kW, $\Delta\theta = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,11	108	1,80	0,030
1 unità immobiliare, 10 kW, $\Delta\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	0,43	431	7,2	0,120
1 unità immobiliare, 10 kW, $\Delta\theta = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,08	1.078	18,0	0,30
12 unità immobiliari, 100 kW, $\Delta\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	4,31	4.310	71,8	1,20
24 unità immobiliari, 200 kW, $\Delta\theta = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	17,24	17.241	287	4,79

- $A$  [mm<sup>2</sup>] = area della sezione interna
- $v$  [m/s] = velocità
- $V'$  [l/h] = portata

$$A = \frac{V'}{v \cdot 3,60}$$

$$v = \frac{V'}{A \cdot 3,60}$$

$$V' = A \cdot v \cdot 3,6$$



Diametro interno 10 mm  
Portata 43 l/h

$$\longrightarrow v = \frac{43 \text{ l/h}}{80 \text{ mm}^2 \cdot 3,6} = 0,15 \text{ m/s}$$

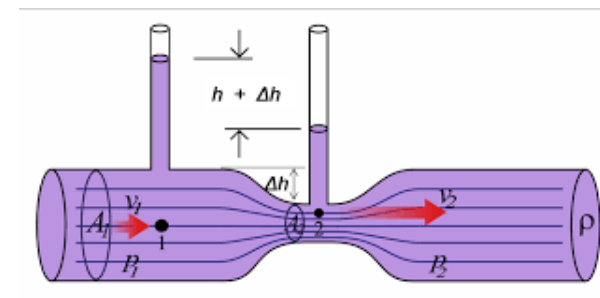
Descrizione	m/s
Acqua, tubazioni principali in acciaio	0,5...2,0 (max 2,5)
Acqua, tubazioni secondarie	0,2...1,2 (max 1,5)
Acqua, tubazioni in rame	0,2...0,8 (max 1,0)
Condotte d'aria principali di climatizzazione in cavedi	3...5
Condotte d'aria di distribuzione al piano	2...3
Griglie di ripresa ed espulsione	1,0...2,5
Condotte di gas	10...20 (max 30)
Vapore	20...40 (max 60)
Fumi in camini a tiraggio naturale	3...10
Condotti scarico fumi	10...15 (max 20)

Tubo	Diametro esterno	Spessore	Diametro interno	Area sezione	Velocità acqua	Portata	Portata	Potenza $\Delta T$ 5°C	Potenza $\Delta T$ 10°C	Potenza $\Delta T$ 20°C
	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	m/s	l/h	l/s	kW	kW	kW
<b>10 x 1</b>	10	1,0	8	0,50	<b>0,5</b>	90	0,03	0,5	1,0	2,1
<b>12 x 1</b>	12	1,0	10	0,79	<b>0,5</b>	141	0,04	0,8	1,6	3,3
<b>16 x 1</b>	16	1,0	14	1,54	<b>0,5</b>	277	0,08	1,6	3,2	6,4
<b>18 x 1,5</b>	18	1,5	15	1,77	<b>0,5</b>	318	0,09	1,8	3,7	7,4
<b>22 x 1,5</b>	22	1,5	19	2,84	<b>0,5</b>	510	0,14	3,0	5,9	11,8
<b>28 x 1,5</b>	28	1,5	25	4,91	<b>0,5</b>	884	0,25	5,1	10,2	20,5
<b>DN 15</b>	21,3	2,35	16,6	2,16	<b>0,5</b>	390	0,11	2,3	4,5	9,0
<b>DN 20</b>	26,9	2,35	22,2	3,87	<b>0,5</b>	697	0,19	4,0	8,1	16,2
<b>DN 25</b>	33,7	2,9	27,9	6,11	<b>0,65</b>	1.431	0,40	8,3	16,6	33,2
<b>DN 32</b>	42,4	2,9	36,6	10,5	<b>0,75</b>	2.841	0,79	16,5	33,0	65,9
<b>DN 40</b>	48,3	2,9	42,5	14,2	<b>0,8</b>	4.086	1,1	23,7	47,4	94,8
<b>DN 50</b>	60,3	3,25	53,8	22,7	<b>1,0</b>	8.184	2,3	47,5	94,9	189,9
<b>DN 65</b>	76,1	3,25	69,6	38,0	<b>1,2</b>	16.435	4,6	95,3	190,7	381,3
<b>DN 80</b>	88,3	3,25	81,8	52,6	<b>1,3</b>	24.594	6,8	142,6	285,3	570,6
<b>DN 100</b>	115	3,25	108,5	92,5	<b>1,5</b>	49.926	13,9	289,6	579,1	1.158,3
<b>DN 150</b>	165	3,25	158,5	197,3	<b>1,9</b>	134.956	37,5	782,7	1.565,5	3.131,0
<b>DN 200</b>	215	3,25	208,5	341,4	<b>2,2</b>	270.405	75,1	1.568,3	3.136,7	6.273,4

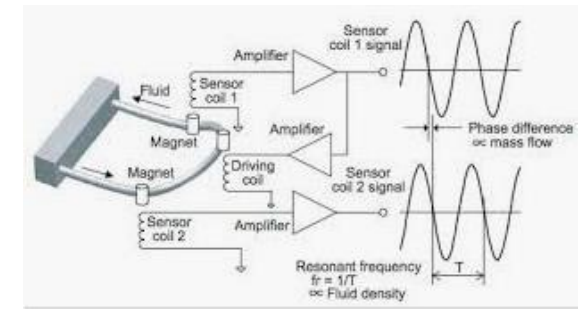
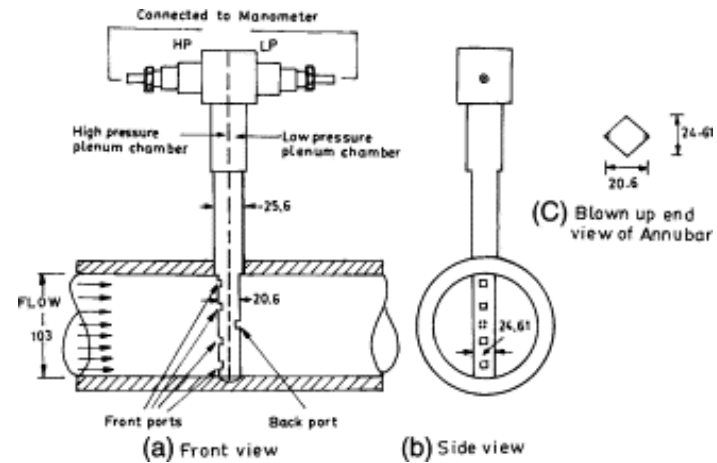
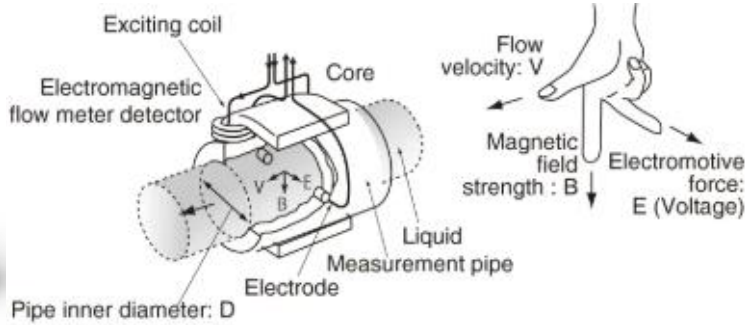
- Contaltri a turbina
- Ultrasuoni transito / doppler
- Ultrasuoni esterno
- Flussimetri pannelli (rotametro)
- Pompe elettroniche
- Valvole di bilanciamento
- Tronchetto misura portata INAIL



**Leggiamoli!**

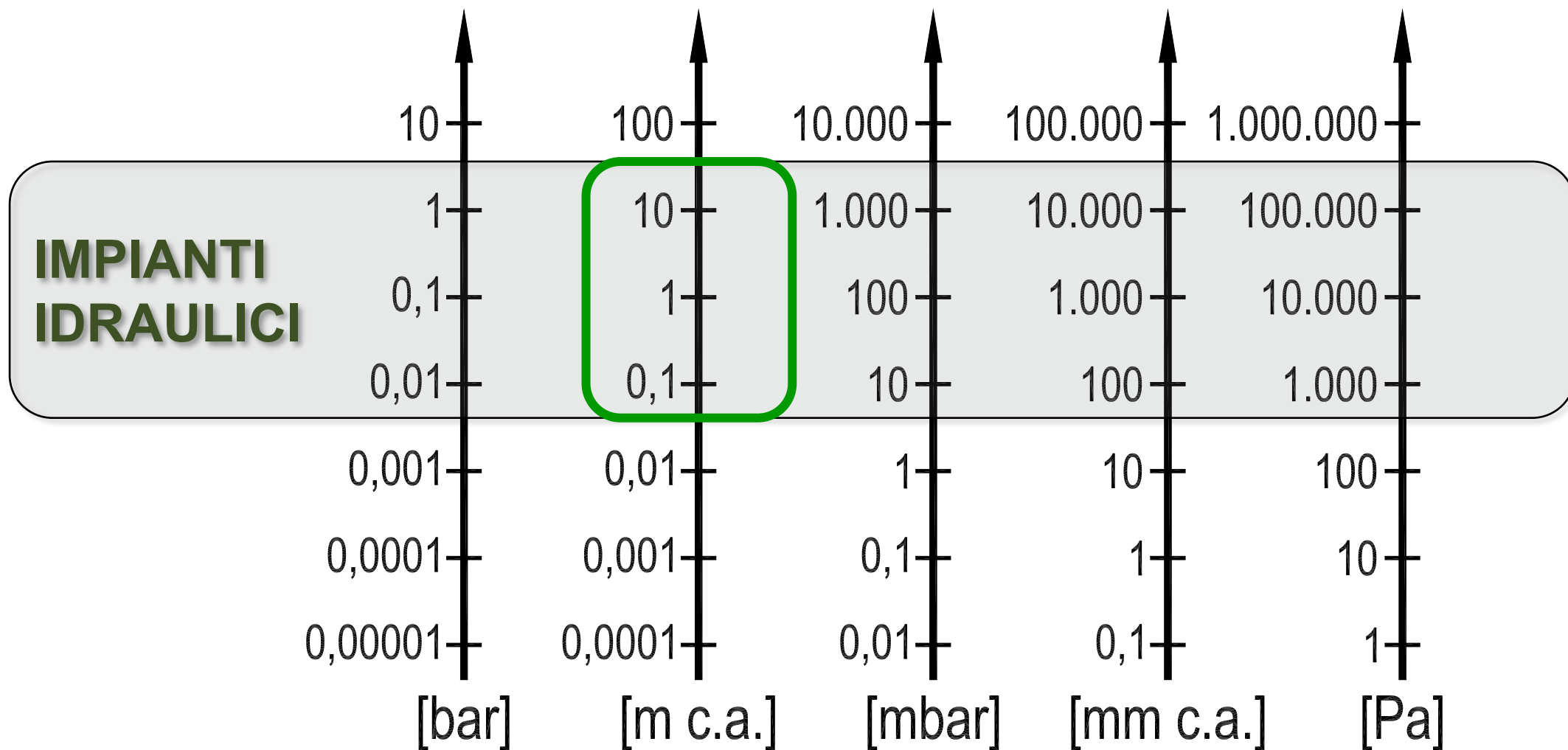


- Vortex
- Flange tarate
- Coriolis
- Magnetico
- Annubar

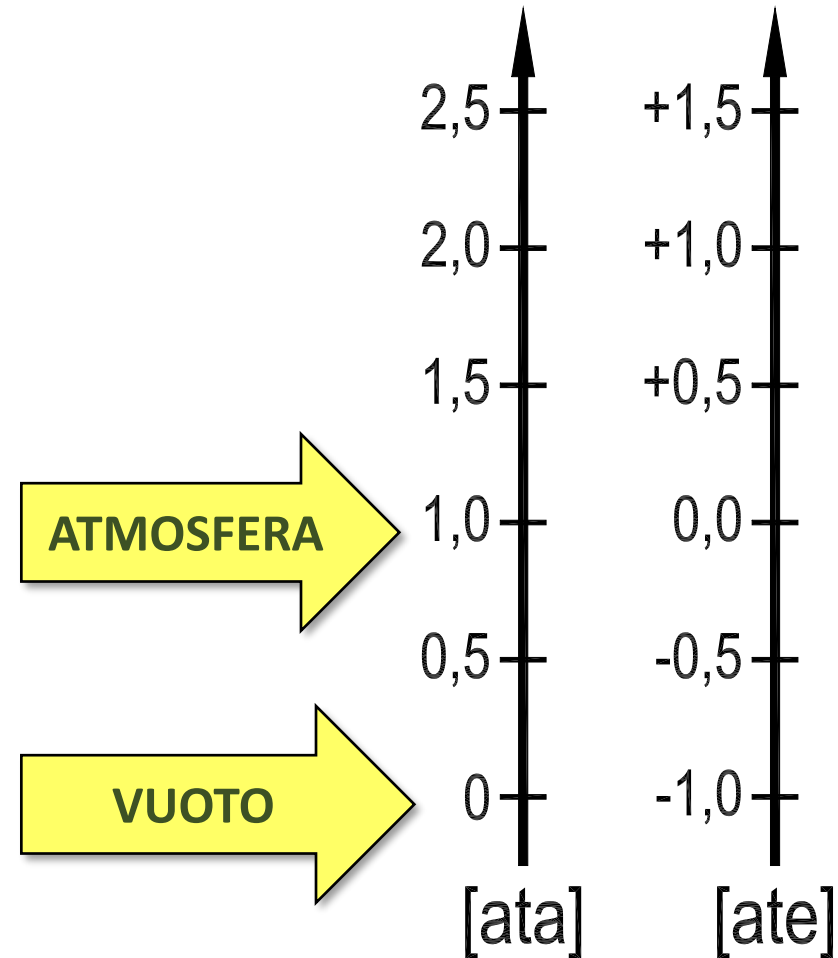


- **Definizione:** La **pressione** è una **forza** per **unità di superficie**
- **Unità di misura ufficiale:**  $[N/m^2] = \text{Pascal [Pa]}$
- Sono in uso molte **unità tecniche**, fra cui
  - $1 \text{ bar} \approx 1 \text{ kg/cm}^2 \approx 100.000 \text{ Pascal} = 0,1 \text{ MPa}$
  - **1 m c.a.  $\approx 0,1 \text{ bar}$**
  - $1 \text{ mm. c.a.} \approx 10 \text{ Pascal}$
  - $1 \text{ mbar} \approx 100 \text{ Pascal}$  (per cui  $1 \text{ mbar} \approx 1 \text{ hPa}$ )
- La pressione agisce sempre in direzione perpendicolare alla superficie del recipiente
- La **forza** è data da **pressione x area**

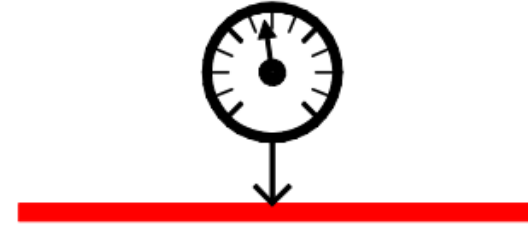




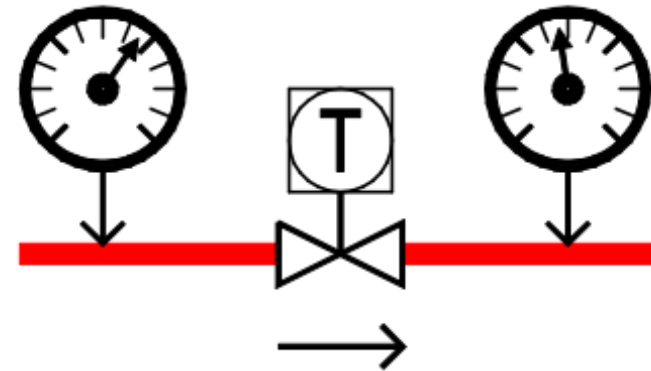
- Pressione **assoluta**: lo zero è il vuoto.  
Veniva indicata con [ata] per distinguerla da [ate] (pressione relativa)
- Pressione **differenziale**: è la differenza di pressione fra due punti
- Pressione **relativa**: lo zero è la pressione atmosferica.  
Veniva indicata con [ate].  
È anche la pressione differenziale rispetto ad un punto a pressione atmosferica.



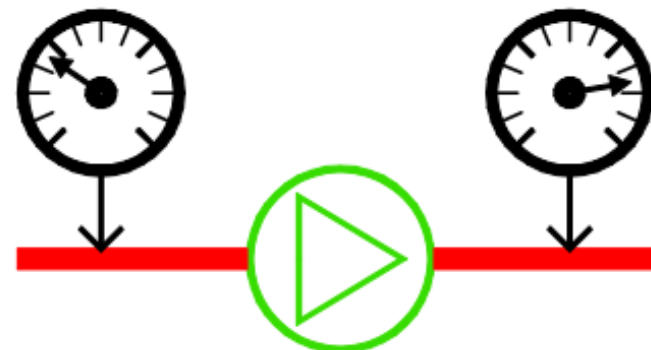
- **Pressione** →  
misurata in un punto

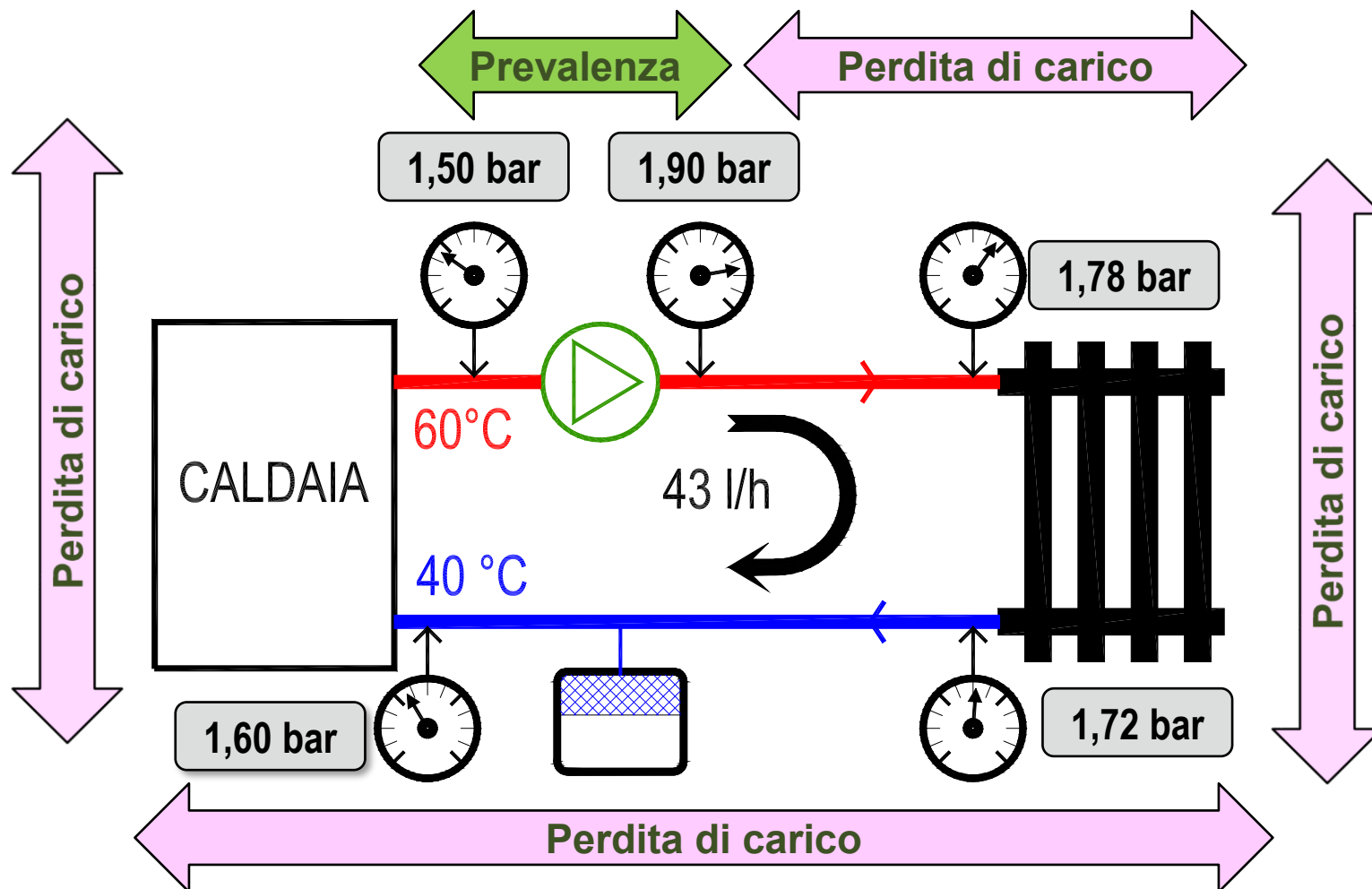


- **Perdita di carico** →  
differenza di pressione a causa dell'attrito fra  
acqua e tubazioni  
*Forza resistente*



- **Prevalenza** →  
aumento di pressione fornito dalla pompa  
*Forza motrice*



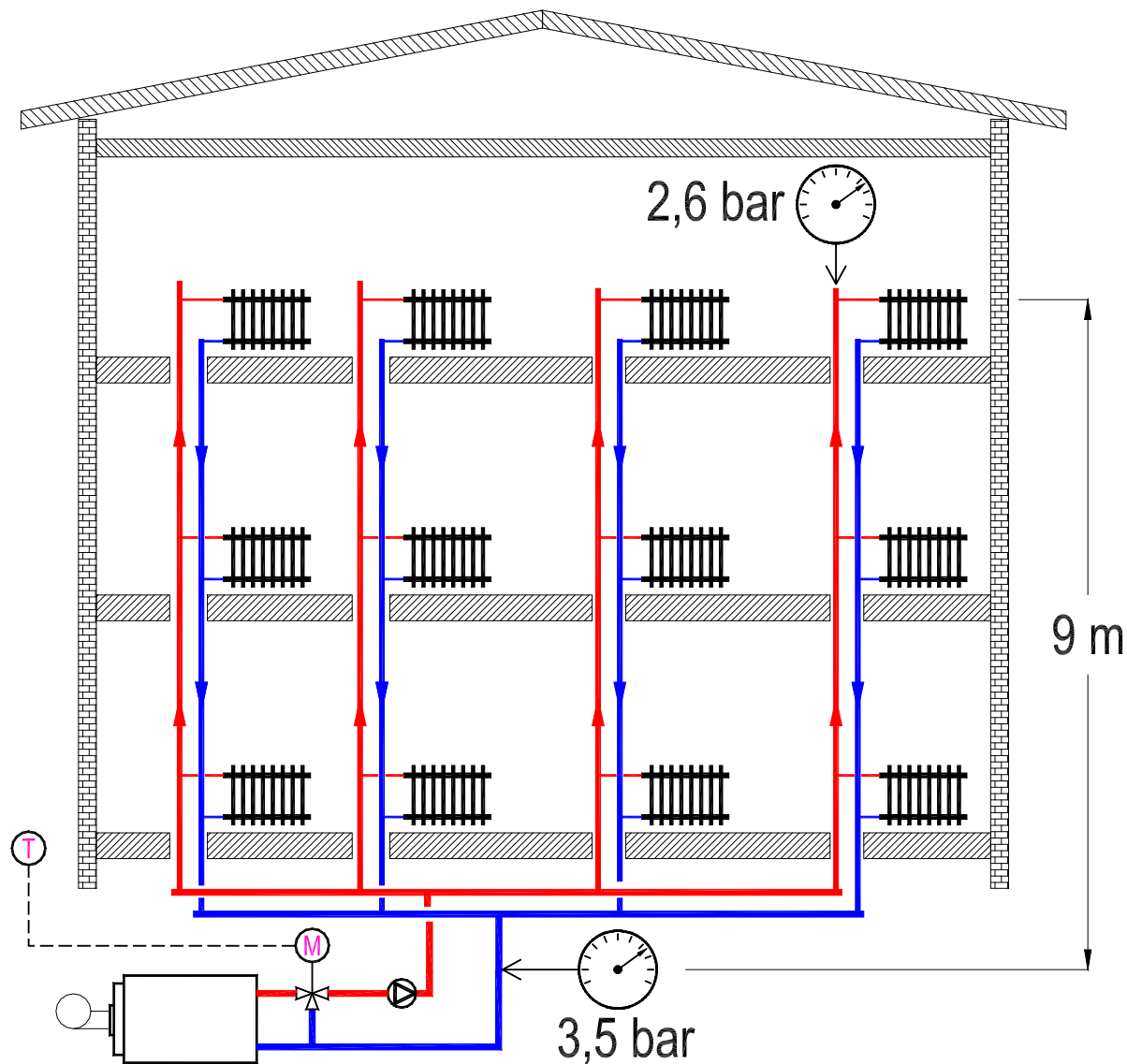


La pompa «spinge» l'acqua aumentandone la pressione .

Le tubazioni e tutte le apparecchiature oppongono resistenza alla circolazione dell'acqua e ne diminuiscono la pressione

Il livello di pressione dipende dalla carica del vaso.

Per far girare l'acqua in un circuito occorre una spinta (prevalenza) sufficiente per vincere le resistenze (perdite di carico di tubazioni ed apparecchi)

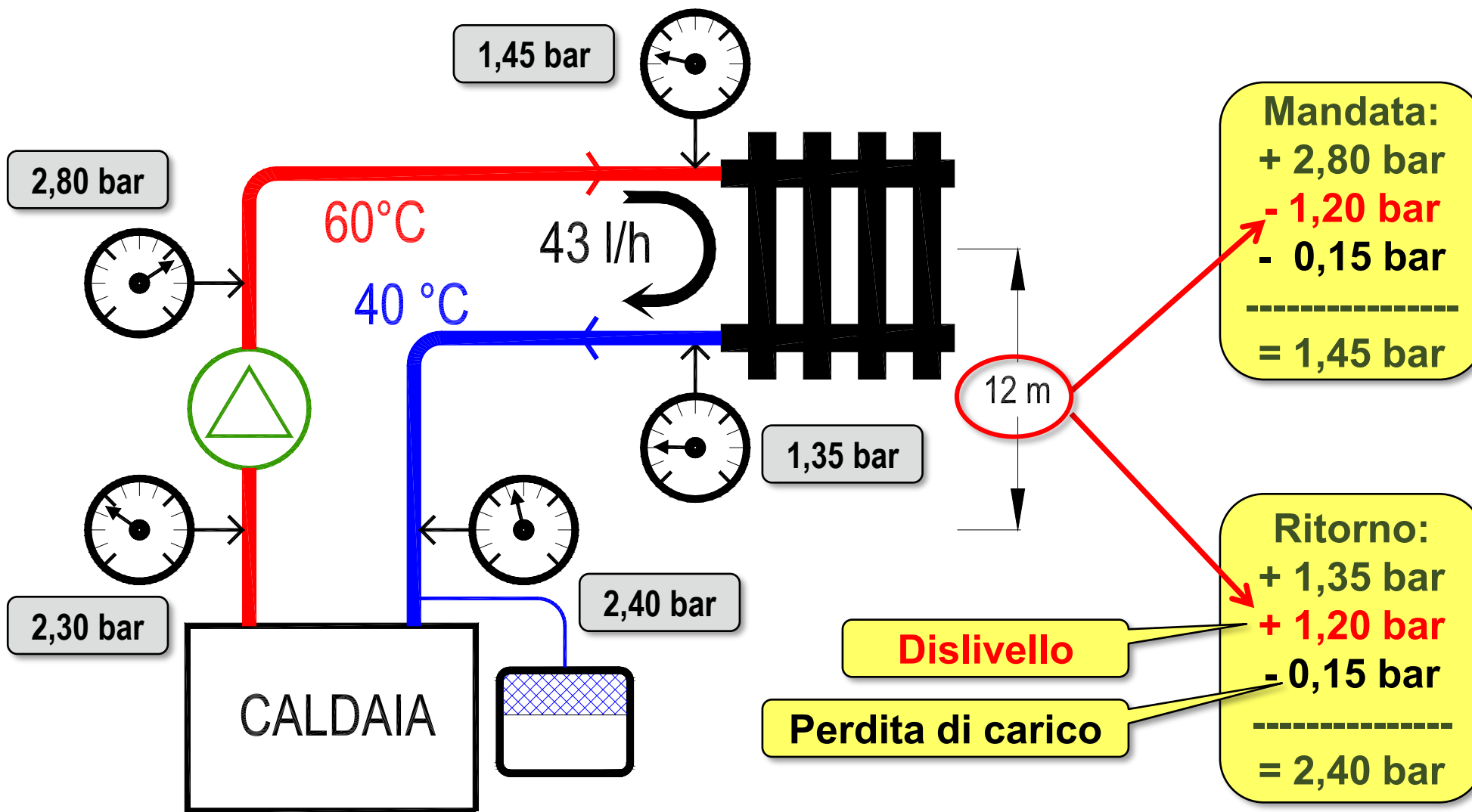


**In un impianto, la pressione diminuisce con la quota**

**10 m  $\rightarrow$  1 bar**

**Quando si misura la pressione di un impianto si deve sempre indicare la quota.**

**Pressione di collaudo...  
... a quale quota?**



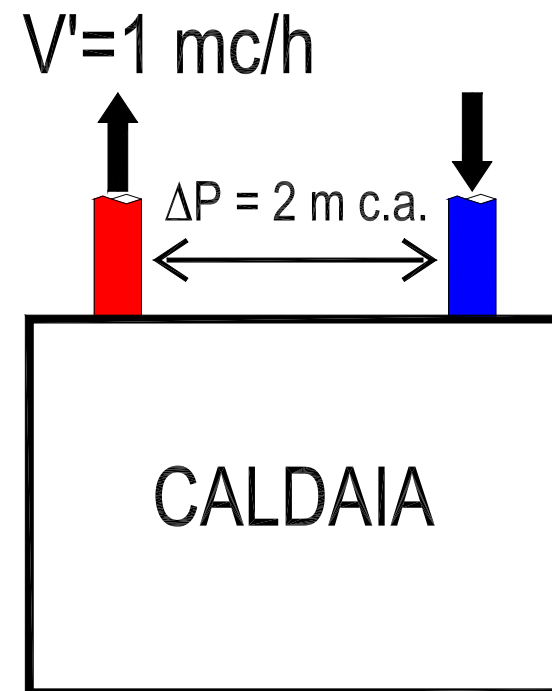
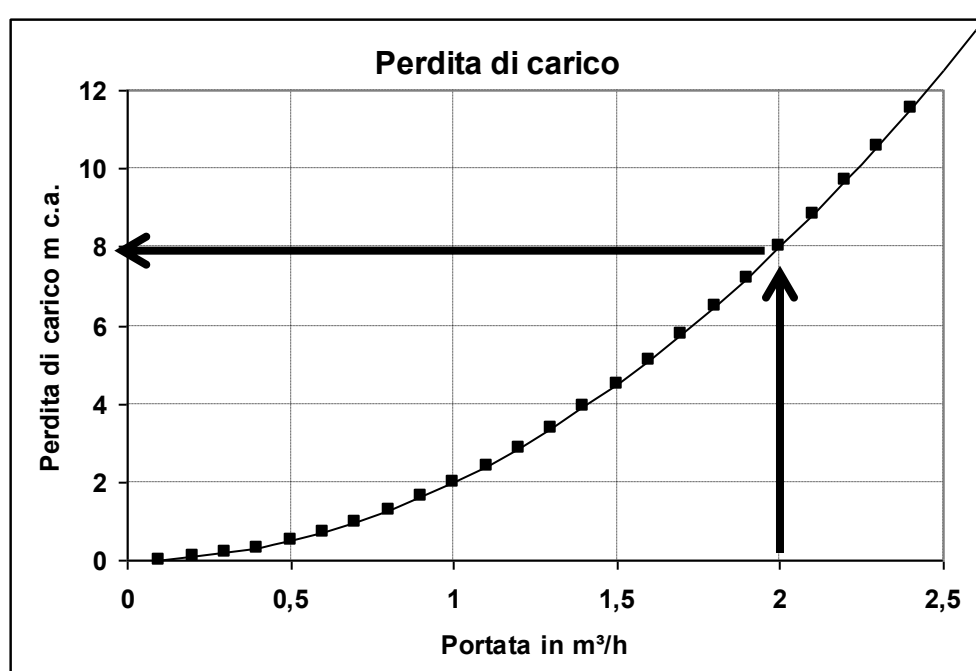
**Mandata:**  
 + 2,80 bar  
 - 1,20 bar  
 - 0,15 bar  
 -----  
 = 1,45 bar

**Ritorno:**  
 + 1,35 bar  
 + 1,20 bar  
 - 0,15 bar  
 -----  
 = 2,40 bar

In un circuito chiuso, gli effetti dei dislivelli su mandata e ritorno si compensano...

*... finchè l'impianto è completamente pieno di acqua!*

## Le perdite di carico dipendono dal **quadrato** della portata

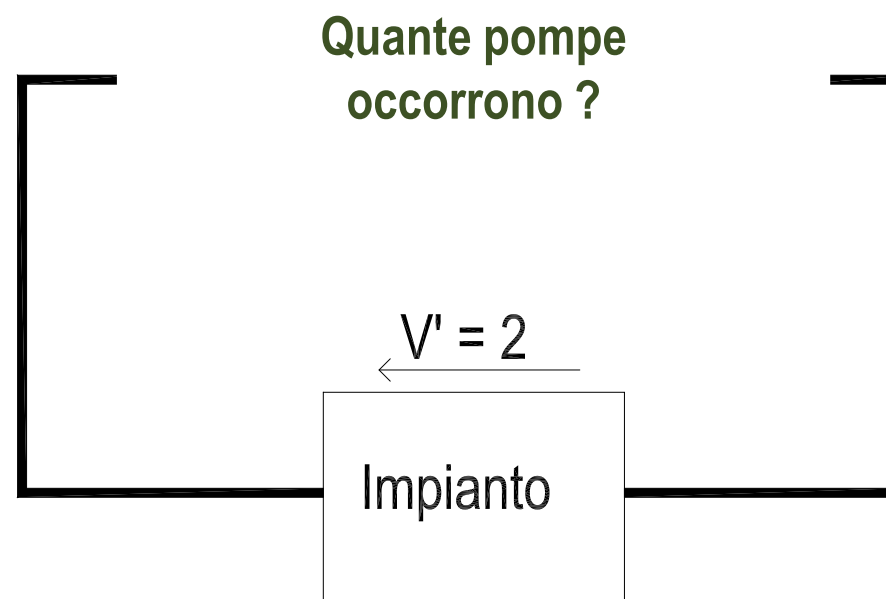
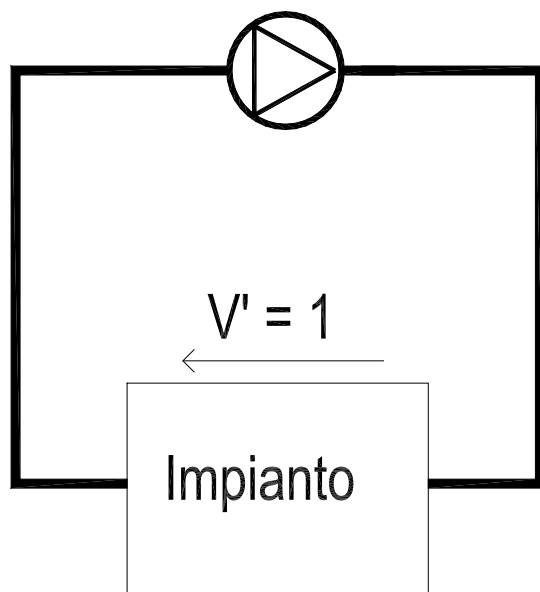


## Le perdite di carico dipendono dal **quadrato** della portata

- **Non è possibile aumentare molto la portata**  
in una tubazione troppo stretta
- **Se si riduce la portata, le perdite di carico spariscono rapidamente**  
....  $1/3$  portata  $\rightarrow 1/9 \Delta P$
- **% variazione portata = % variazione prevalenza x 0,5**  
*Le variazioni di prevalenza disponibile hanno un effetto attenuato sulle portate*

Si vuole **raddoppiare** la portata in un impianto, a parità di condizioni.  
Il grossista ha solo un tipo di pompa.

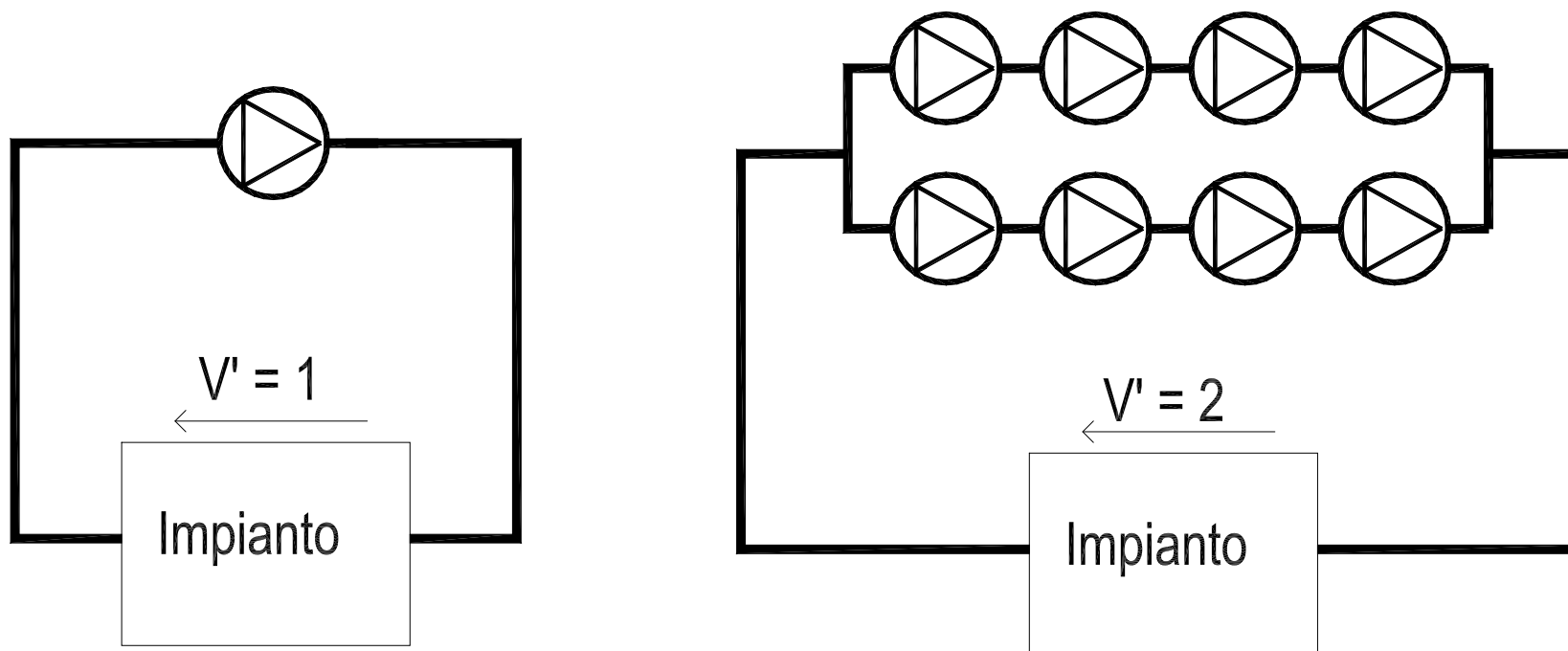
Quante pompe aggiuntive occorre comprare ?



La prevalenza richiesta è quadrupla: occorrono 4 pompe in serie...

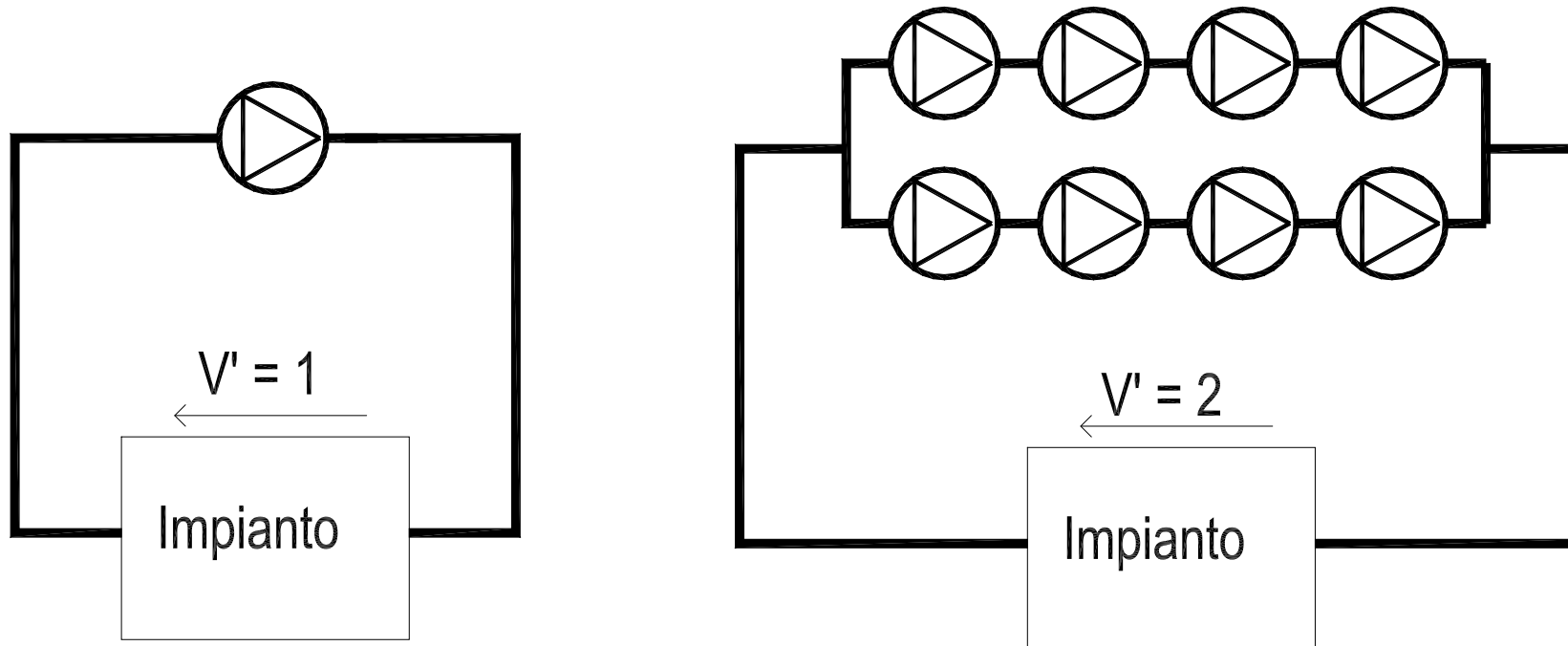
... ma ciascuna serie produce la portata originale: servono 2 serie di 4 pompe

... ma una pompa ce l'abbiamo già, **dobbiamo comprare 7 nuove pompe**



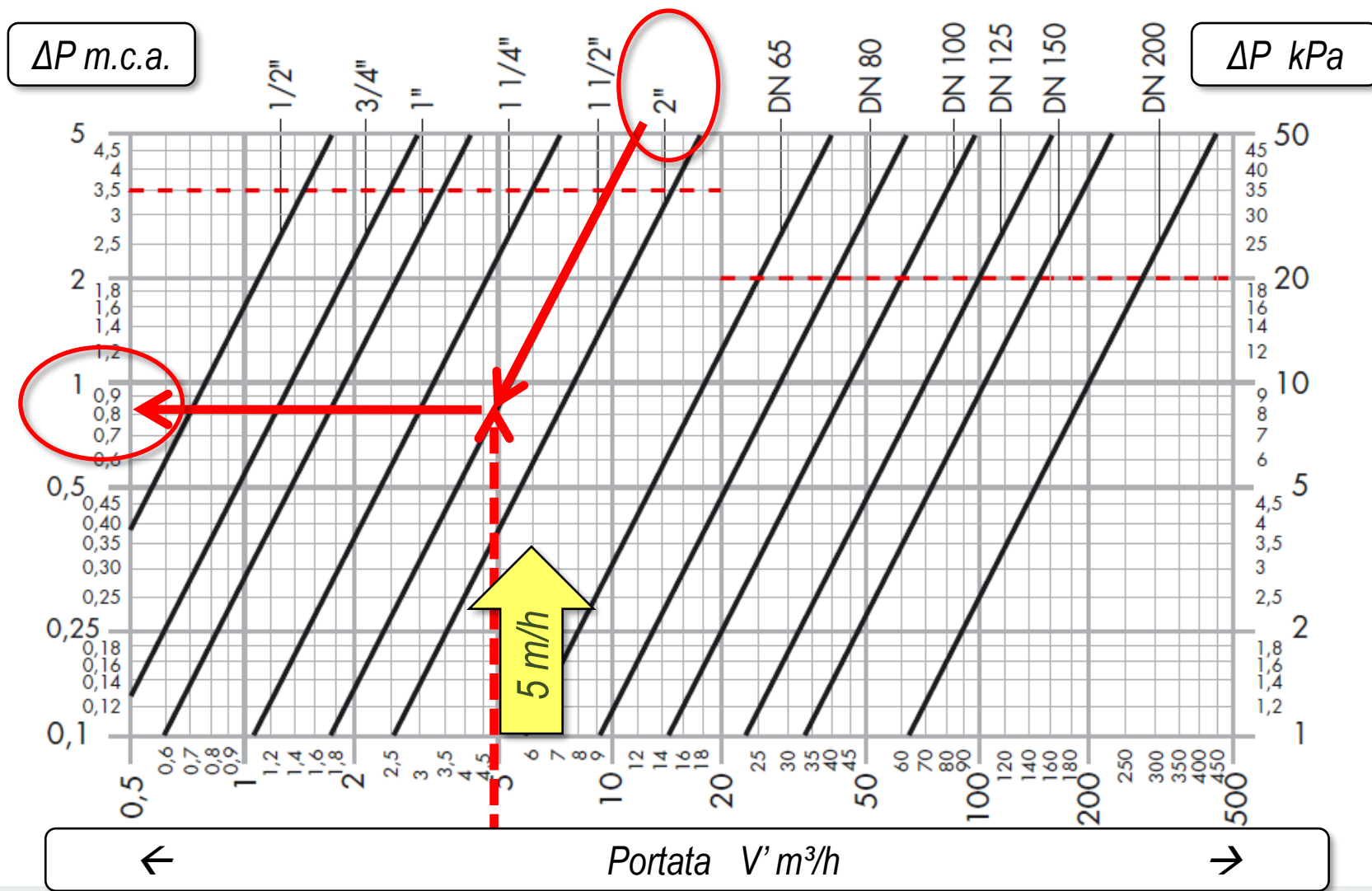
Ciò significa anche che raddoppiare la portata in un circuito moltiplica per 8 i consumi di energia elettrica...

... ma anche che dimezzare le portate fa risparmiare molta energia elettrica...

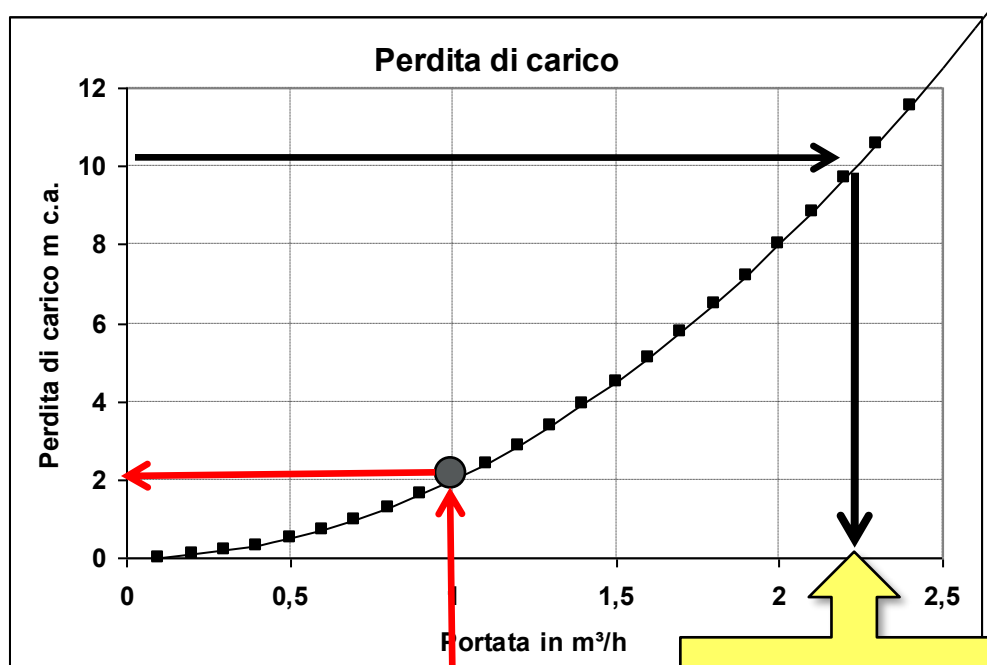


Contatore volumetrico + pozzetti per sonda (se attacco filettato)

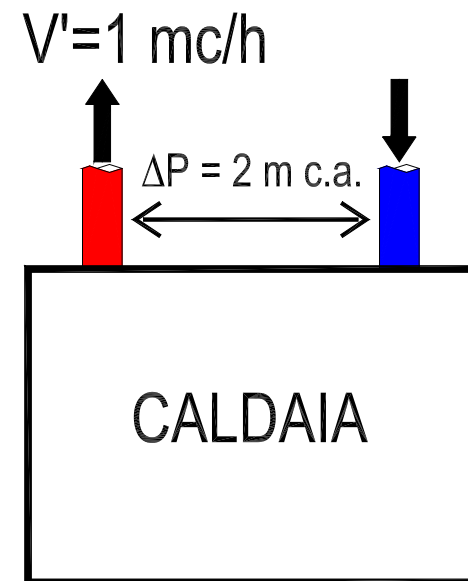
*Il costruttore del componente fornisce delle curve della perdita di carico in funzione della portata*



**$K_v \rightarrow$  è la portata con perdita di carico 1 bar**



$K_v = 2,25 \text{ m}^3/\text{h}$



$$\Delta P = 10 \cdot \left( \frac{V'}{K_v} \right)^2 = 10 \cdot \left( \frac{1 \text{ m}^3/\text{h}}{2,25 \text{ m}^3/\text{h}} \right)^2 = 2 \text{ m c.a.}$$

## Attenzione alle unità di misura:

- $\Delta P$  deve essere espresso in bar
- $Q$  nella stessa unità di Kv  
(m<sup>3</sup>/h, l/s, ...)

*Se misuriamo le perdite di carico in m c.a., vanno convertite*

$$Q = K_v \cdot \sqrt{\Delta P}$$

### Calcolo portata:

Applico  $\Delta P$  1,0 m c.a. ...

$$\rightarrow Q = 2,25 \times \sqrt{0,10} = 0,71 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$$

### Calcolo Kv:

1,0 m<sup>3</sup>/h con  $\Delta P$  2,0 m c.a. ...

$$\rightarrow K_v = 1 / \sqrt{0,2} = 2,25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta P = \left( \frac{Q}{K_v} \right)^2$$

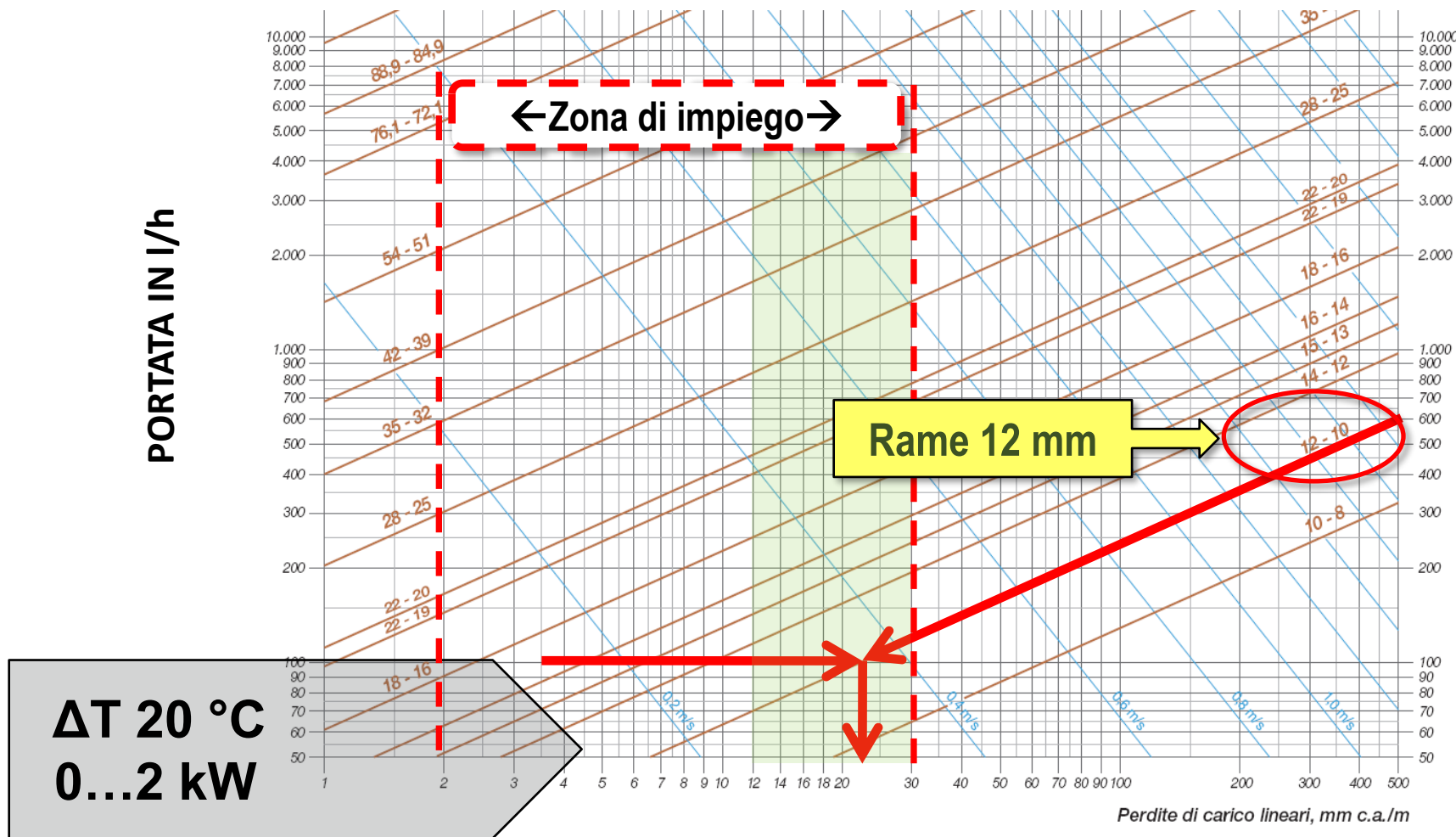
### Calcolo perdita di carico:

Vorrei far passare 1,5 m<sup>3</sup>/h ...

$$\rightarrow \Delta P = (1,5/2,25)^2 = 0,44 \text{ bar} = 4,44 \text{ m c.a.}$$

- Sono legate ai tratti di tubazione
- Esistono equazioni che tengono conto del moto laminare/turbolento.
- Normalmente siamo in regime turbolento ed utilizziamo abachi di calcolo
- Se il regime è turbolento, una volta definiti i tratti, ad ognuno di essi può essere associato un  $K_v$ .
- Per le accidentalità si può usare una «**lunghezza equivalente**»
- **Dimensionamento tipico nei circuiti degli impianti di riscaldamento: perdite di carico 20...30 mm c.a. al metro**





**ΔT 20 °C**  
**0...2 kW**

**RADIATORE DA 1000 W ... ΔT 20 °C ... 43 kg/h ...**  
**Tubo 12/10 → 0,2 m/s → 7 mm c.a./m**  
**50 + 50 metri di tubazione → Perdita di carico 0,7 m c.a.**

### Tubazioni

- Perdita di carico nei circuiti di riscaldamento e raffrescamento: 20 mm c.a. / metro
- 100 metri di tubazione → 2 m c.a.

### Accidentalità

- Perdita di carico tipica compresa nel range 1...2 m c.a.

### Eccezioni

- Alcuni scambiatori di calore (fino a 4...5 m c.a.)
- Componenti a perdita di carico trascurabile (caldaie elevato volume, compensatore, ...)

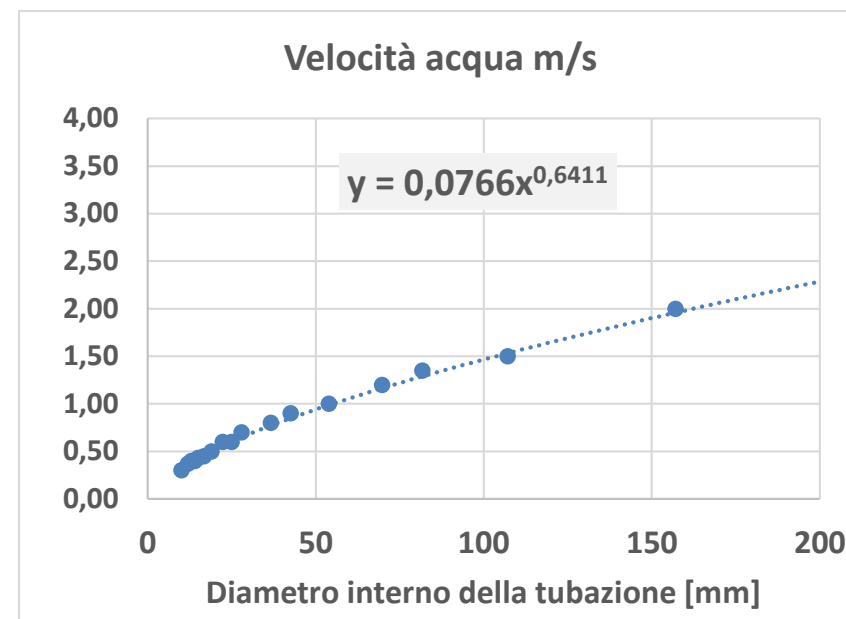
Dato di partenza: **potenza di dimensionamento** (calcolo del carico termico, esigenze di processo, ...)

+ **DT nominale mandata/ritorno** → portata

$$\text{Portata [l/h]} = \frac{\text{Potenza [W]}}{\Delta T [^{\circ}\text{C}] \times 1,16}$$

+ **Velocità** → area della sezione

$$\text{Areasezione [cm}^2\text{]} = \frac{\text{Portata [l/h]}}{\text{Velocità [m/s]} \cdot 360}$$



→ **Verifica delle perdite di carico** con i diametri scelti

→ Il percorso con le perdite di carico massime determina la prevalenza richiesta alla pompa

→ Negli altri percorsi occorre inserire delle valvole per (strozzature) per dissipare l'eccesso di prevalenza

## 1. Definire le esigenze

- Elenco portate massime delle utenze  
→ da potenza e salto termico
- Fattore di contemporaneità
- Pressione minima da garantire alle singole utenze (quota!)
- Tipo di funzionamento  
→ **Come modulare la potenza?**
- Altro: ricircolo

## 2. Definire i diametri delle tubazioni

- Reti corte: dimensionamento con le velocità massime, limitare utenze
- Reti lunghe: dimensionamento con le perdite di carico

## 3. Altre esigenze delle tubazioni:

- Materiale delle tubazioni  
→ usi sanitari, fluidi speciali (glicole!)
- Riempimento e svuotamento del circuito  
→ sfiato dell'aria, trascinamento, ...
- Coibentazione, protezione dal gelo
- Sezionamenti per manovra, manutenzione e misura
- Strumentazione  
→ pressione, misure portate, misure volumi, analisi fluido, ...
- Filtrazione del fluido  
→ in serie o in derivazione

- Il **dimensionamento** riguarda la **condizioni di progetto**, cioè quelle di massima potenza richiesta  
→ non succederà quasi mai...
  - **Tutti i giorni**, occorre far erogare all'impianto la potenza necessaria istante per istante... per questo occorrono:
    - **circuiti idraulici adeguati**
    - **un sistema di regolazione dell'emissione del calore**
- ... cosa succede a carico ridotto?**

Abbiamo il controllo reale su due soli parametri di ciascun corpo scaldante:

- **Temperatura di mandata dell'acqua** → **Circuiti**
- **Portata di acqua** → **Valvole di regolazione**

... di conseguenza nasce una temperatura di ritorno e quindi la potenza erogata dal corpo scaldante...

Ogni corpo scaldante deve soddisfare un'esigenza diversa →  
**idealmente si dovrebbe controllare la temperatura di mandata e la portata su ciascun corpo scaldante...**

**Per modulare la potenza emessa da un corpo scaldante si può agire su...**

**–Temperatura di mandata (di solito centralmente)**

- In funzione della temperatura esterna o della temperatura interna (raro)
- Con valvole miscelatrici o generatori a temperatura scorrevole

**–Portata (anche sul singolo corpo scaldante)**

- In funzione della temperatura interna (o del set-point aria)
- Con continuità, con valvole termostatiche e valvole a by-pass
- ON-OFF con valvole di zona (a 2 o 3 vie)

**–Scambio termico (solo sul singolo corpo scaldante)**

- In funzione della temperatura interna (o del set-point aria)
- Con attivazione di un ventilatore (ventilconvettori ed aerotermi)

**... o una loro combinazione ...**

**Non basta  
dimensionare...**

- I nuovi edifici hanno **fabbisogni** per riscaldamento **sempre più bassi**
- La **potenza** necessaria nelle **mezze stagioni** è ulteriormente **ridotta**
- I **consumi elettrici** vanno moltiplicati circa per 2 per essere confrontati con quelli termici (nel contesto italiano)
- I consumi teorici per la circolazione dell'acqua crescono con il cubo della portata
- Nella **refrigerazione** la **potenza della pompa** diventa **riscaldamento** del circuito
- Se non si fa attenzione, nelle mezze stagioni potremmo ritrovarci con un impianto di riscaldamento elettrico (circolatori!)

Le pompe di calore hanno numerose esigenze particolari:

- Temperatura di mandata più bassa possibile (efficienza)
- Portata minima per il corretto funzionamento (flussostato)
- Portata superiore o uguale a quella nell'impianto (miscelazione involontaria)

La **temperatura di mandata** richiesta alla pompa di calore dipende:

- Dalla **dimensione dei terminali** rispetto alla potenza da erogare
- Dalla **scelta dei circuiti idraulici**, sia dei terminali che dei generatori

Le **portate** dipendono

- Dalla **potenza** da trasmettere
- Dai **circuiti idraulici** e dalle modalità di regolazione della potenza (e della portata)

In ogni sistema di regolazione occorre identificare:

- **L'acceleratore**, cioè quella grandezza che aumenta la potenza o il servizio reso
- **Il freno**, cioè quella grandezza che invece lo limita

In un sistema ben concepito e ben messo a punto:

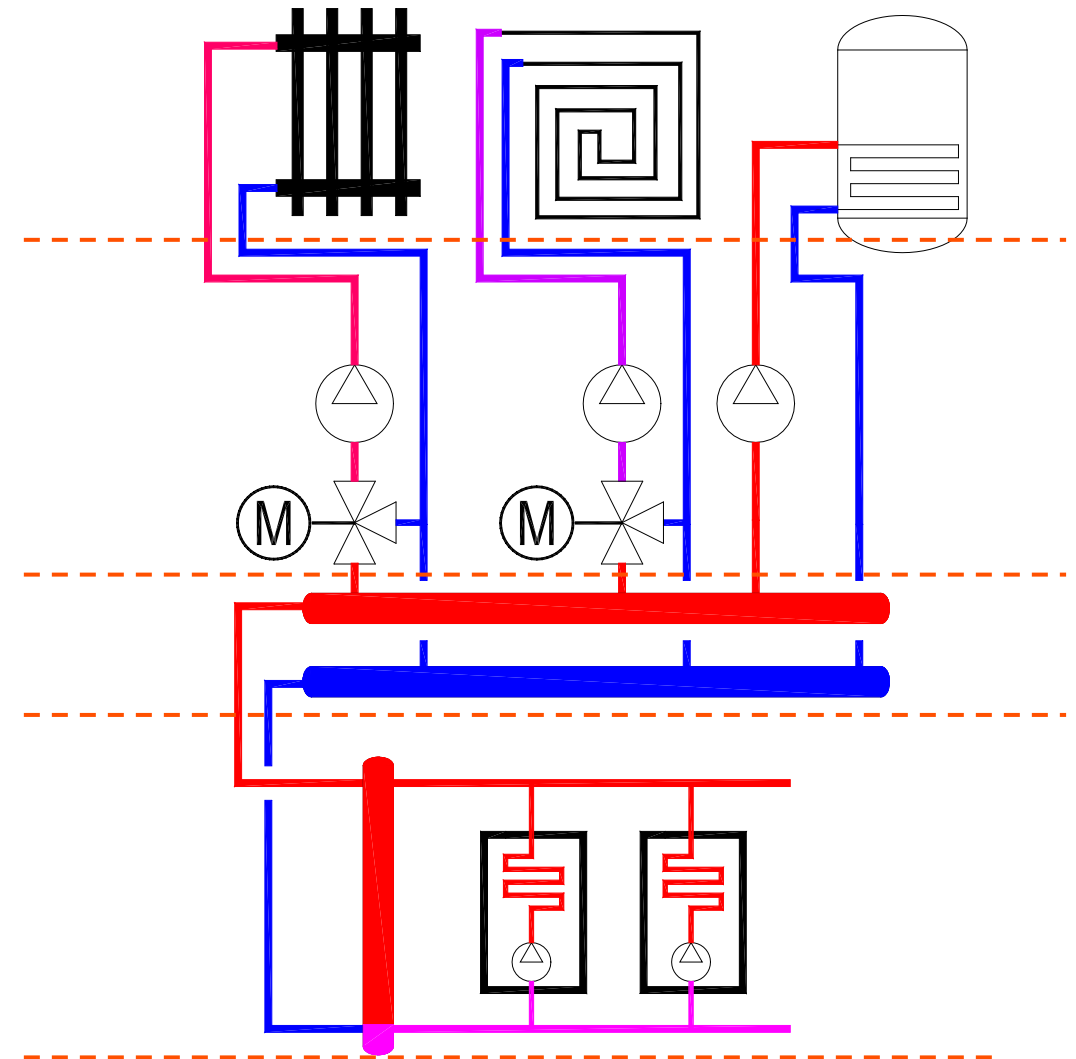
- L'acceleratore è premuto solo quanto basta
- Il freno dovrebbe essere idealmente rilasciato o usato solo per «il tocco finale»

**Quando ci sono un acceleratore ed un freno schiacciati contemporaneamente, abbiamo un problema...**

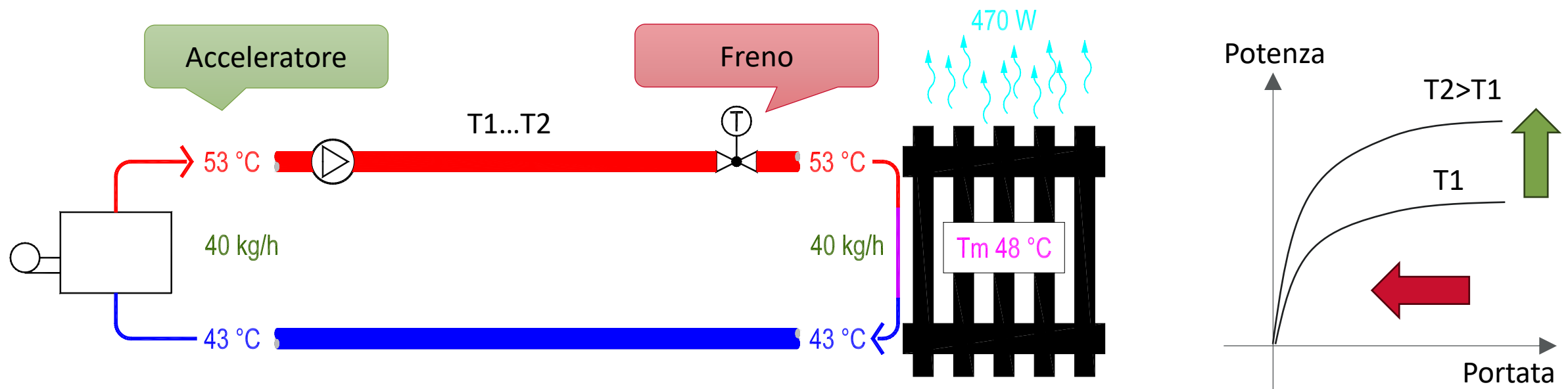
Nei circuiti idraulici, spesso l'acceleratore (temperatura mandata) è «centralizzato» ed i freni sono su ciascun circuito o terminale ed aggiustano la «ripartizione del carico» fra i vari locali di un edificio

→ Un buon bilanciamento permette di rilasciare freni ed acceleratore...

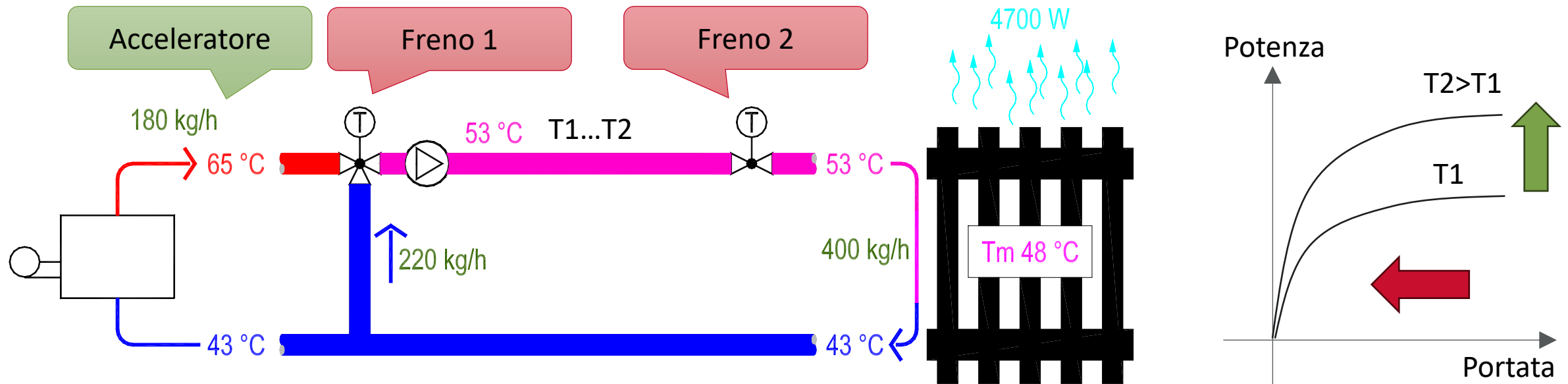
- **Corpi scaldanti:**  
collegati a gruppi («zone» o «circuiti utenti»)
- **Circuiti di distribuzione:**  
connessione dei corpi scaldanti  
ai collettori di distribuzione
- **Collettori di distribuzione:**  
punto di connessione  
comune di tutto l'impianto
- **Circuiti di generazione:**  
connessione dei generatori  
ai collettori di distribuzione
- **Generatori di calore**



- **Massima semplicità**
- Non consente la regolazione della temperatura di mandata
- Si può agire solo sulla temperatura del generatore e sulla portata in circolazione
- Adatto alle pompe di calore
- La risposta del circuito non è lineare: a potenza ridotta la portata crolla



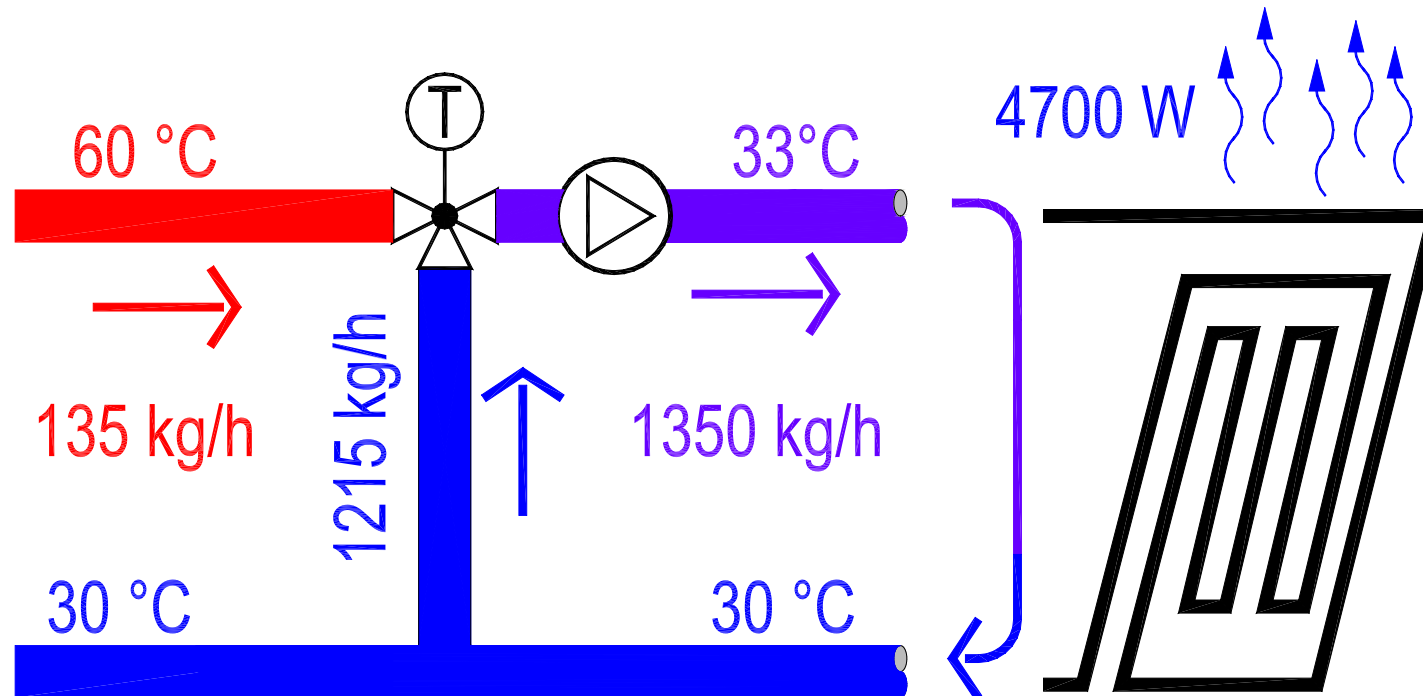
- Più complicato del circuito diretto, richiede una pompa dedicata, una valvola ed un servomotore
- Consente la riduzione della temperatura di mandata rispetto a quella del generatore (freno 1)
- Si può agire anche sulla portata in circolazione
- **NON adatto alle pompe di calore:** il freno 1 distrugge inutilmente il lavoro della pompa di calore  
→ problema dei carichi a temperatura diversa...



A monte della valvola miscelatrice c'è spesso una drastica riduzione della portata rispetto a quella circolante nel corpo scaldante.

A monte della valvola miscelatrice il salto è forzato alla differenza fra:

- Temperatura di mandata del circuito primario
- Temperatura di ritorno del circuito secondario

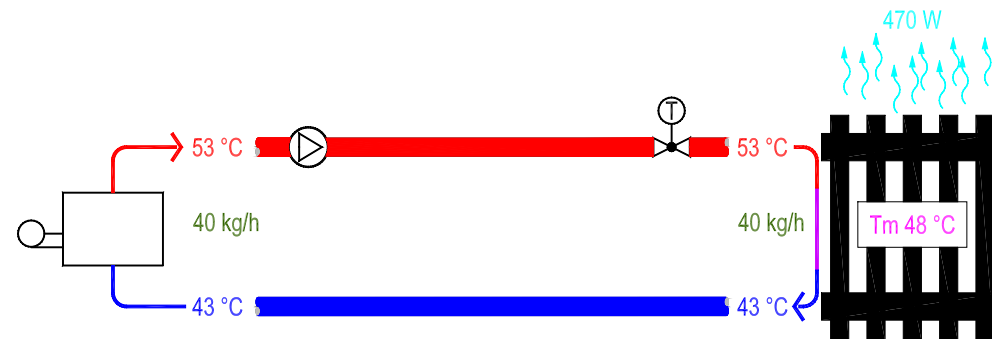




- **Circuito diretto**

*La temperatura deve essere regolata agendo sul generatore.*

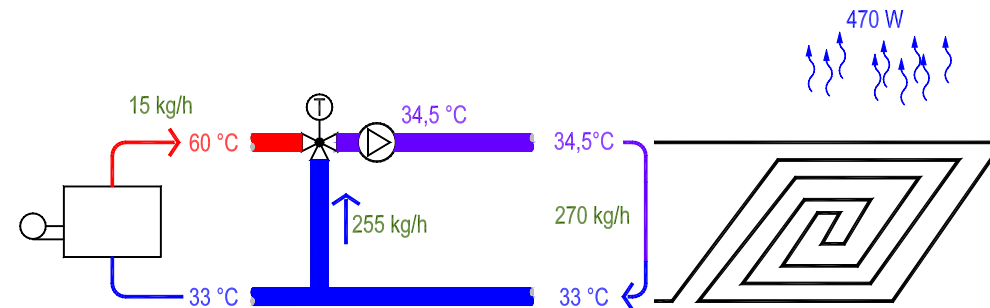
*Utilizzato per l'utenza a temperatura più alta*



- **Circuito miscelato**

*Utilizzato per alimentare utenze a temperatura inferiore a quella di mandata*

**NON USARE CON LE POMPE DI CALORE**

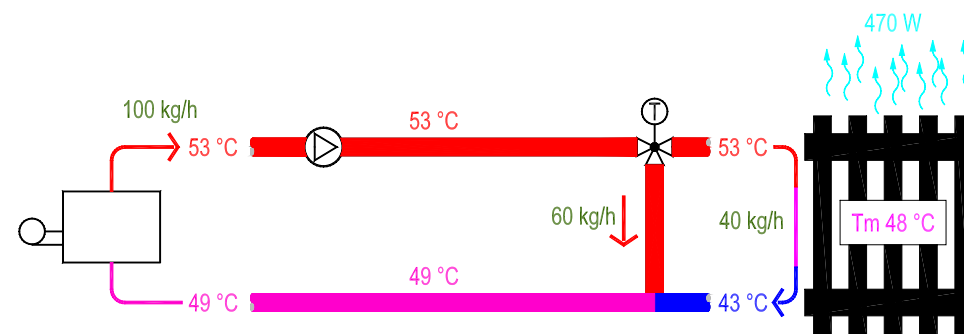


- **Circuito a by-pass**

*L'utenza lavora a temperatura di mandata uguale al generatore ed a portata variabile.*

*Utilizzato per garantire la portata (?).*

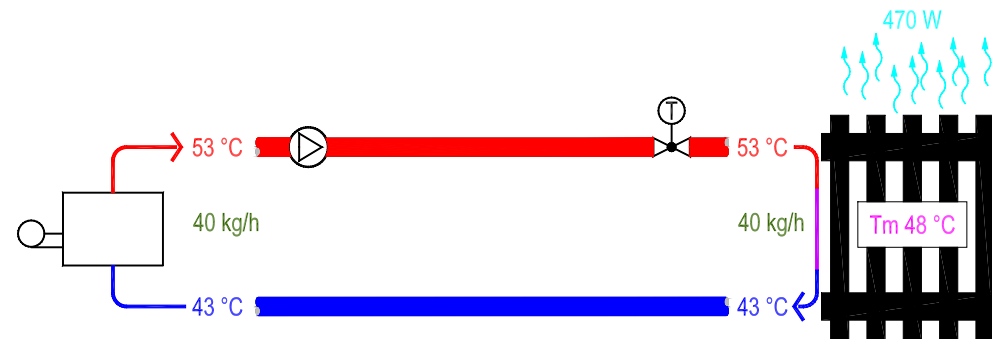
**NON USARE NEGLI IMPIANTI EFFICIENTI**



- **Circuito diretto**

*La temperatura deve essere regolata agendo sul generatore.*

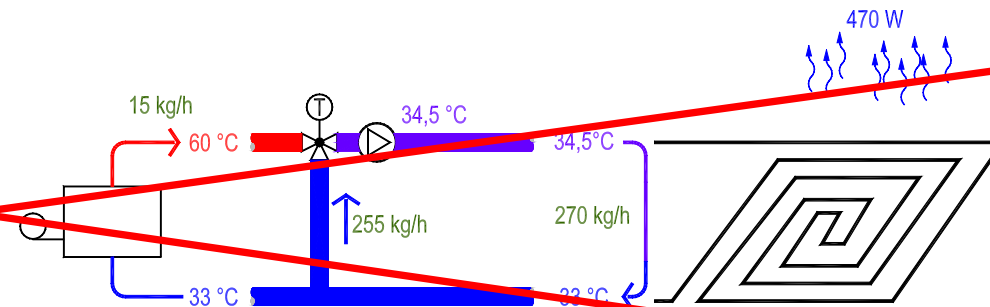
*Utilizzato per l'utenza a temperatura più alta*



- **Circuito miscelato**

*Utilizzato per alimentare utenze a temperatura inferiore a quella di mandata*

*NON USARE CON LE POMPE DI CALORE*

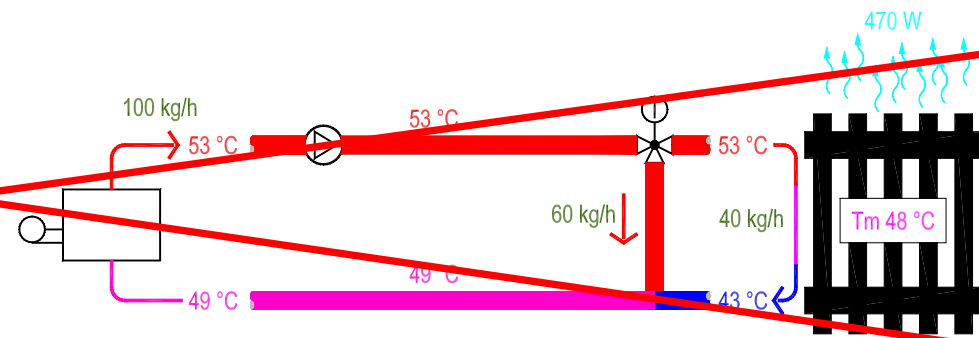


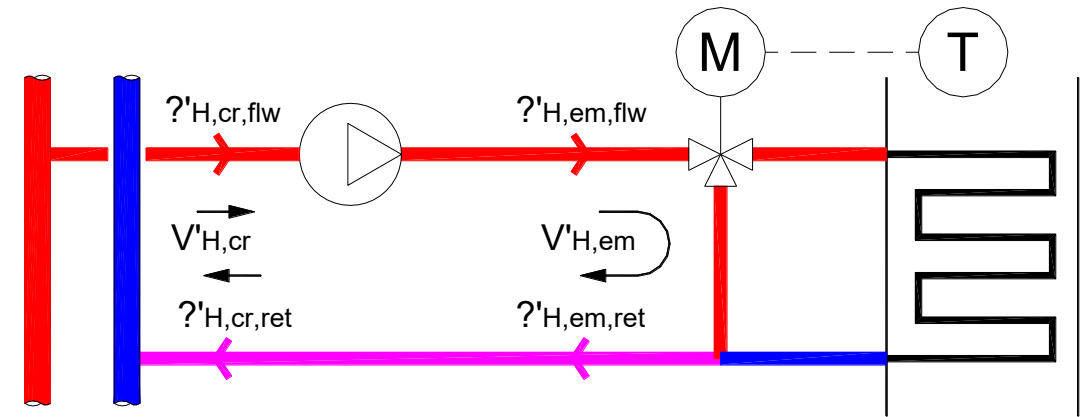
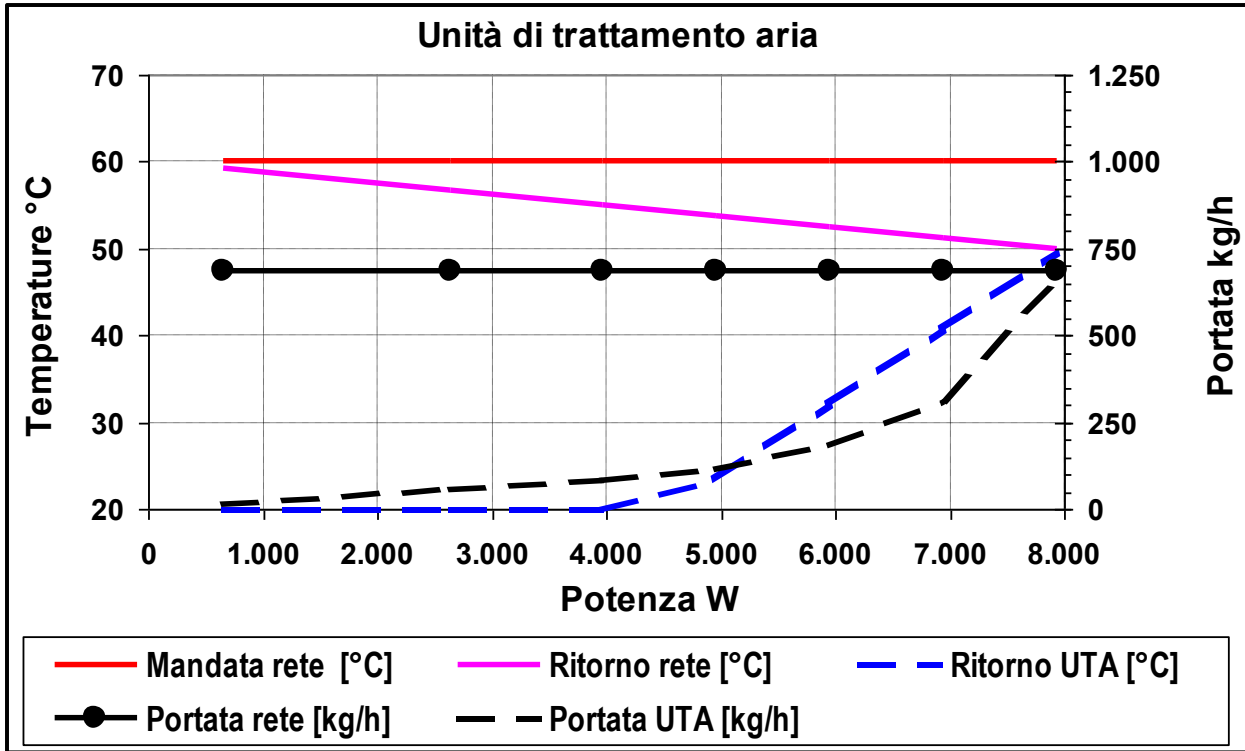
- **Circuito a by-pass**

*L'utenza lavora a temperatura di mandata uguale al generatore ed a portata variabile.*

*Utilizzato per garantire la portata (?).*

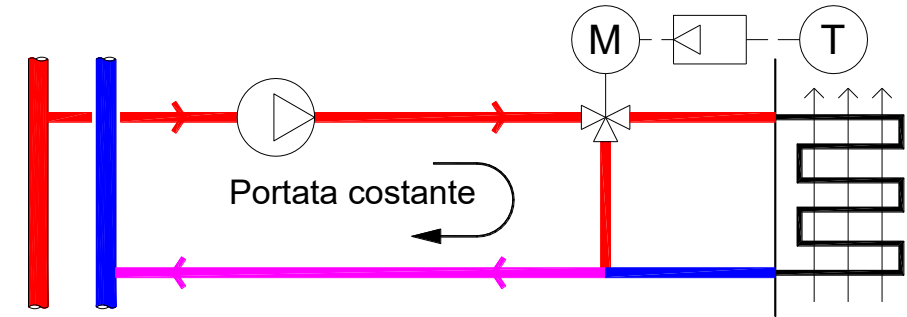
*NON USARE NEGLI IMPIANTI EFFICIENTI*



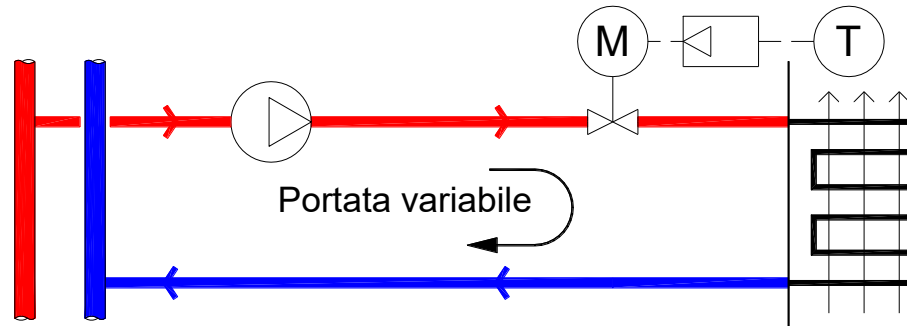


**La UTA funziona a portata variabile e temperatura costante.**  
**Conviene installare una valvola a 2 vie ed una pompa a pressione costante.**  
**Si risparmiano energia elettrica e dispersioni della tubazione di ritorno**

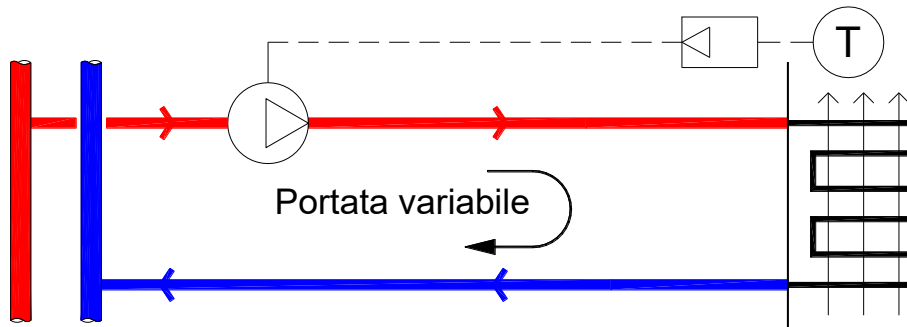
**Soluzione classica**  
**Massimi consumi elettrici**  
**Massime dispersioni**  
**Da evitare**



**Soluzione corretta**  
**Consumi elettrici ridotti**  
**Minime dispersioni**  
**Da utilizzare**



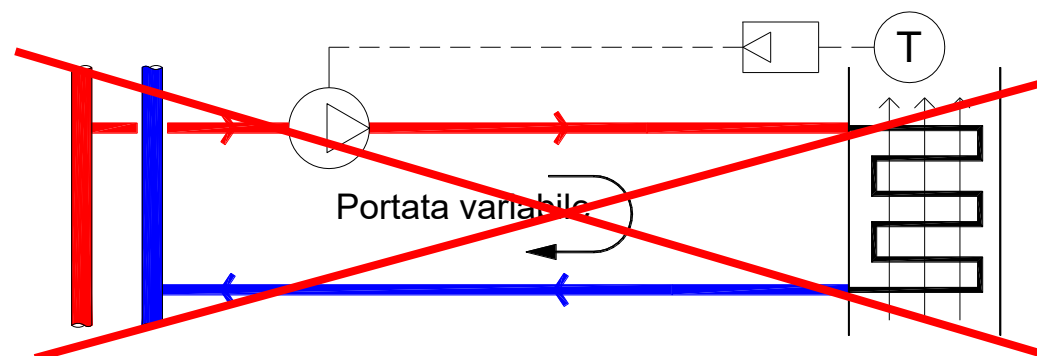
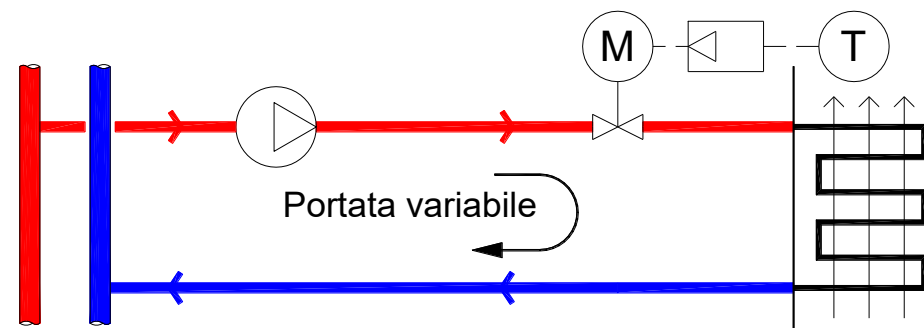
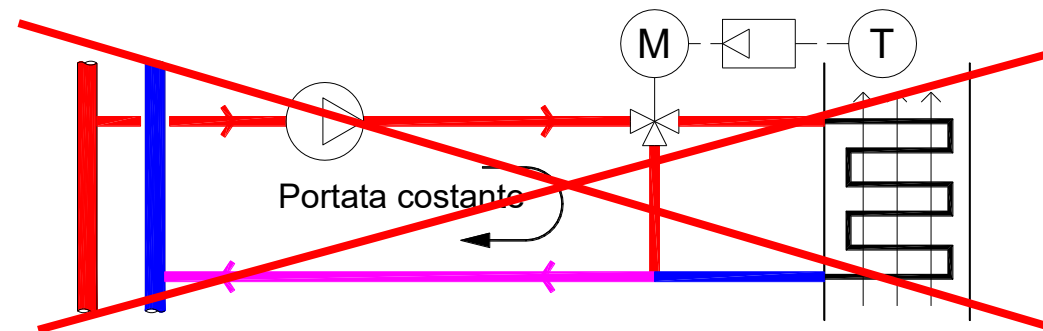
**Soluzione teorica ottima**  
**ma raramente utilizzabile**  
**Consumi elettrici minimi**  
**Minime dispersioni**  
**Numero minimo di componenti**  
**Non si può ridurre molto la potenza**



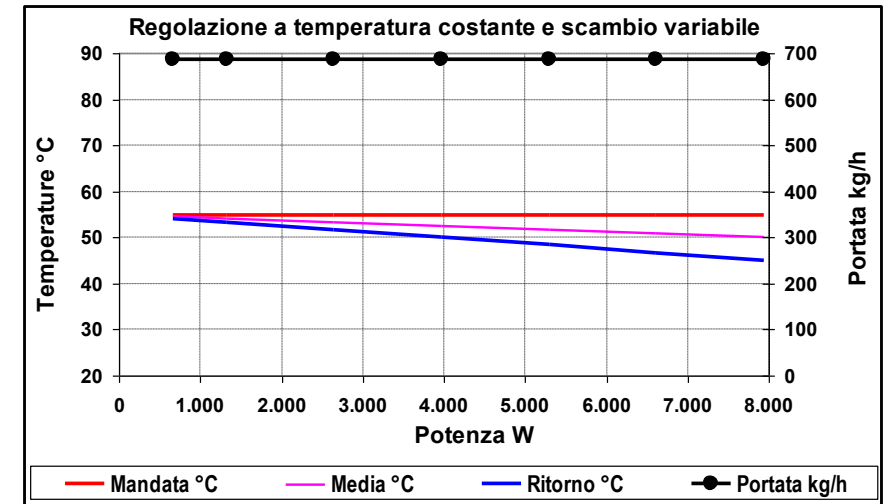
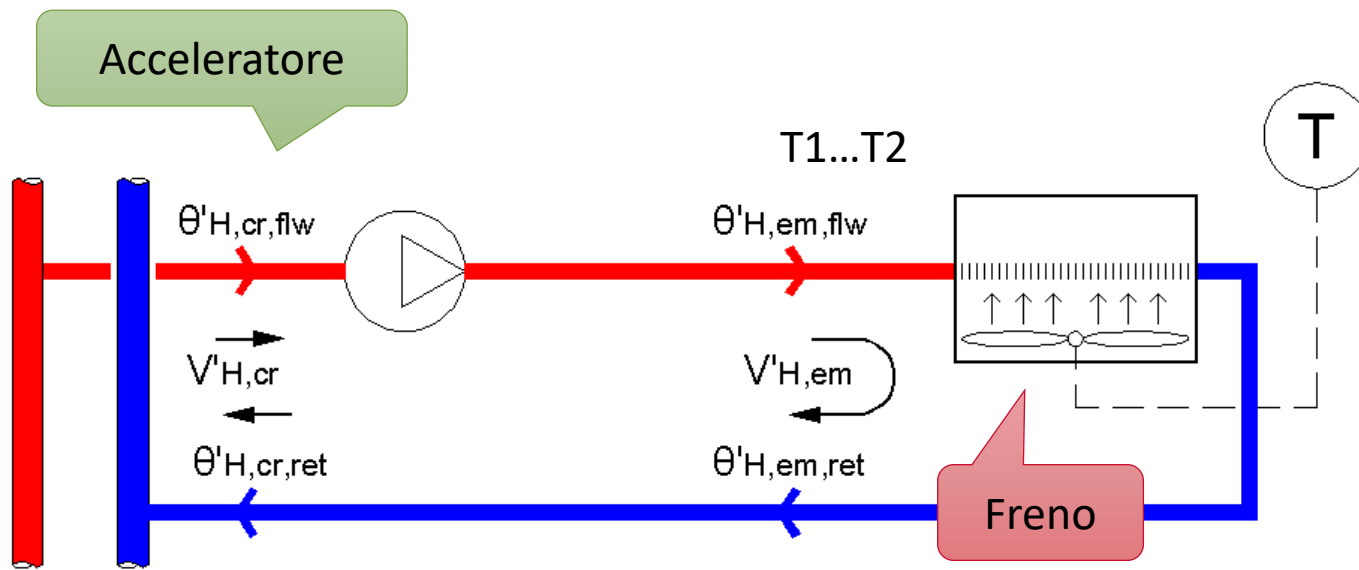
**Soluzione classica**  
 Massimi consumi elettrici  
 Massime dispersioni  
 Da evitare

**Soluzione corretta**  
 Consumi elettrici ridotti  
 Minime dispersioni  
 Da utilizzare

**Soluzione teorica ottima**  
ma raramente utilizzabile  
 Consumi elettrici minimi  
 Minime dispersioni  
 Numero minimo di componenti  
 Non si può ridurre molto la potenza



- **Circuito diretto**
- Per regolare (frenare) la potenza si agisce sulla velocità della ventola del ventilconvettore
- Idealmente la portata dovrebbe essere proporzionale alla velocità della ventola  
→ assai oneroso da realizzare  
→ di regola si lavora a portata costante ed eventualmente si chiude a ventola ferma
- Circuito adatto alle pompe di calore, è il ventilconvettore che è border-line in riscaldamento



Si dovrebbe utilizzare solo il circuito più semplice: **diretto con valvola a due vie**

Il circuito con la valvola a due vie a portata variabile è anche quello che ha i minimi consumi di energia elettrica ausiliaria → in raffrescamento vuol dire anche il minimo carico sul refrigeratore

**I circuiti miscelati non si devono utilizzare con le pompe di calore**

Sono accettabili per le caldaie

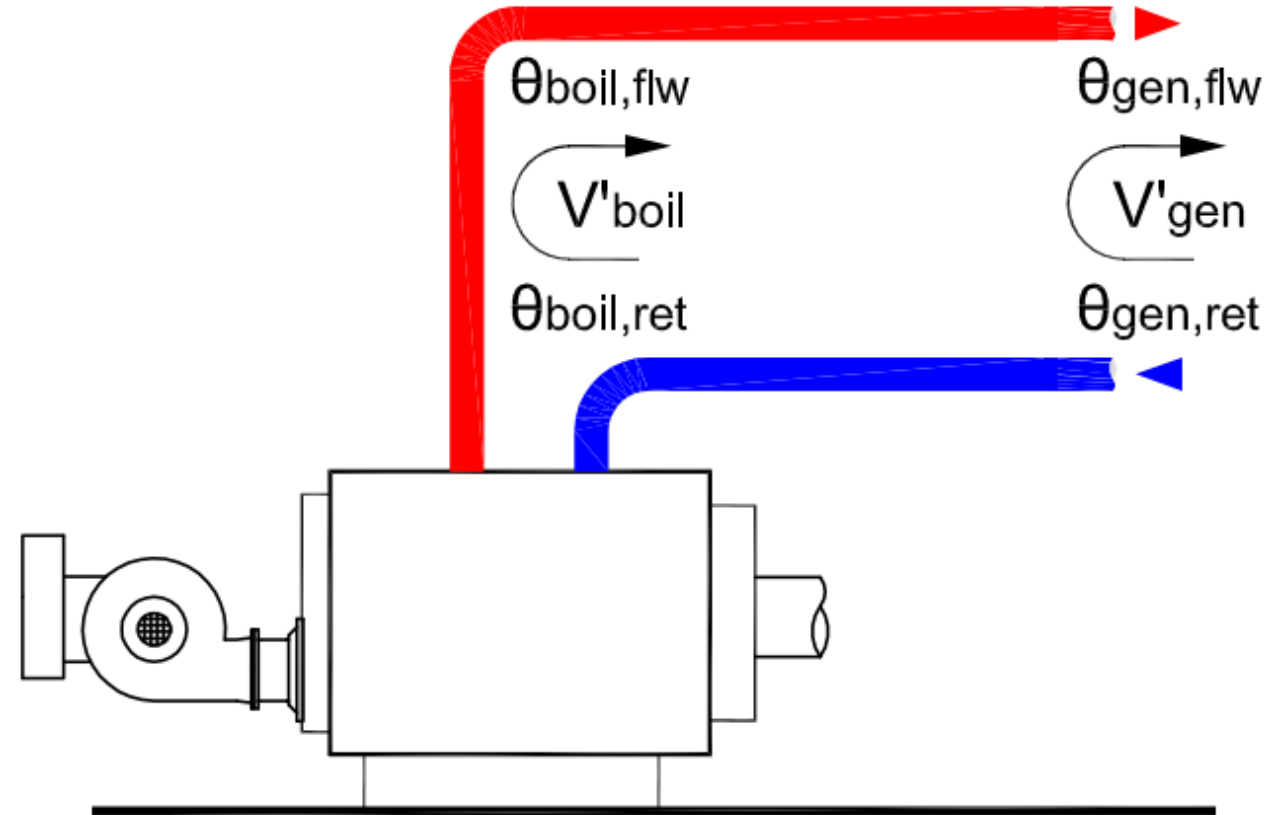
**I circuiti a by pass non vanno utilizzati in generale.**

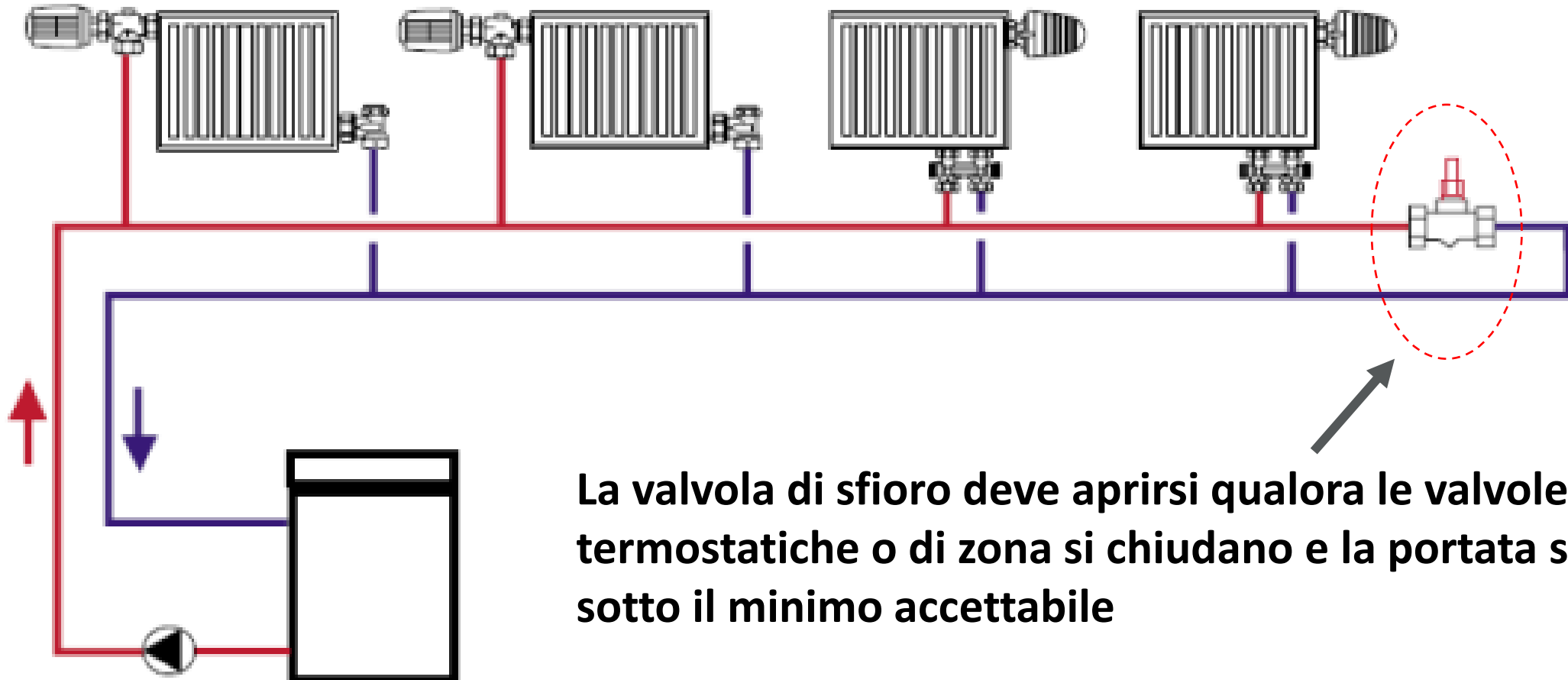
Ci sono le pompe elettroniche per assorbire le variazioni di portata in un circuito  
→ Occorre saper impostare i parametri delle pompe elettroniche.

- Portata minima lato acqua del condensatore (o dell'evaporatore)
  - Non si può ridurre la portata perché altrimenti...
    - Decade il coefficiente di scambio termico a causa della riduzione di velocità
    - Aumentano i salti termici fra ingresso ed uscita
    - Diminuisce la potenza massima trasportabile
- Attenzione alle perdite di carico del condensatore...
  - Spesso elevata per generare turbolenza ed un buon coefficiente di scambio termico  
*(dal lato fluido frigorifero c'è un cambiamento di fase → max scambio termico)*
  - Attenzione anche ai raccordi utilizzati nel circuito primario...  
*(Curve con multistrato: piegatura o raccordo a gomito? Il raccordo ha passaggio totale?)*

- Alla pompa di calore serve una portata minima per il corretto funzionamento
- Se si ricorre ad un compensatore idraulico...  
affinché la temperatura di mandata della pompa di calore sia uguale a quella dell'impianto,  
**la portata nella pompa di calore deve essere uguale o superiore a quella nell'impianto.**
- Non si deve esagerare con la portata nell'impianto
  - il salto termico non può essere ridotto esageratamente
  - la rete deve essere bilanciata correttamente e non «all'italiana» per sovra portata
- La portata in pompa di calore deve essere la più alta possibile
  
- **Ciò vale anche in freddo:** se la portata nell'impianto supera la portata in pompa di calore si riduce la deumidificazione perché sale la temperatura di mandata all'impianto
- **Portate esagerate nell'impianto** vuol dire tanta energia di pompaggio: consumo elettrico e riscaldamento dell'acqua di impianto.

- **Massima semplicità**
- La portata nel generatore è vincolata alla portata nell'impianto
- La pompa del generatore dovrebbe servire l'impianto o viceversa
- **Poco adatto alle pompe di calore** perché occorre garantire una portata minima. Solo in caso di impianto in diretta, senza valvole. Serve aggiungere dispositivi supplementari per garantire la portata quando la portata nell'impianto è insufficiente

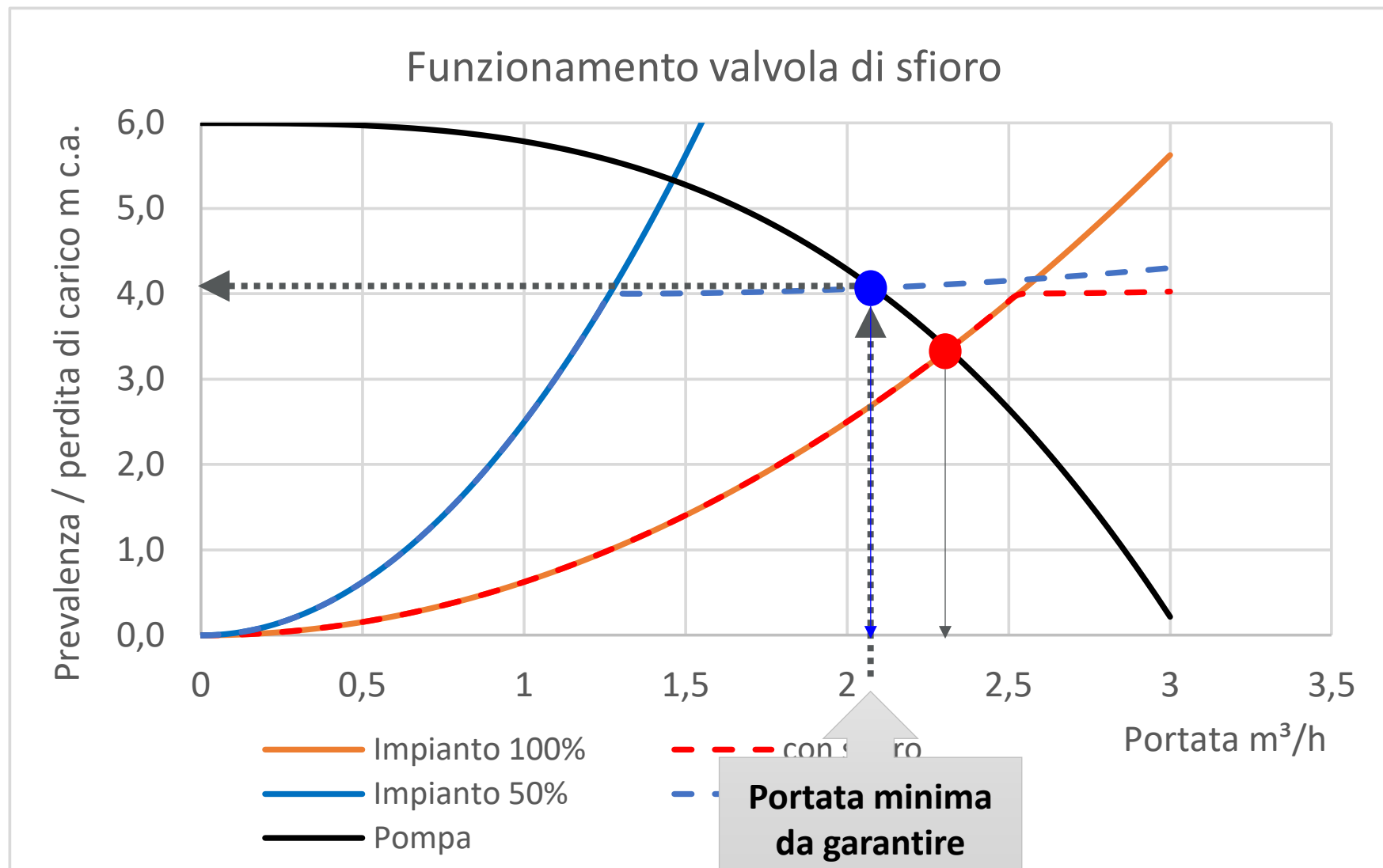




**La valvola di sfioro deve aprirsi qualora le valvole termostatiche o di zona si chiudano e la portata scenda sotto il minimo accettabile**

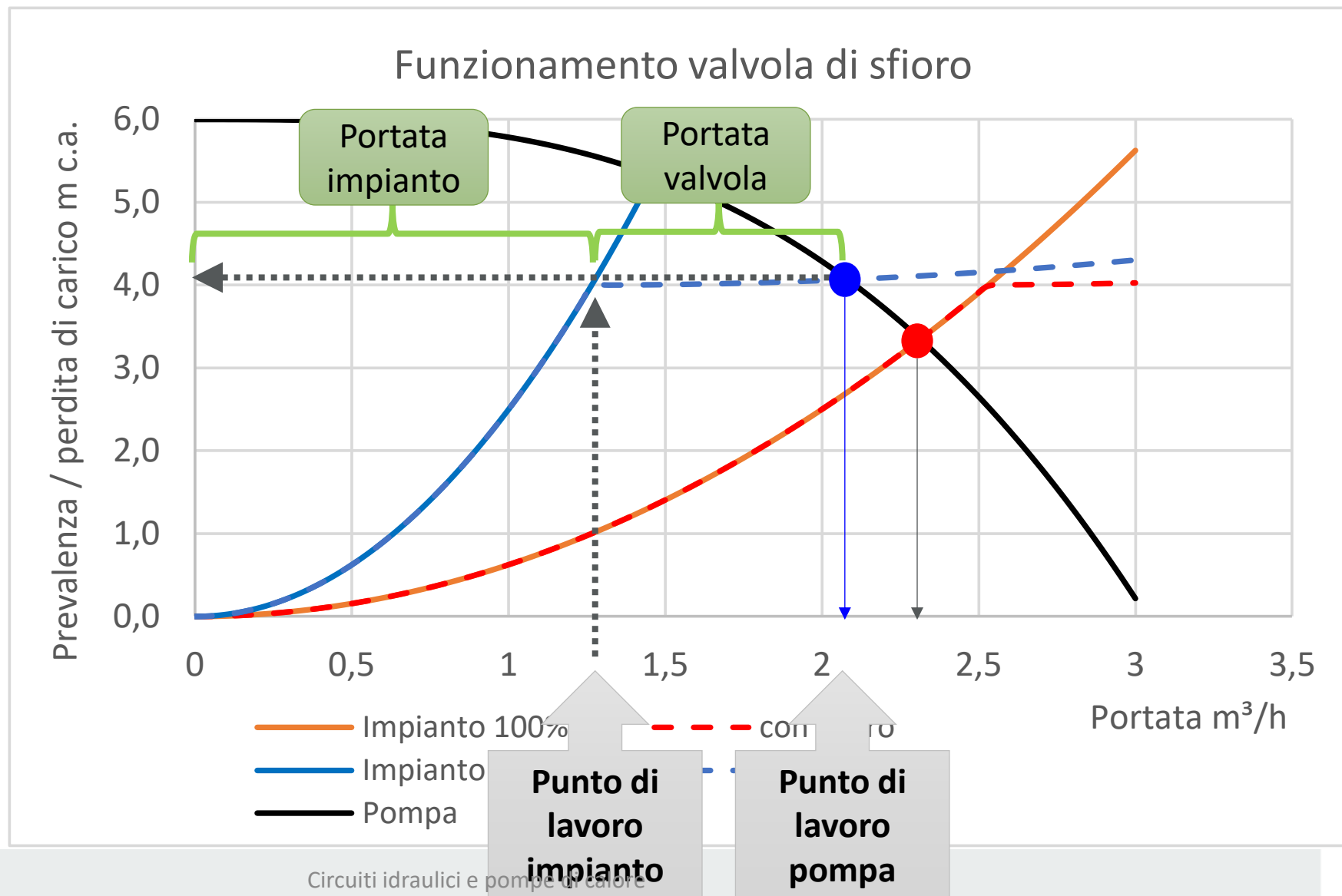
**Determinazione  
della pressione di  
apertura**

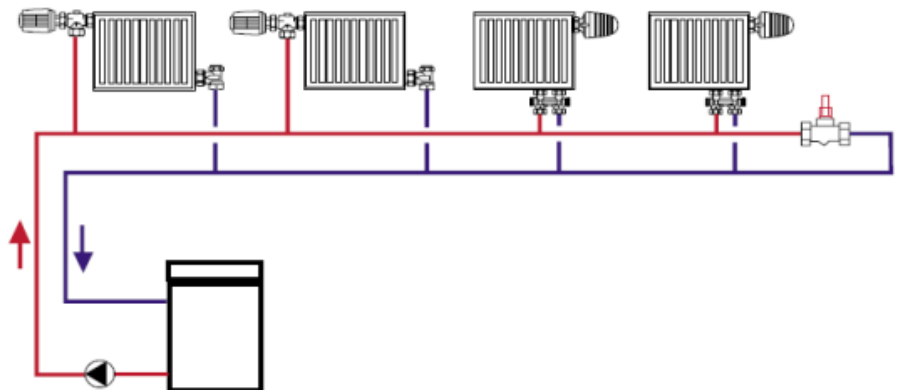
*La valvola di sfioro  
funziona con una  
pompa a giri fissi...*



**Funzionamento a valvola aperta (impianto chiuso)**

*Nella pompa di calore circola la portata totale*

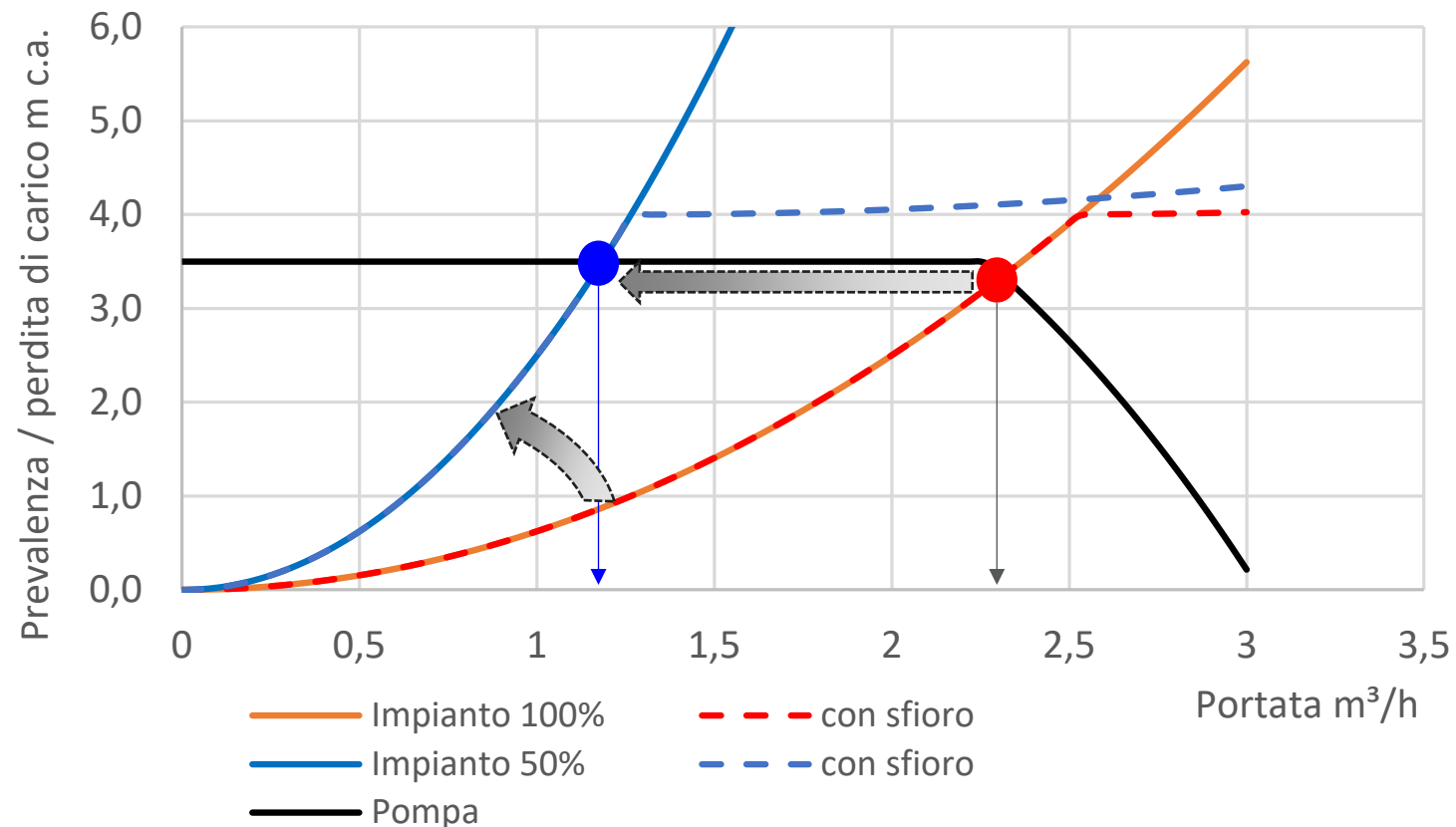




Con una pompa a pressione costante la valvola di sfioro è sempre aperta o sempre chiusa.

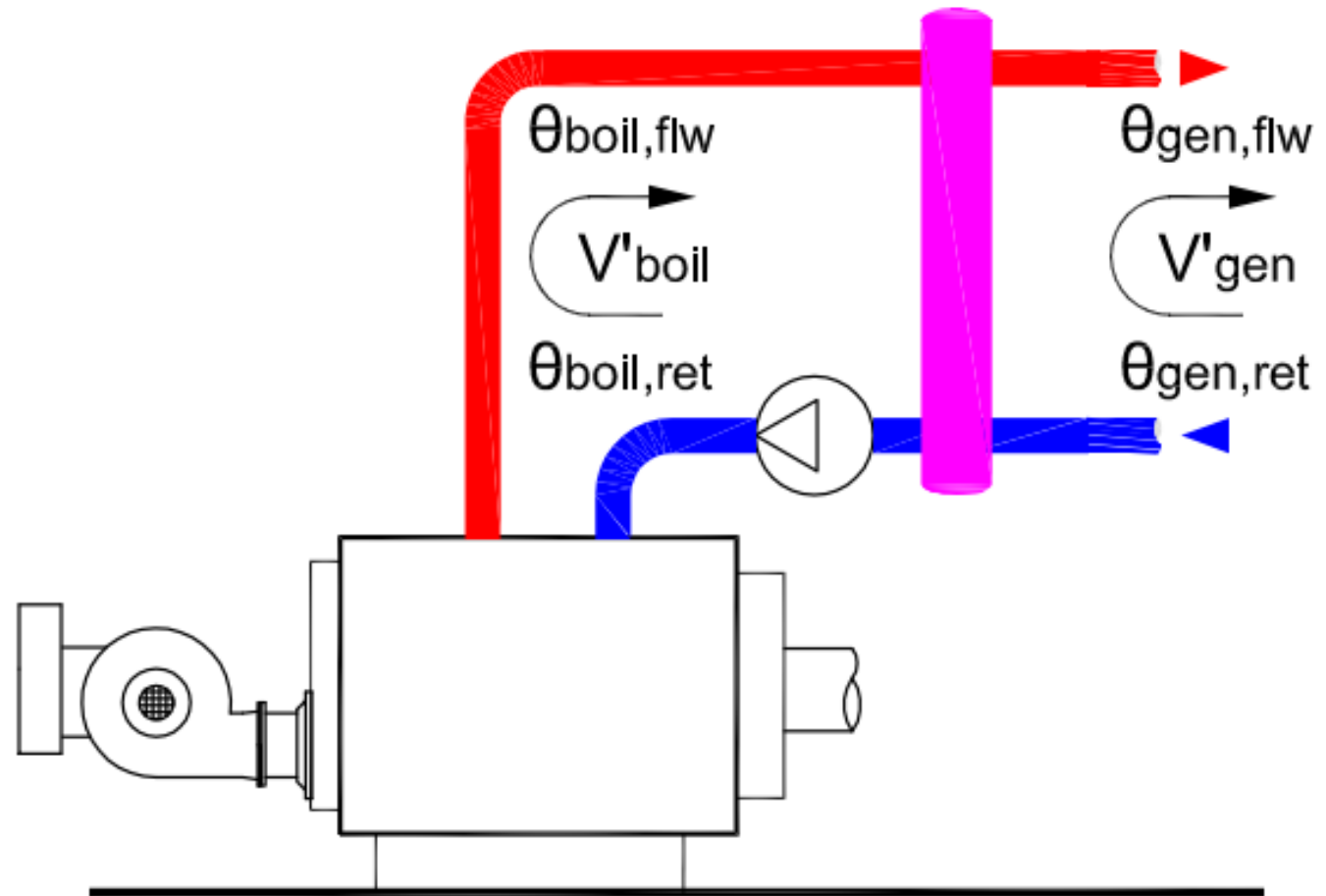
***Se proprio necessario...***  
usare un by-pass fisso con eventuale valvola on-off.

Funzionamento valvola di sfioro



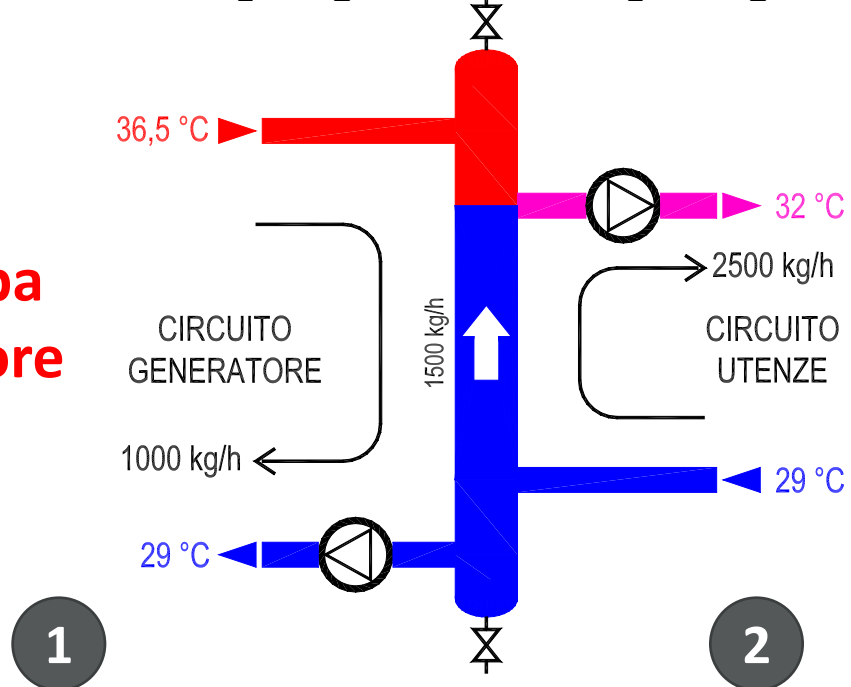
- La portata nel generatore è svincolata dalla portata nell'impianto
- Adatto alle pompe di calore perché la portata minima può essere garantita.
- Comporta requisiti di equilibrio fra le portate del circuito primario (generatore) e secondario (circuiti utenti).

**La portata nella pompa di calore deve essere maggiore o uguale alla portata nell'impianto**



$V'_1 < V'_2$  oppure  $\Delta T_1 > \Delta T_2$

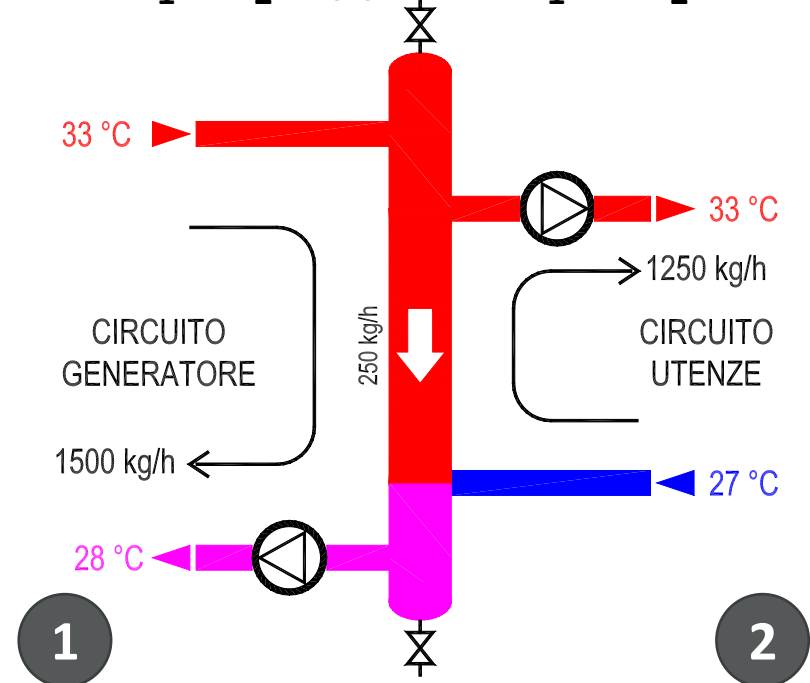
**Pompa di calore KO**



**Quando la portata nelle utenze è maggiore della portata nel generatore le temperature di ritorno coincidono**  
**MISCELAZIONE INVOLONTARIA**  
**Diminuzione COP o mancato riscaldamento**

$V'_1 > V'_2$  oppure  $\Delta T_1 < \Delta T_2$

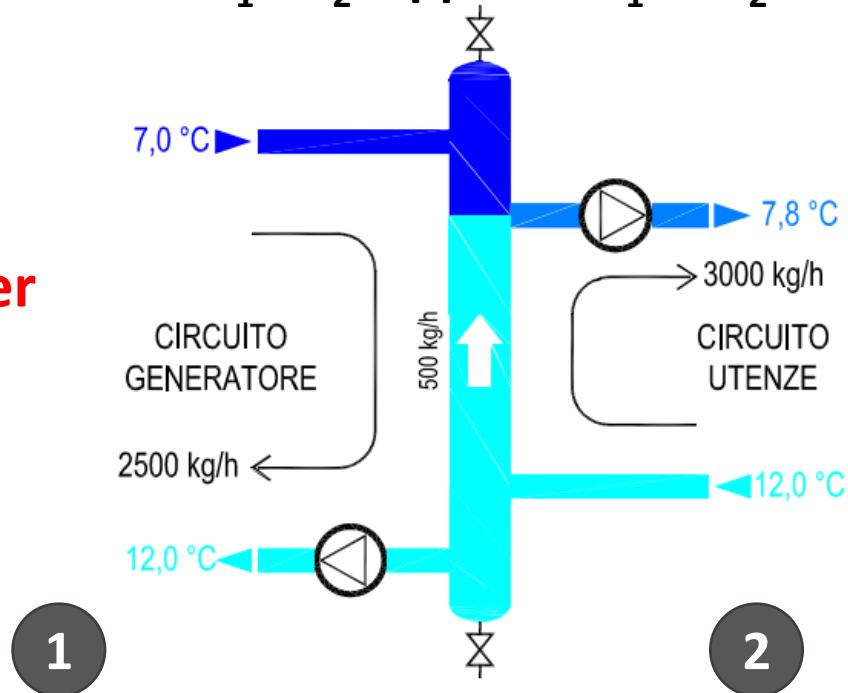
**Pompa di calore OK**



**Quando la portata nel generatore è maggiore della portata nelle utenze le temperature di mandata coincidono**  
**La temperatura di mandata è strettamente quella necessaria per l'impianto**

$$V'_1 < V'_2 \text{ oppure } \Delta T_1 > \Delta T_2$$

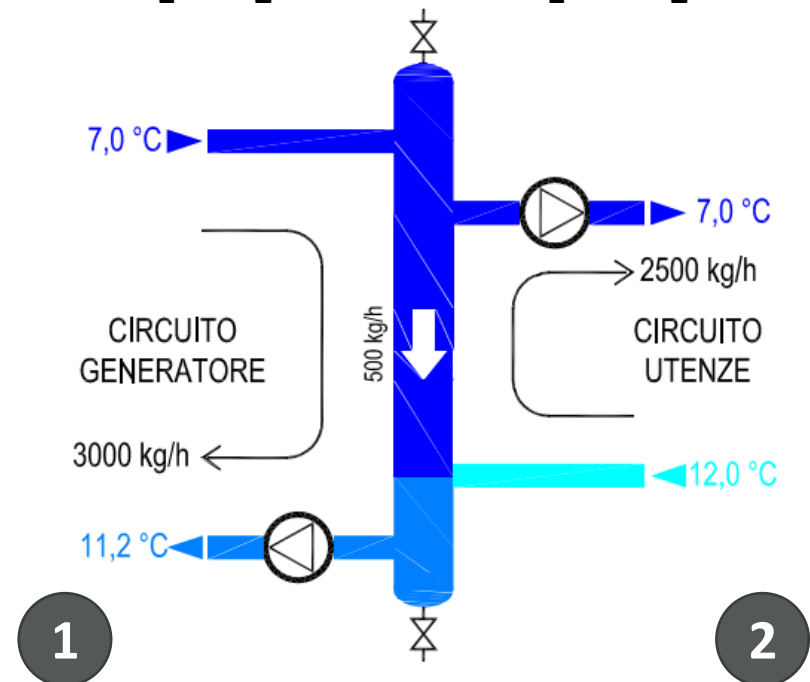
**Chiller  
KO**



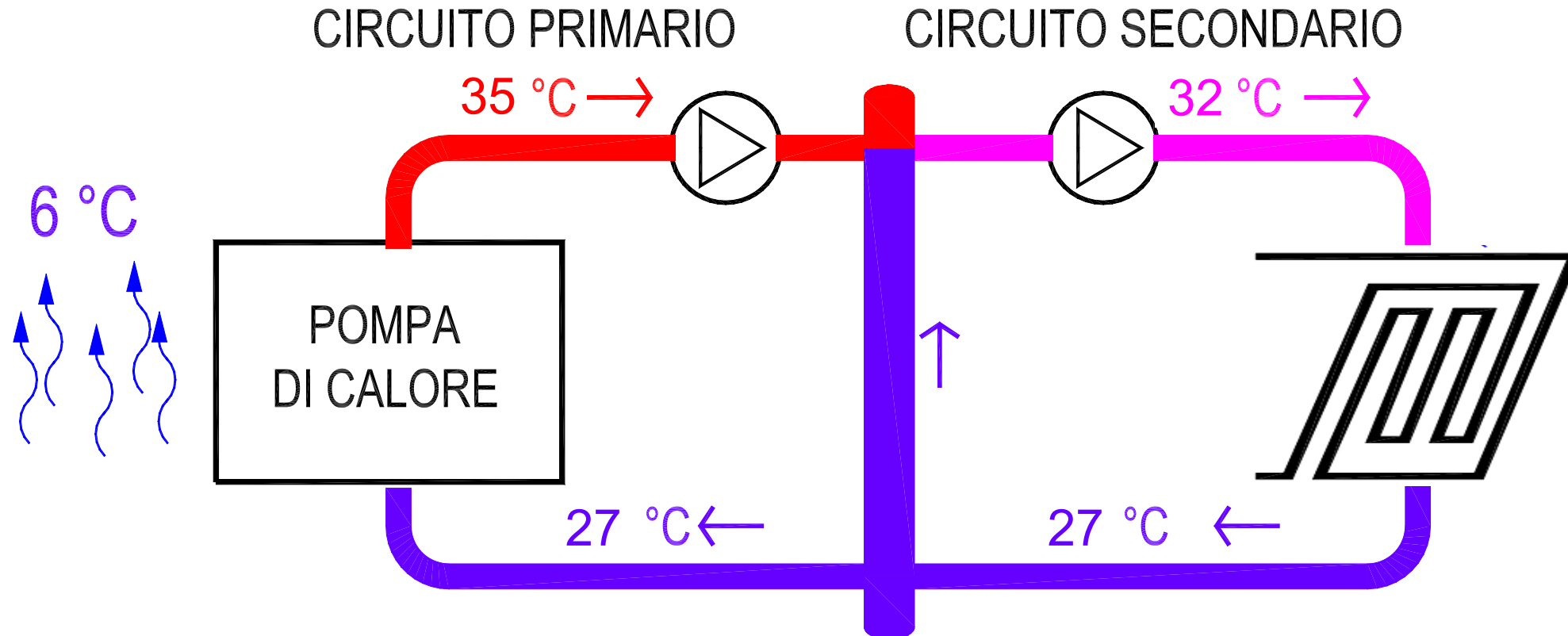
**Quando la portata nelle utenze è maggiore della portata nel chiller le temperature di ritorno coincidono  
MISCELAZIONE INVOLONTARIA  
Diminuzione EER  
o mancata deumidificazione**

$$V'_1 > V'_2 \text{ oppure } \Delta T_1 < \Delta T_2$$

**Chiller  
OK**



**Quando la portata nel generatore è maggiore della portata nelle utenze le temperature di mandata coincidono  
La temperatura di mandata è strettamente quella necessaria per l'impianto**



**La situazione da evitare ...**

**La portata nell'impianto dovrebbe essere elevata per ridurre il salto termico negli emettitori e quindi la temperatura di mandata richiesta**

**... ma ...**

- Se la portata nell'impianto supera quella nel generatore, miscelazione involontaria e perdita di efficienza
- L'aumento delle portate comporta un aumento dei consumi di pompaggio

**... quindi ...**

- Dimensionare con  $\Delta T$  bassi ma ragionevoli, limitare le perdite di carico
- Equilibrare bene le portate massime dell'impianto
- Usare circuiti a 2 vie per ottenere un funzionamento a portata variabile

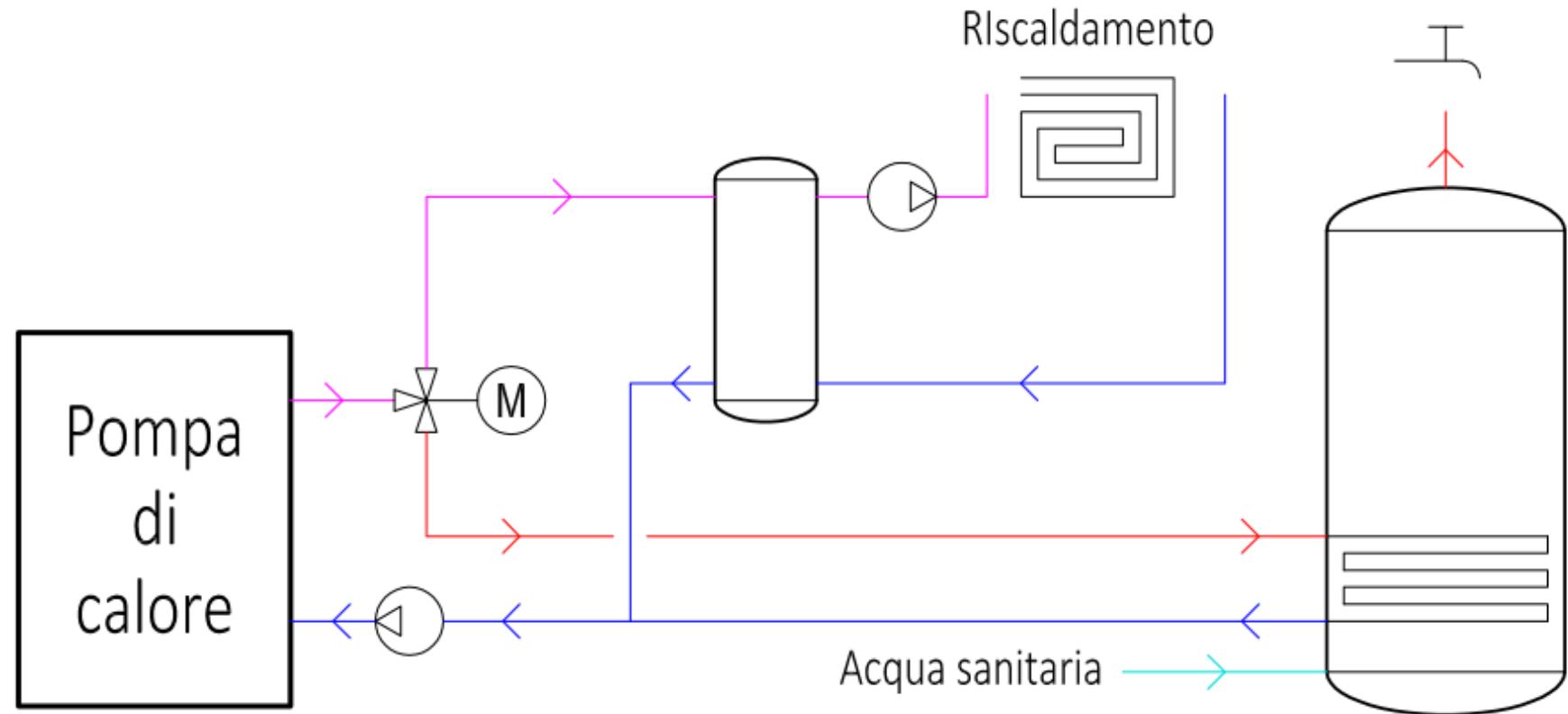
Le considerazioni sulle portate sono fondamentali nel caso più frequente di presenza di un separatore idraulico.

Se il collegamento è diretto occorre invece garantire una portata minima nell'impianto

- **Non si deve mai miscelare**, quindi se ci sono due servizi a temperatura diversa (riscaldamento + acqua calda sanitaria o due zone a temperatura diversa) occorre ricorrere, in alternativa :
  - al funzionamento alternato
  - all’installazione di due pompe di calore dedicate.
- **Caso tipico:** impianto a pannelli scarso in bagno, serve uno scaldasalviette
  - **Migliore:** far funzionare lo scaldasalviette a bassa temperatura collegandolo insieme al pannello radiante, deve fare solo integrazione non tutta la potenza del bagno;  
**Laddove praticabile è la soluzione più corretta**
  - **Possibile:** alimentare lo scaldasalviette dalla zona superiore dell’accumulo di acqua tecnica, in presenza di scambiatore istantaneo per acqua calda sanitaria.  
In pratica è costoso e complicato installare una tubazione ed una pompa specifici.
  - **Energeticamente scorretto** ma molto semplice: resistenza elettrica nello scaldasalviette  
Vedi calcoli precedenti...

La pompa di calore deve lavorare alternativamente in riscaldamento (25...35 °C) e produzione di acqua calda sanitaria (> 50 °C)

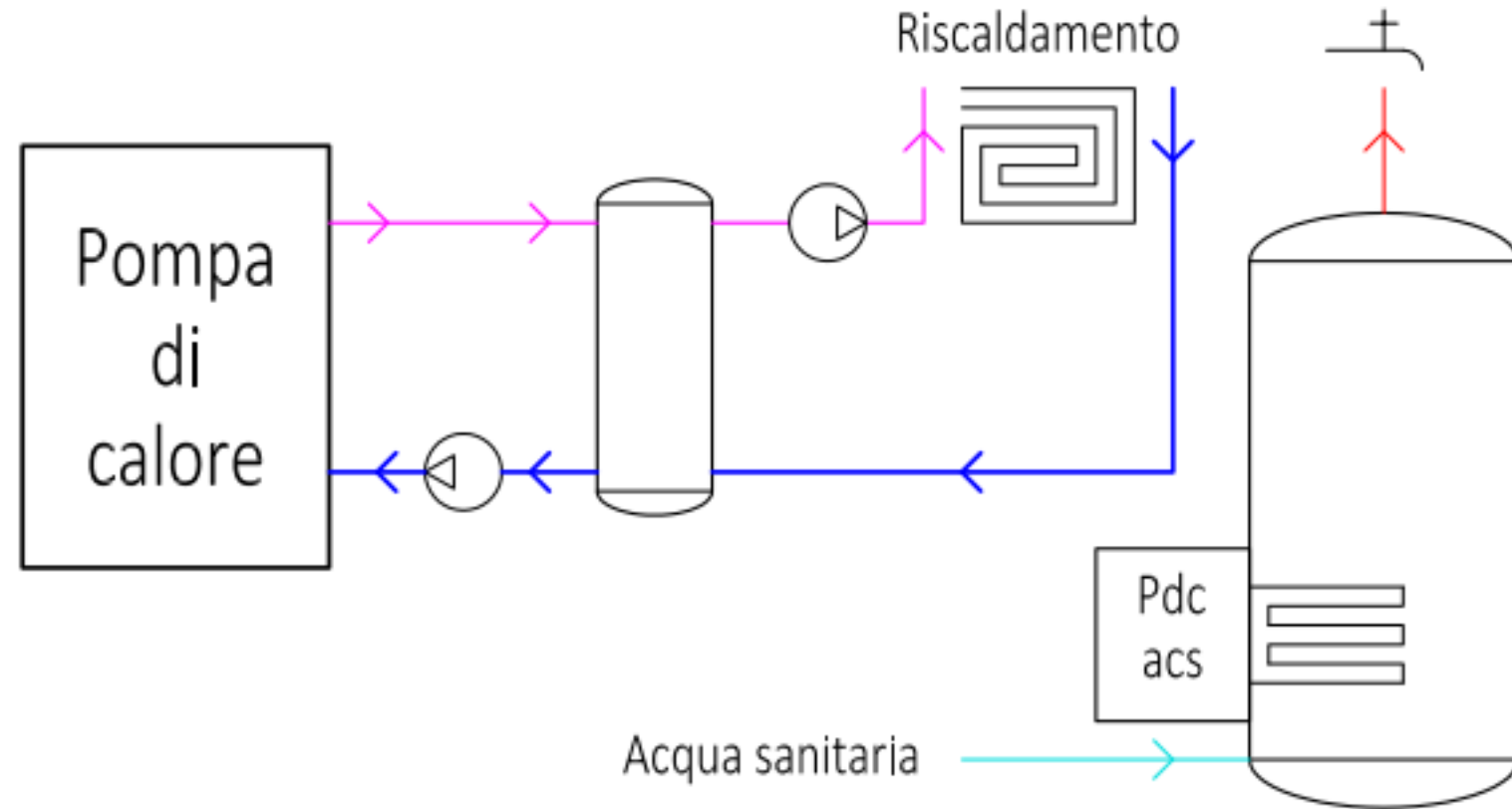
**ATTENZIONE**  
alla portata minima nella pompa di calore  
Questo circuito garantisce anche il volume di acqua necessario



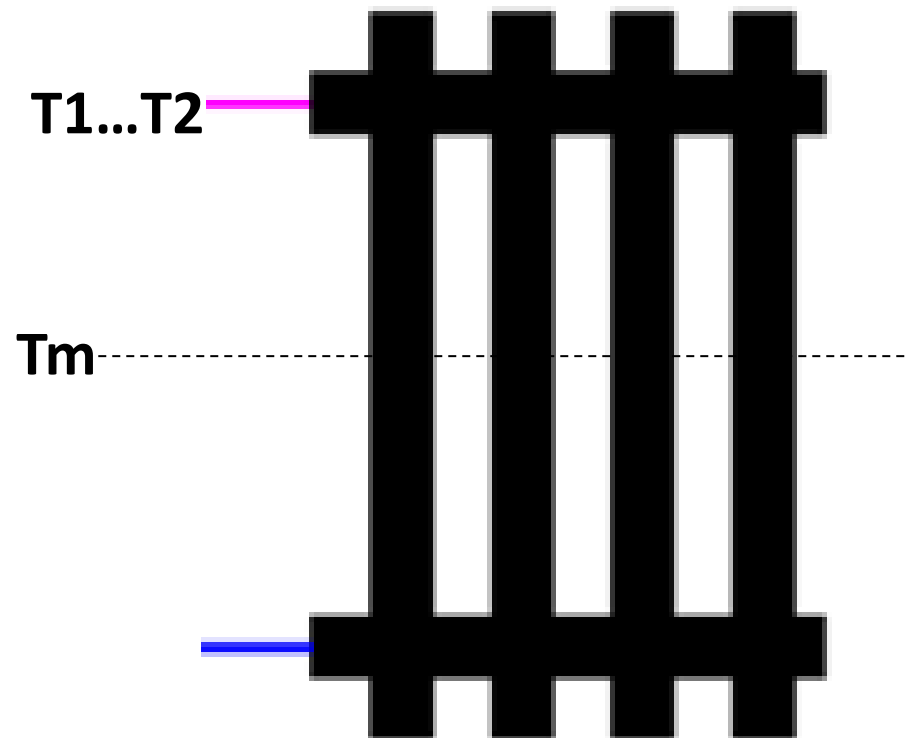
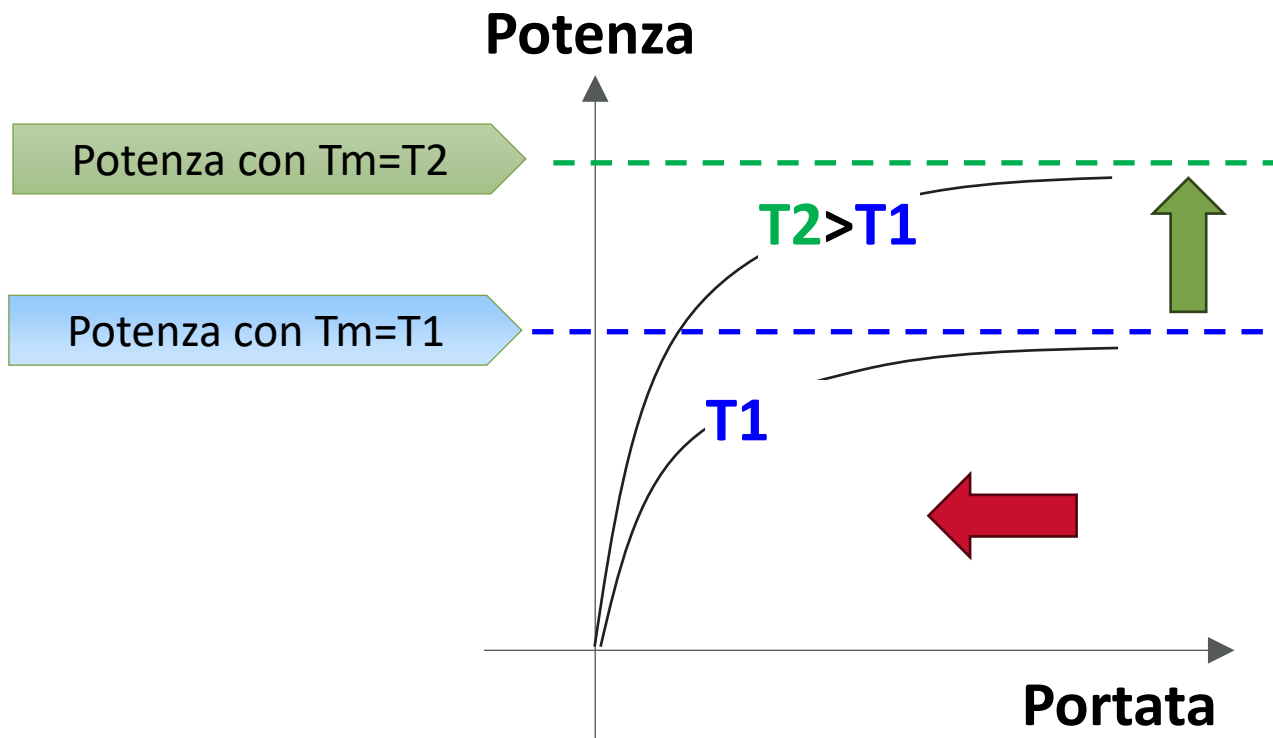
Alternativa:  
pompe di calore  
dedicate per i due servizi

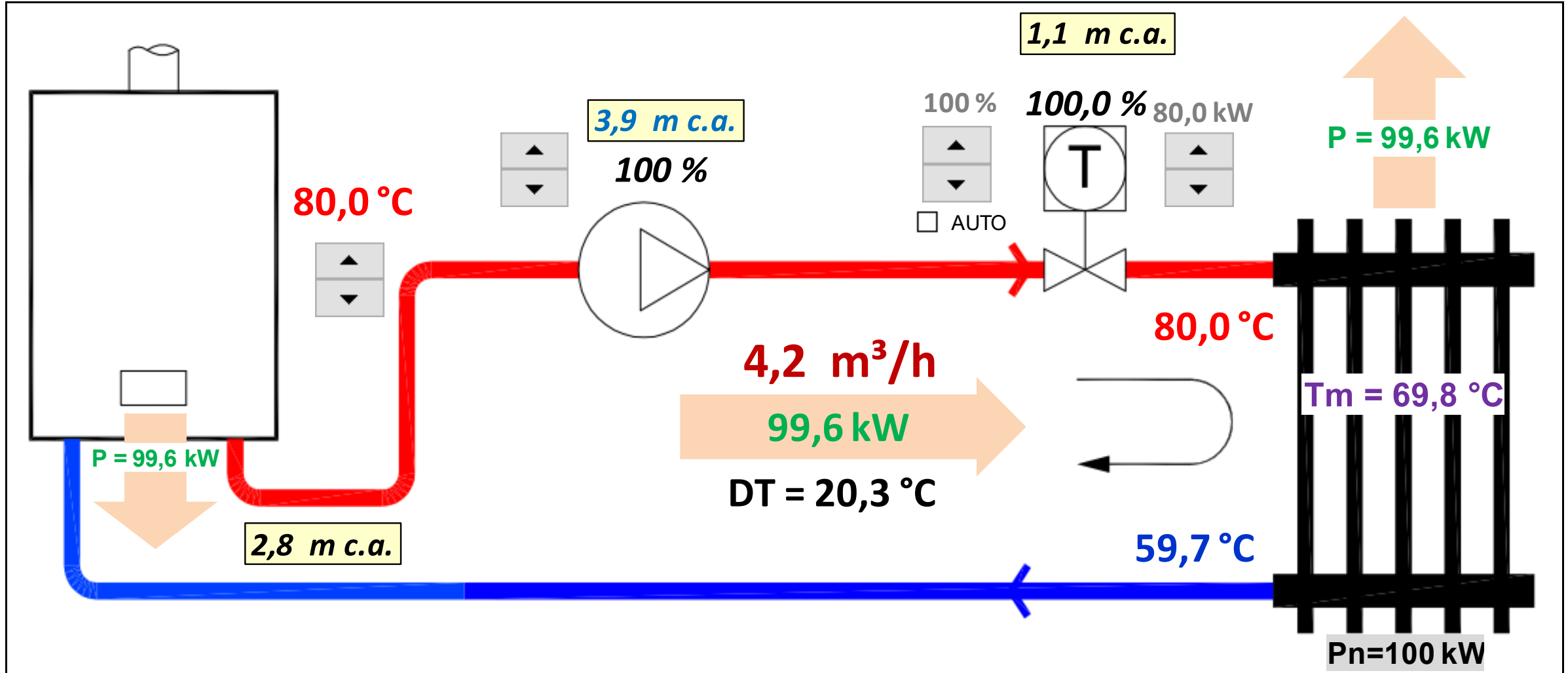
Non ci sono interruzioni  
del servizio  
riscaldamento e/o  
raffrescamento

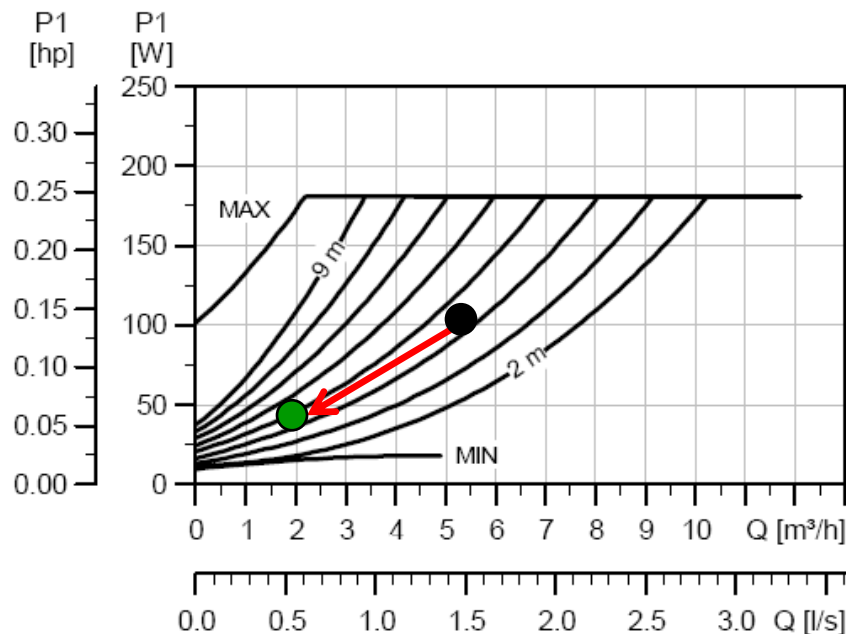
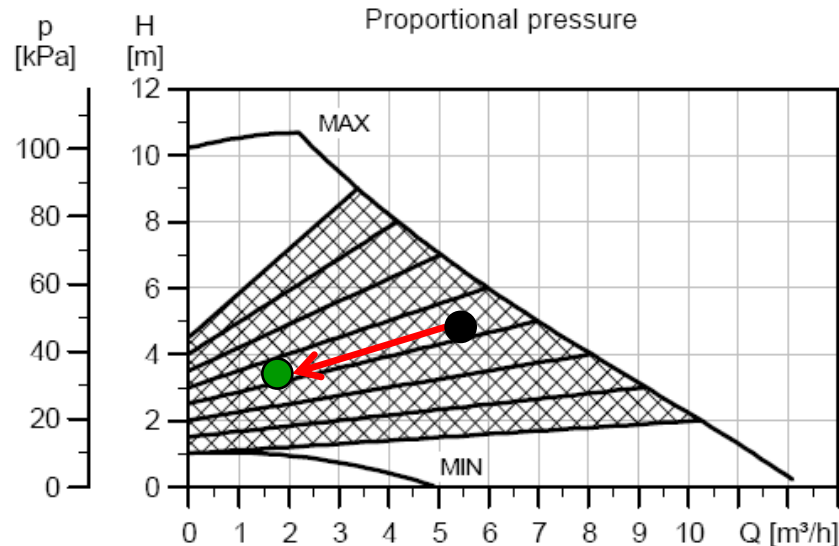
Non necessari circuiti  
idraulici e commutazioni  
per la connessione del  
bollitore all'impianto  
principale



La **potenza non è lineare con la portata**. Inizialmente, la potenza aumenta molto rapidamente con la portata e poi tende ad un valore massimo.



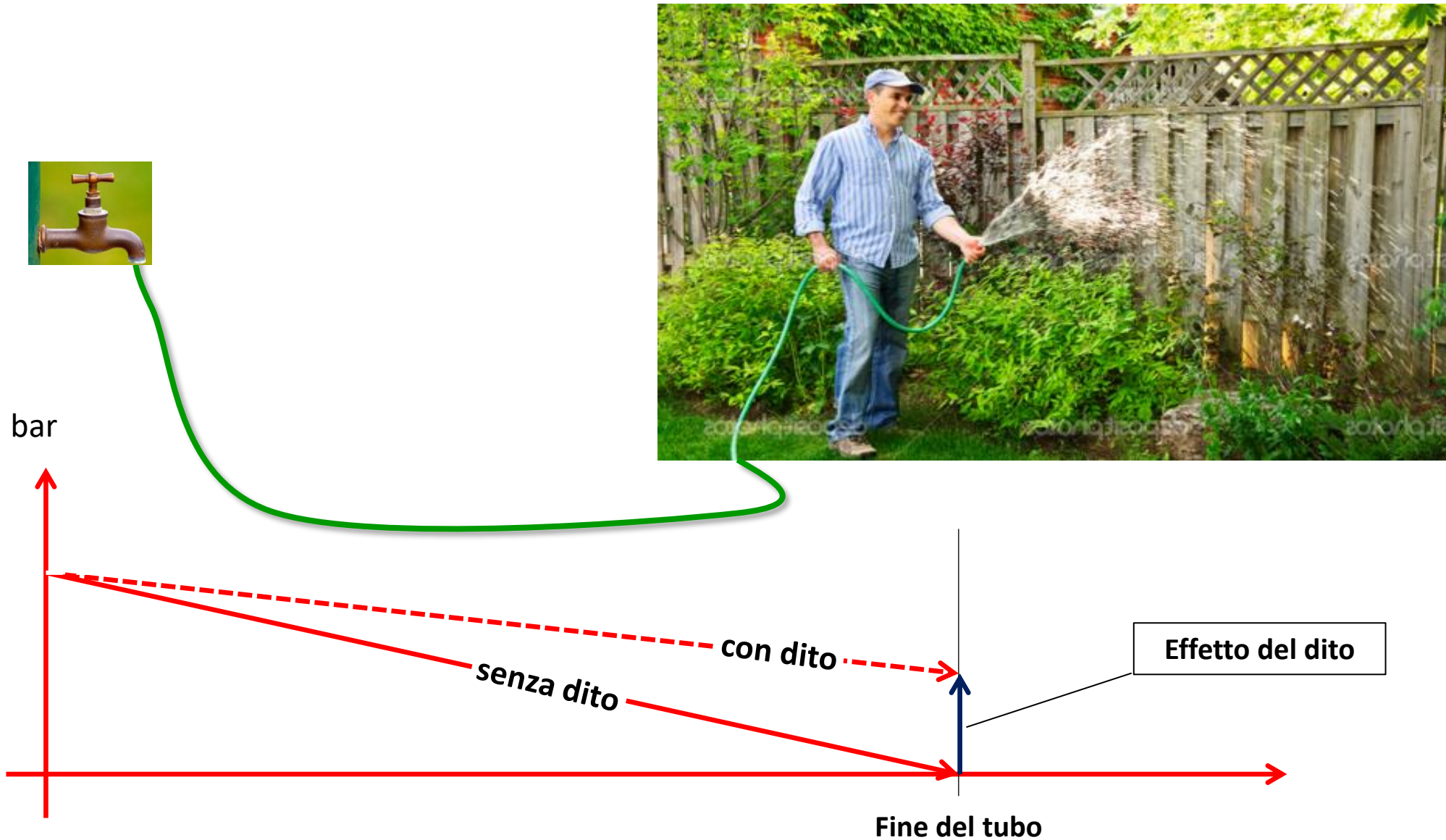




## Effetto dell'installazione delle valvole termostatiche in un condominio di 16 appartamenti a Padova

	PRIMA	DOPO
Radiatori	130 kW	130 kW
Caldaia	250 kW	116 kW
Pompa	25 m <sup>3</sup> /h	5 m <sup>3</sup> /h
Portata media	~ 20 m <sup>3</sup> /h	2 m <sup>3</sup> /h

← Punto di lavoro di progetto e medio effettivo della pompa installata



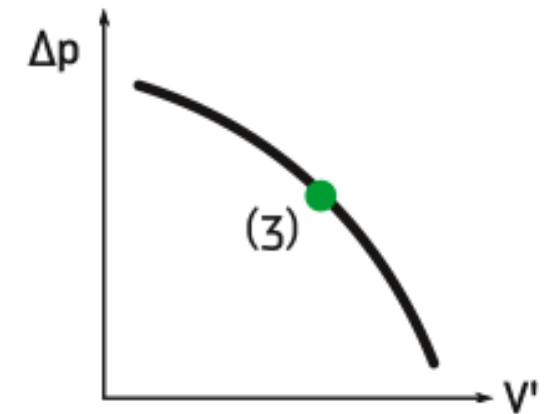
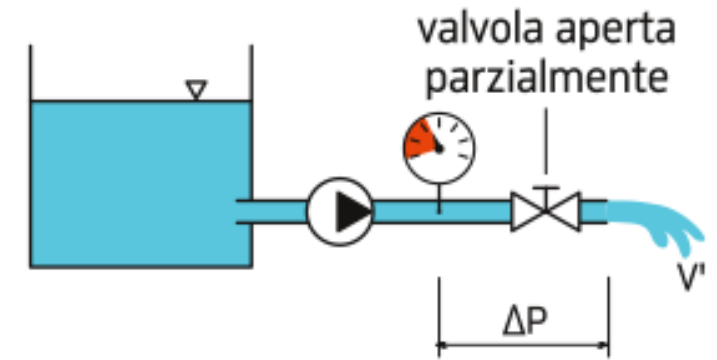
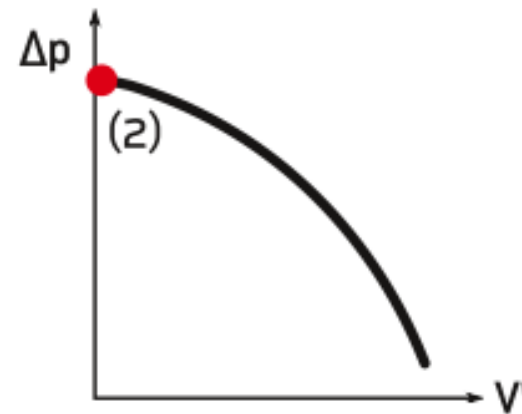
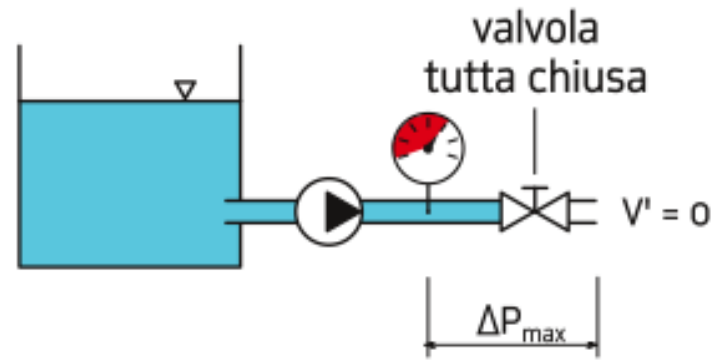
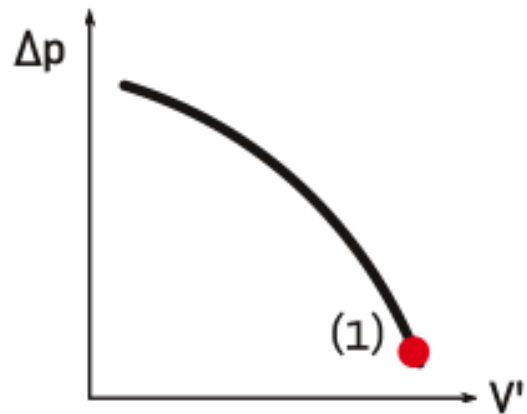
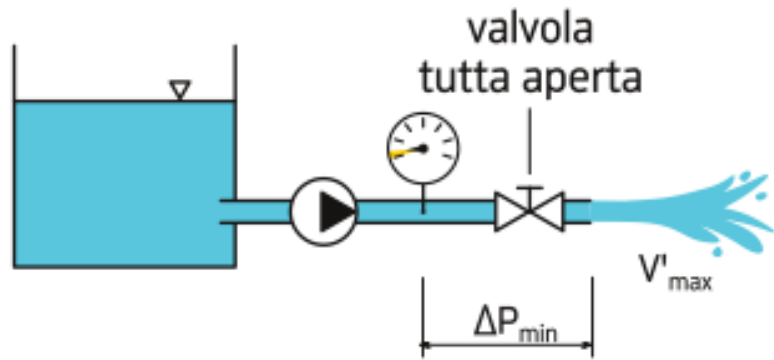
- Non appena si riduce un po' la portata utilizzando una valvola di regolazione:
  - le perdite di carico diminuiscono ovunque rapidamente
  - ... eccetto che sull'otturatore, **dove si concentrano**

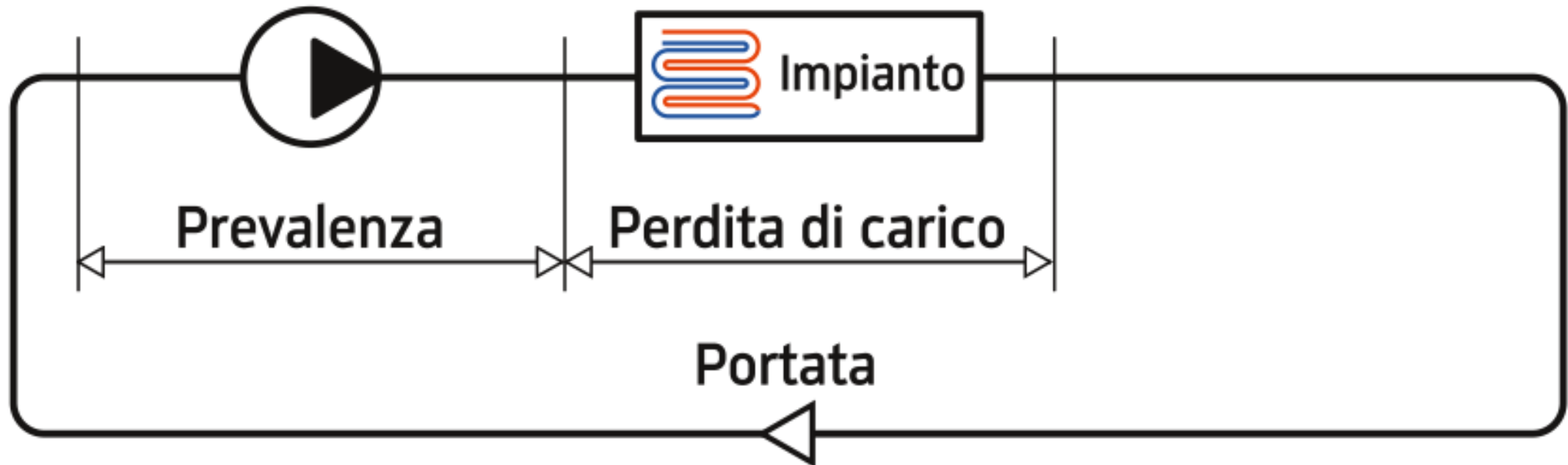
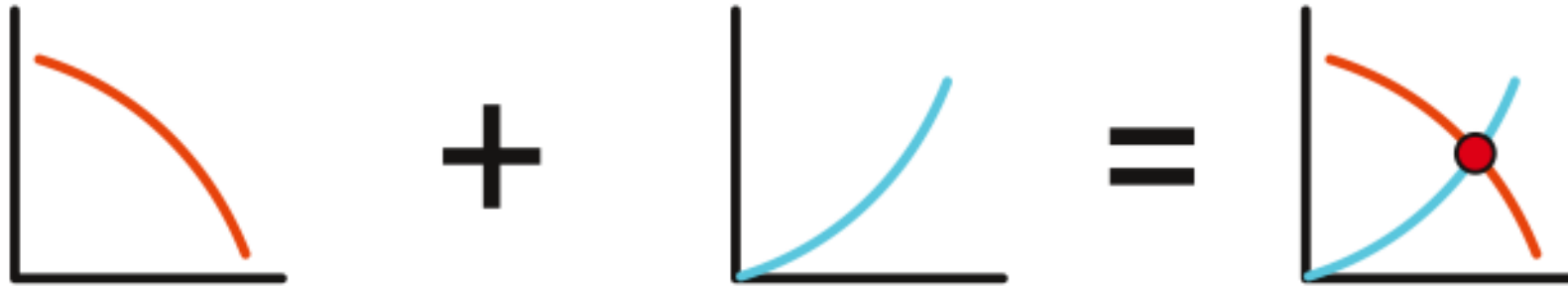
**Per dimensionare i circuiti a portata variabile occorre:**

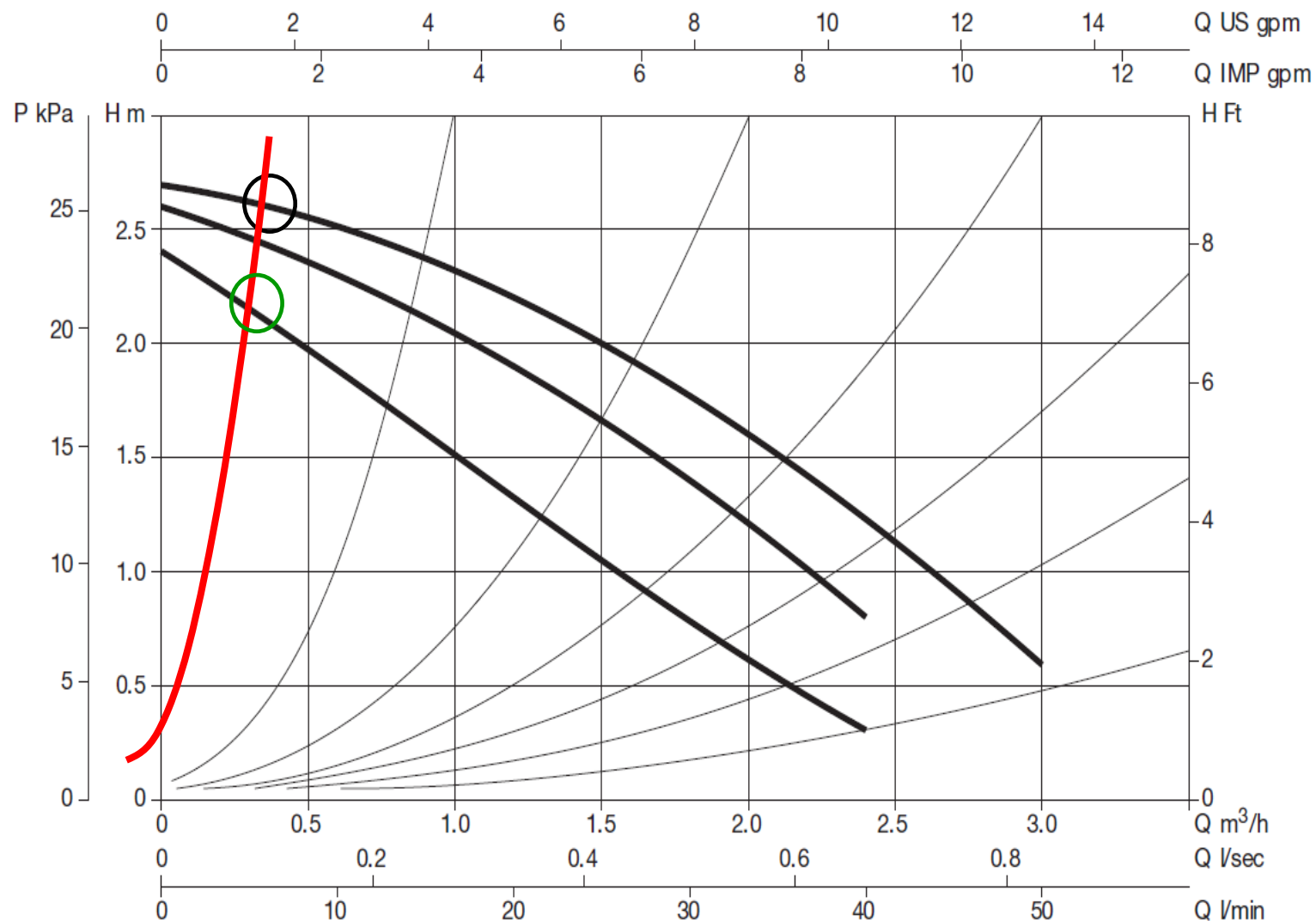
- **Dimensionarli a portata massima**  
(dimensione pompa, equilibratura di base)
- **Verificare il funzionamento a portata minima**  
(tutta la pressione minima di pompa sulle valvole)



**Tipiche pompe centrifughe per impianti di riscaldamento («circolatori»)  
Spesso ce n'è una integrata nel generatore di calore**





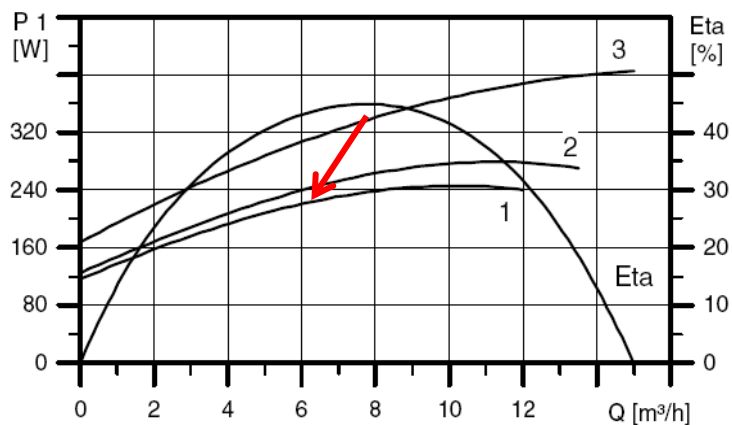
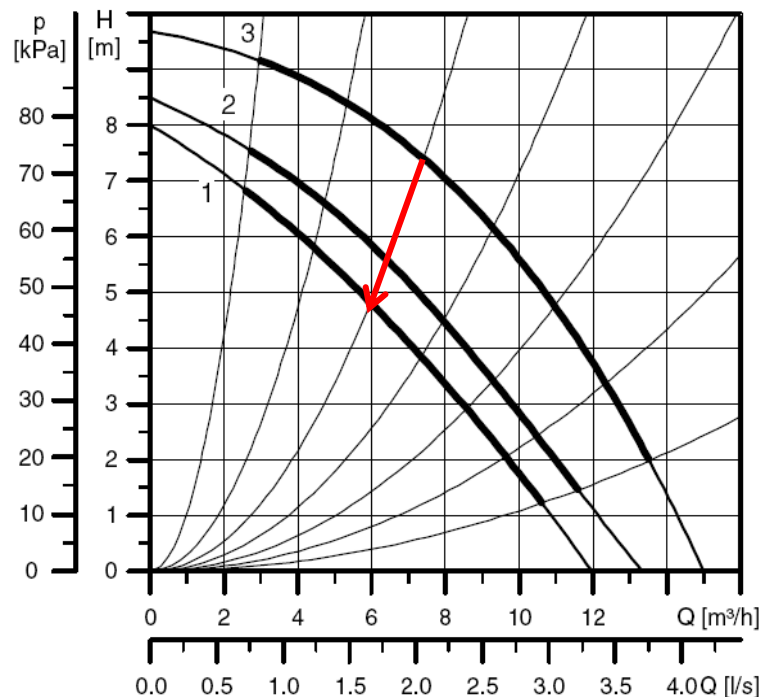


Il punto blu è quello di funzionamento se la pompa è impostata su 3 (43 W)

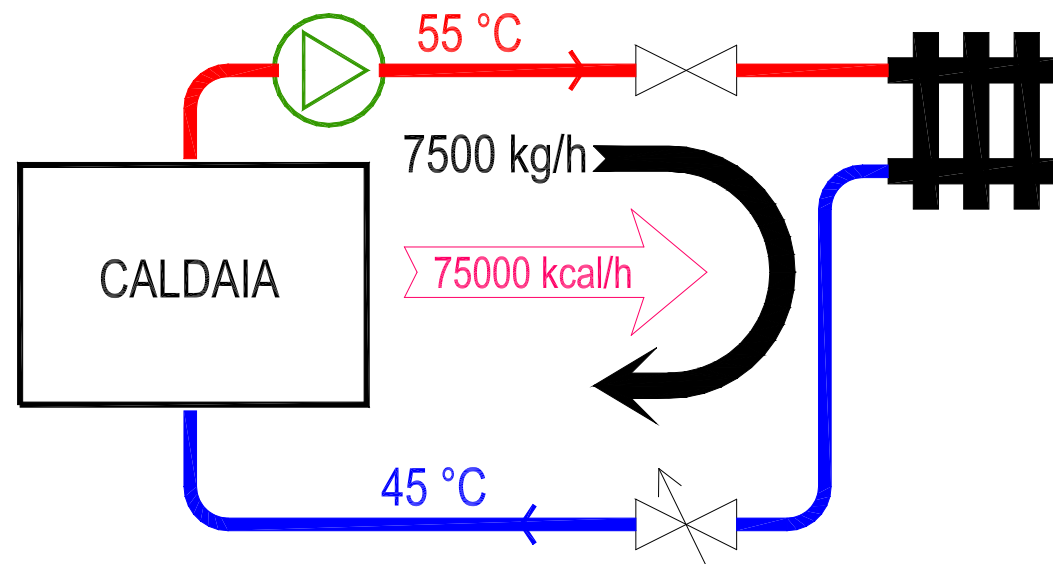
Il punto verde è il punto di progetto dell'impianto.

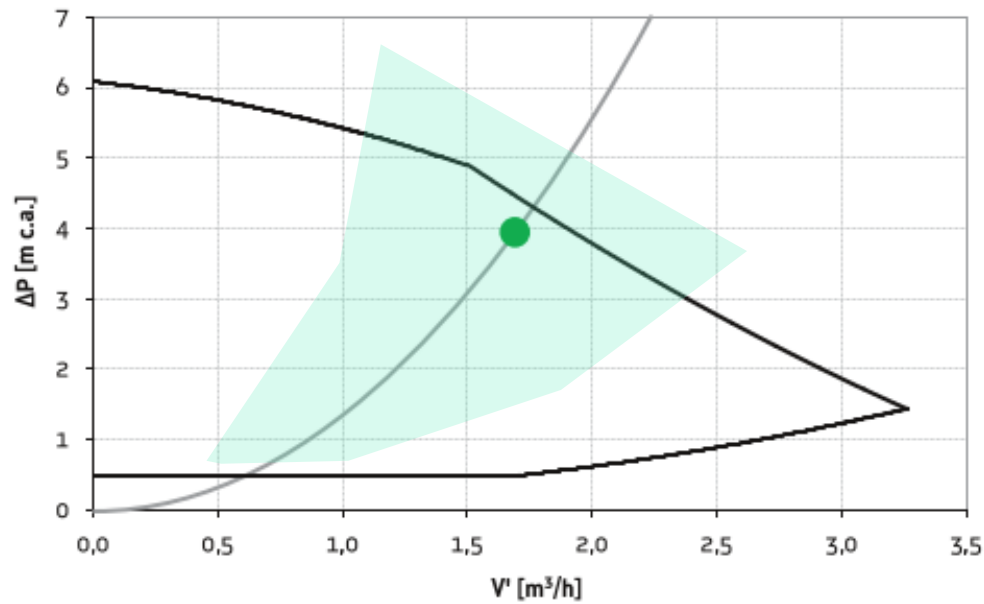
In posizione 1 la potenza è di 31 W

Sul grafico sono riportate delle parabole che rappresentano il comportamento tipico di un impianto. La curva rossa è quella dell'impianto complessivo

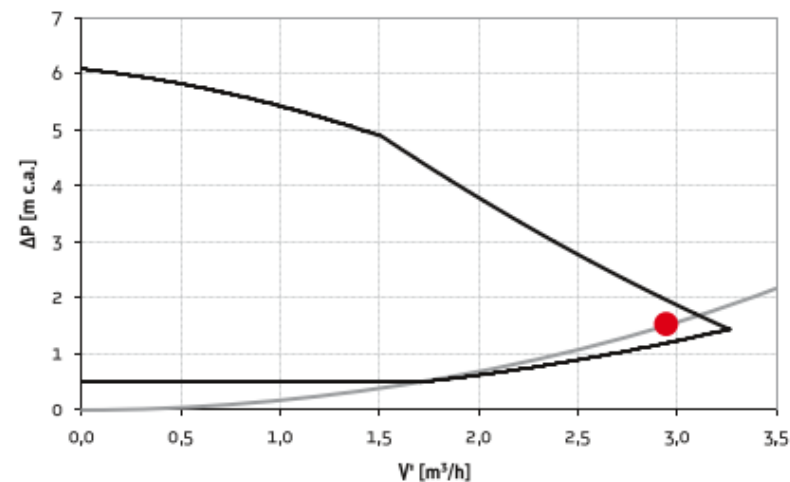
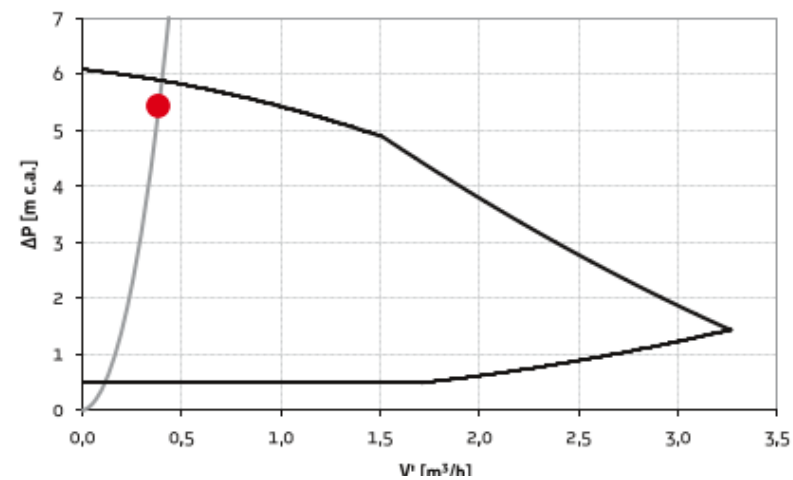


Cosa succede in un circuito semplice passando da 3 ad 1... ben poco!

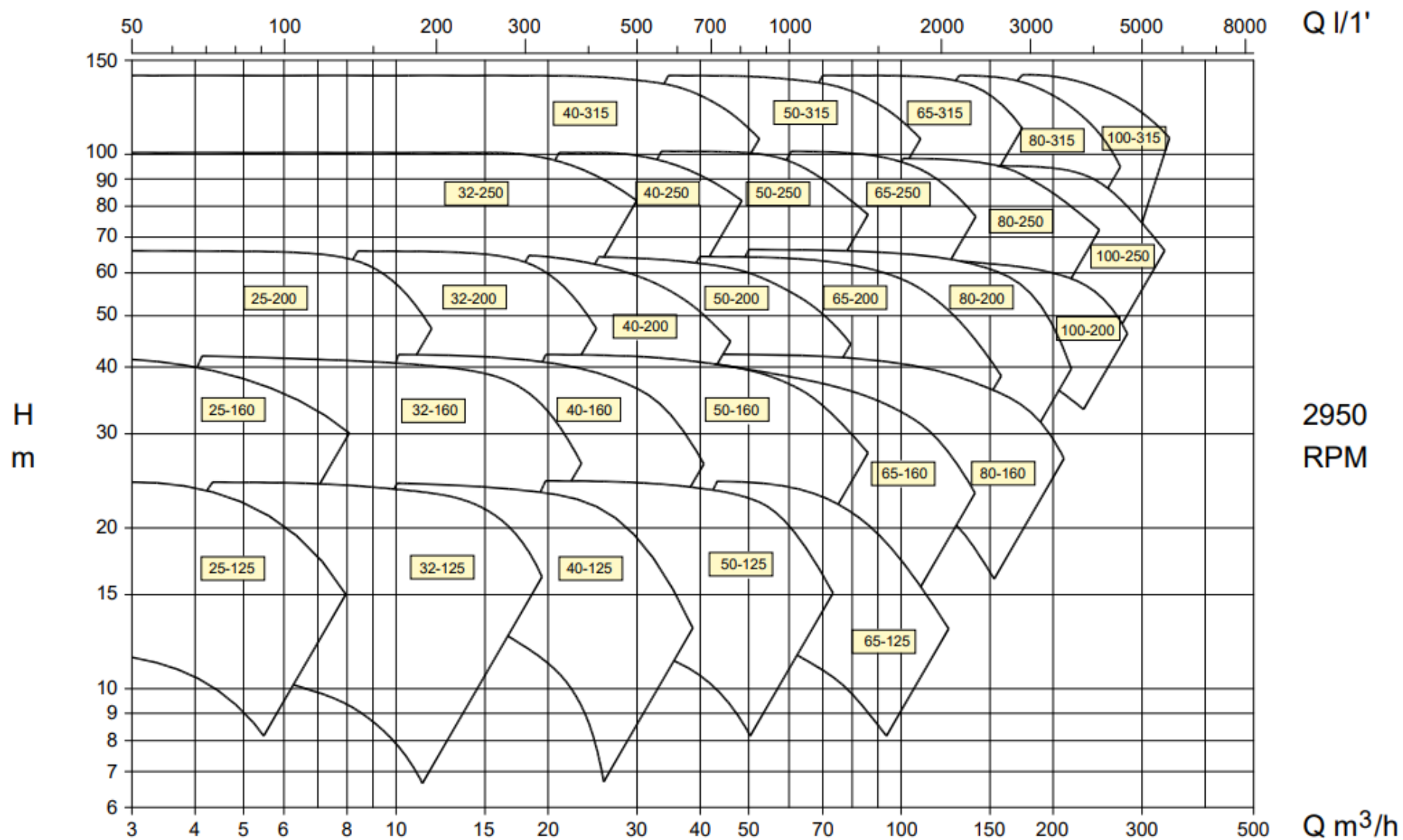




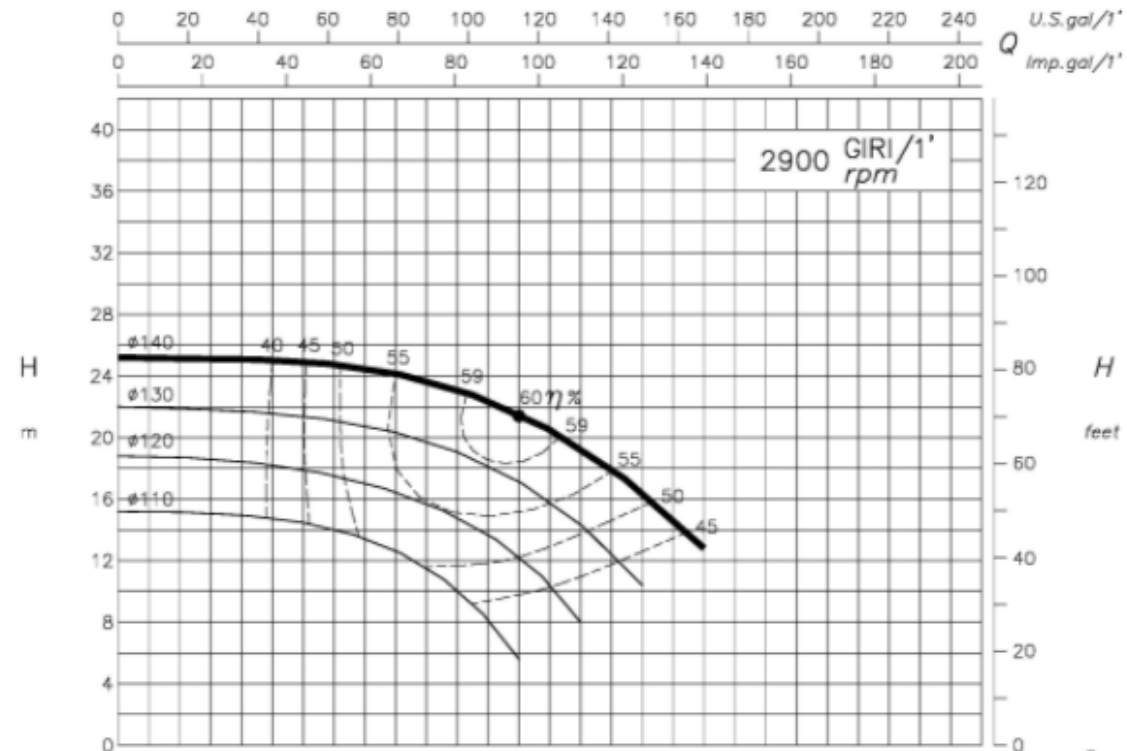
**SI**



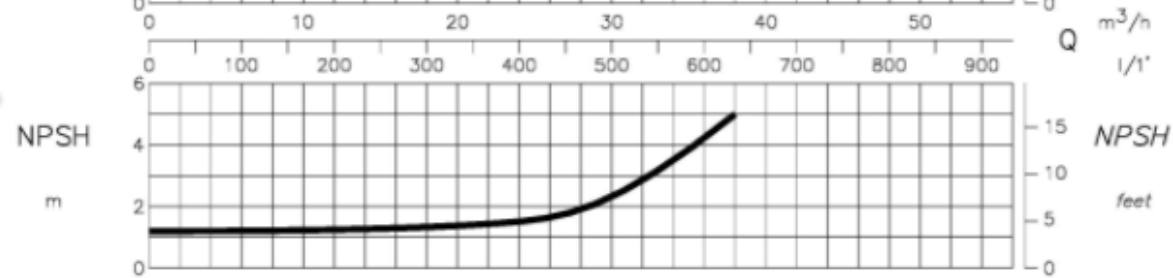
**NO**



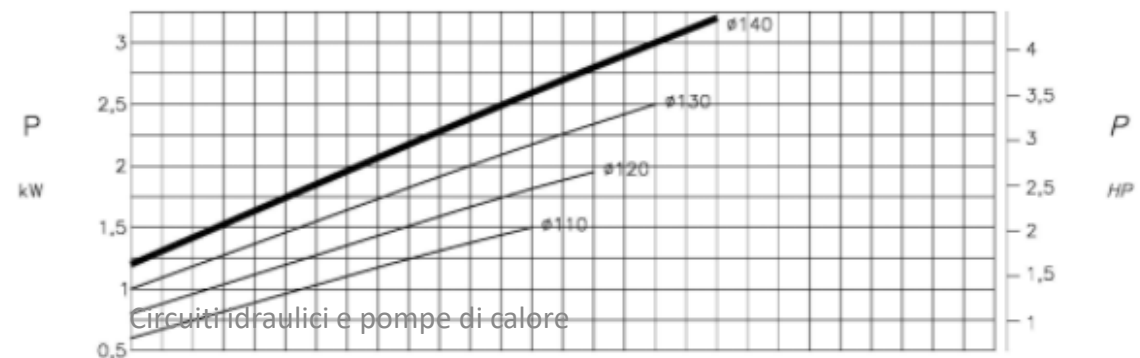
Prestazioni idrauliche



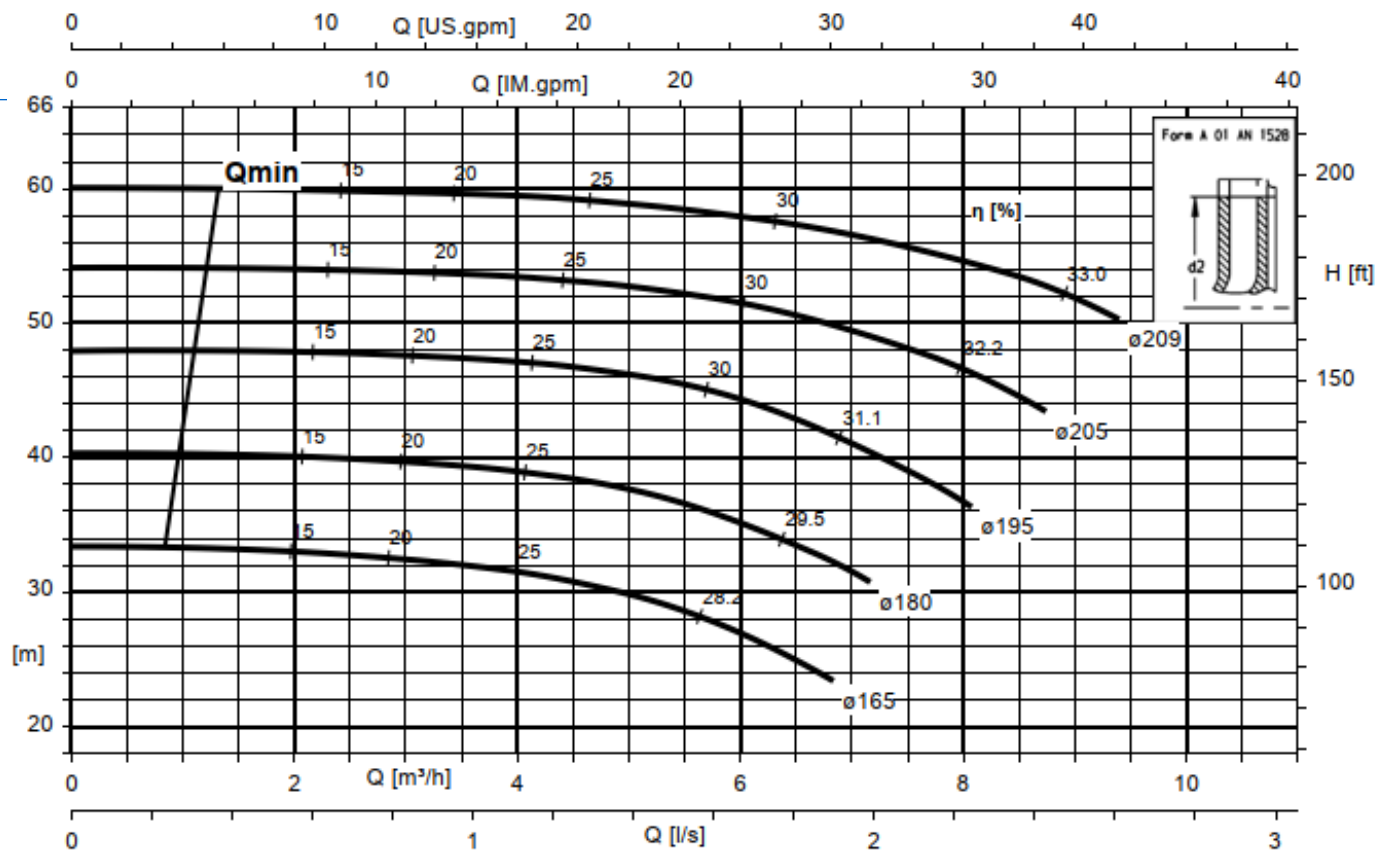
Limite di aspirazione



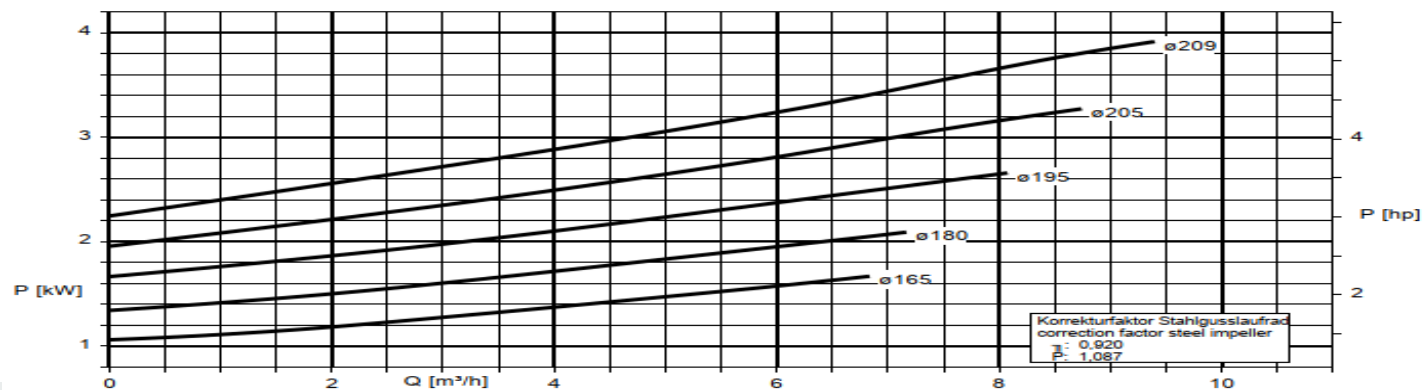
Consumi elettrici



Curve di portata e prevalenza



Curve di assorbimento elettrico





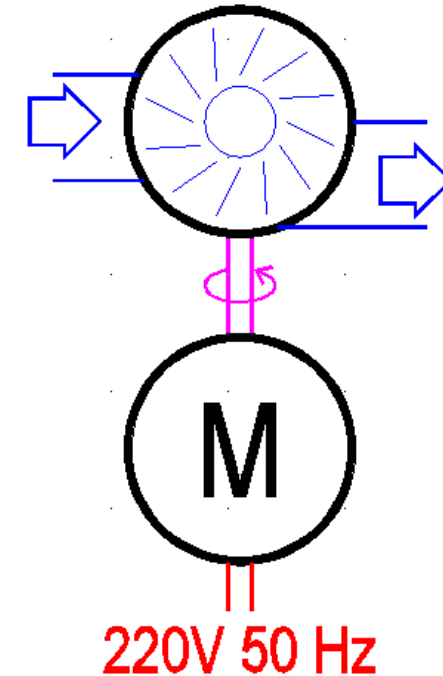
**Si utilizzano nei circuiti a portata variabile  
Inoltre i motori hanno efficienza molto elevate anche  
nel funzionamento a giri fissi  
(direttiva ERP → tutti elettronici)**

**Devono essere parametrizzati**

$$P_{idr} = \Delta P \times Q \rightarrow W = Pa \times m^3/s$$

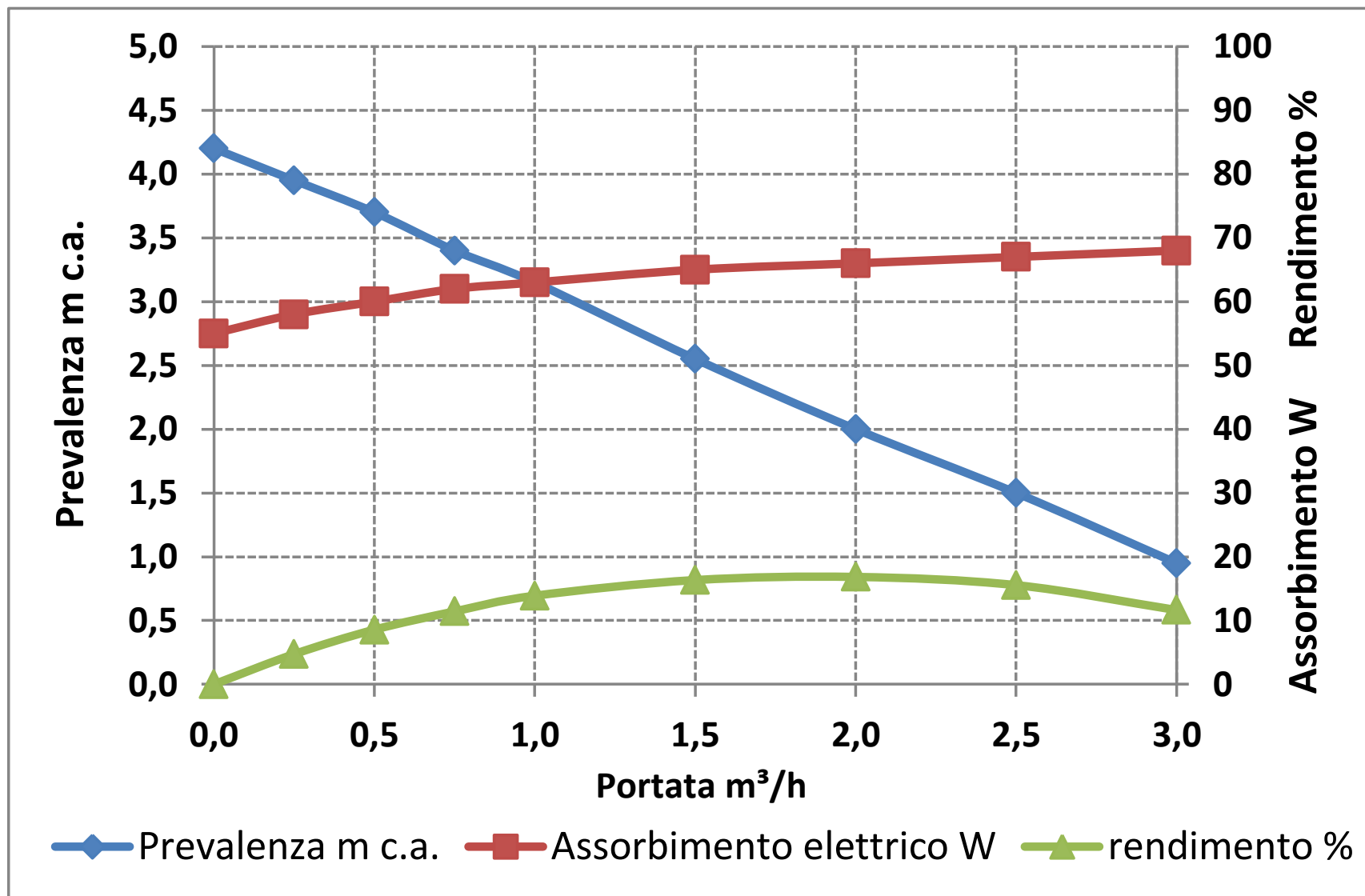
**Rendimento idraulico:**  $\frac{\text{potenza idraulica}}{\text{potenza all'asse}} = ?$

**Rendimento elettrico:**  $\frac{\text{potenza all'asse}}{\text{potenza elettrica}} = ?$



## RENDIMENTO GLOBALE DI UN PICCOLO CIRCOLATORE?

Portata		Prevalenza		Potenza idraulica	Potenza elettrica	Rendimento
m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /s	m c.a.	Pa	W	W	%
0	0	4,2	42.000	0,0	55	<b>0,0</b>
0,25	6,944E-05	3,95	39.500	2,7	58	<b>4,7</b>
0,5	1,389E-04	3,7	37.000	5,1	60	<b>8,6</b>
0,75	2,083E-04	3,4	34.000	7,1	62	<b>11,4</b>
1	2,778E-04	3,15	31.500	8,8	63	<b>13,9</b>
1,5	4,167E-04	2,55	25.500	10,6	65	<b>16,3</b>
2	5,556E-04	2	20.000	11,1	66	<b>16,8</b>
2,5	6,944E-04	1,5	15.000	10,4	67	<b>15,5</b>
3	8,333E-04	0,95	9.500	7,9	68	<b>11,6</b>



Al variare del numero di giri...

- La portata è proporzionale al numero di giri/minuti

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

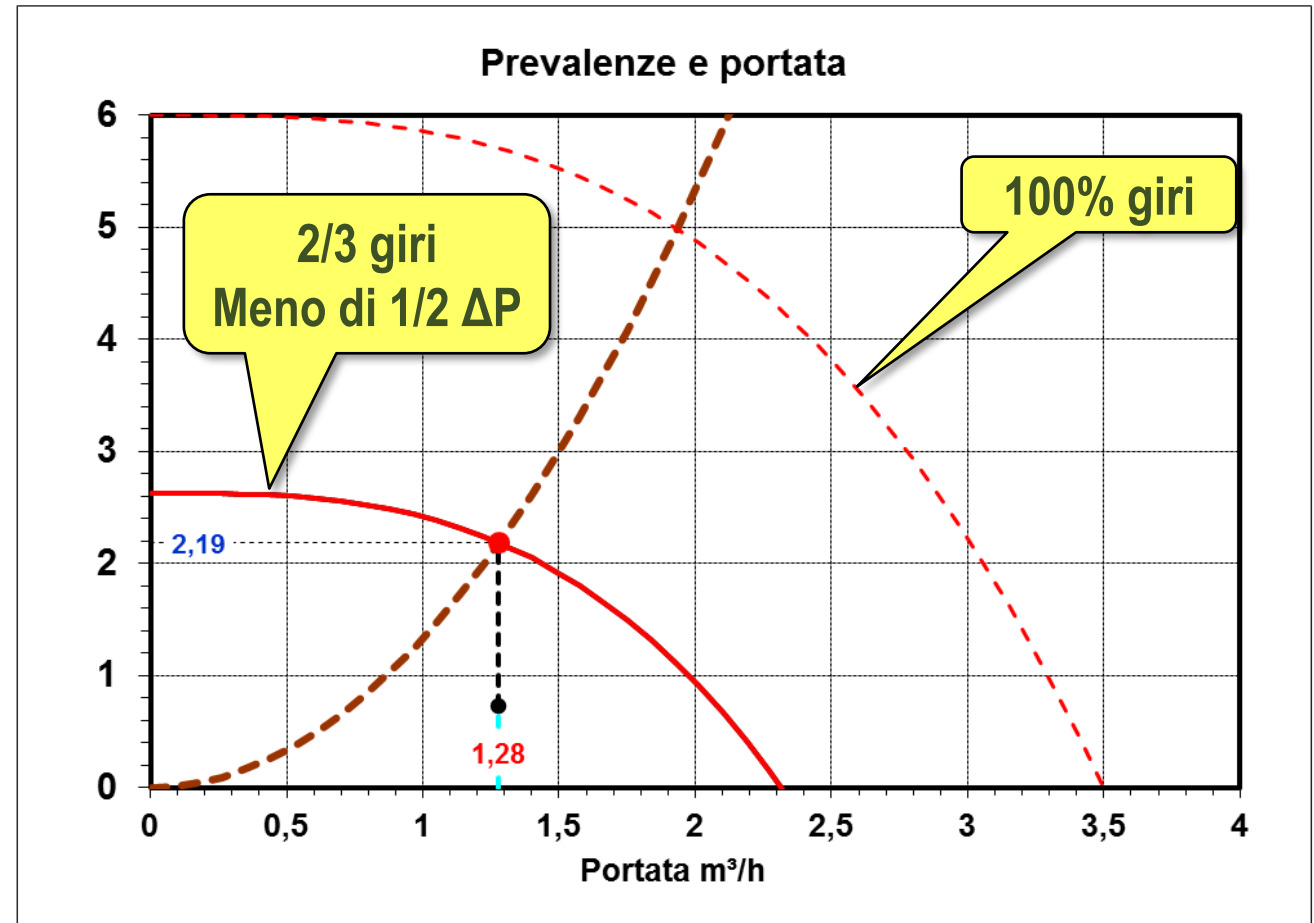
- La prevalenza è proporzionale al quadrato dei giri/minuto

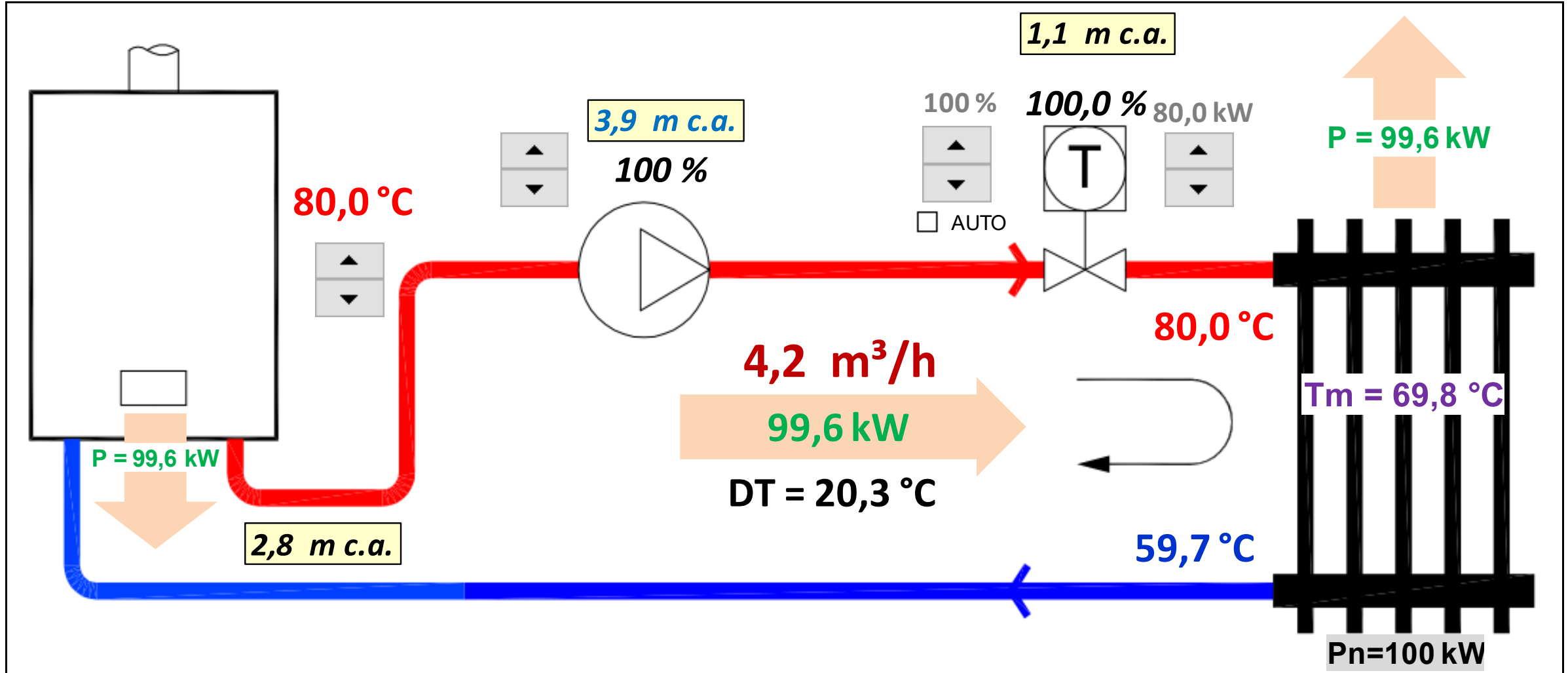
$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

- La potenza è proporzionale al cubo dei giri/minuto

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3$$

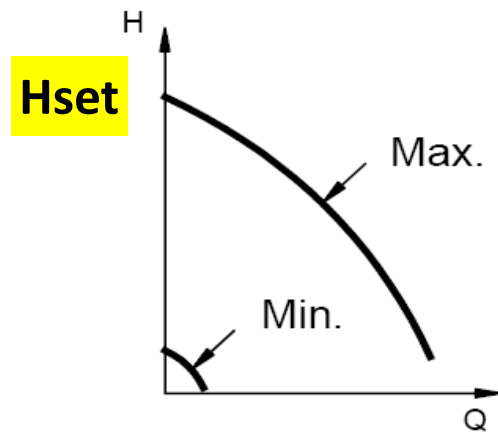
... se non si modifica il circuito idraulico ma solo la velocità di rotazione della pompa



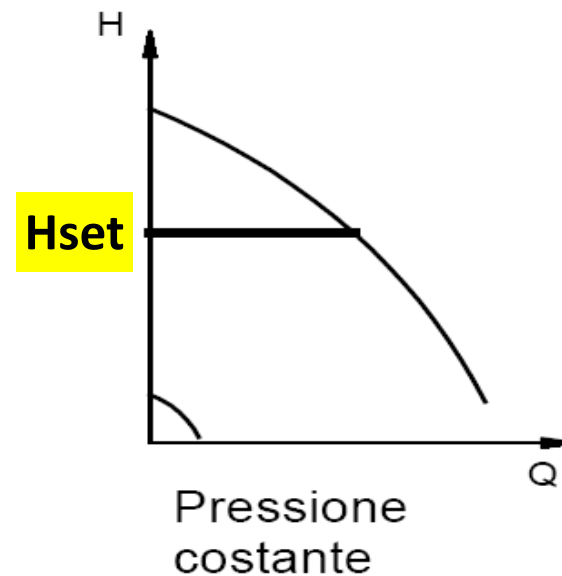


Dispositivo a controllo elettronico → parametrizzazione

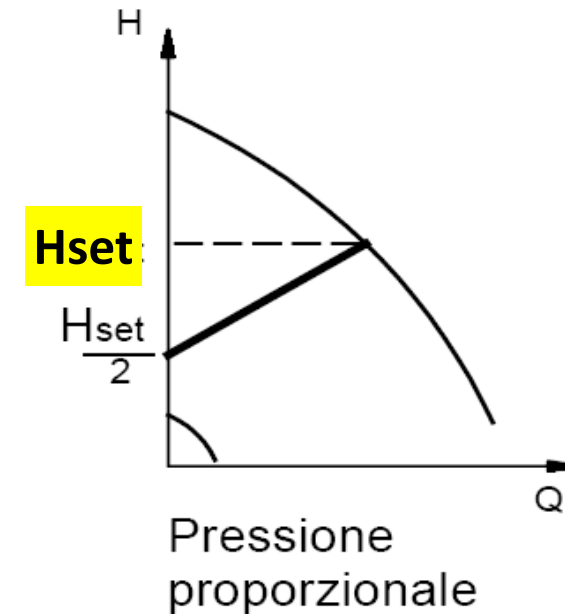
A giri fissi



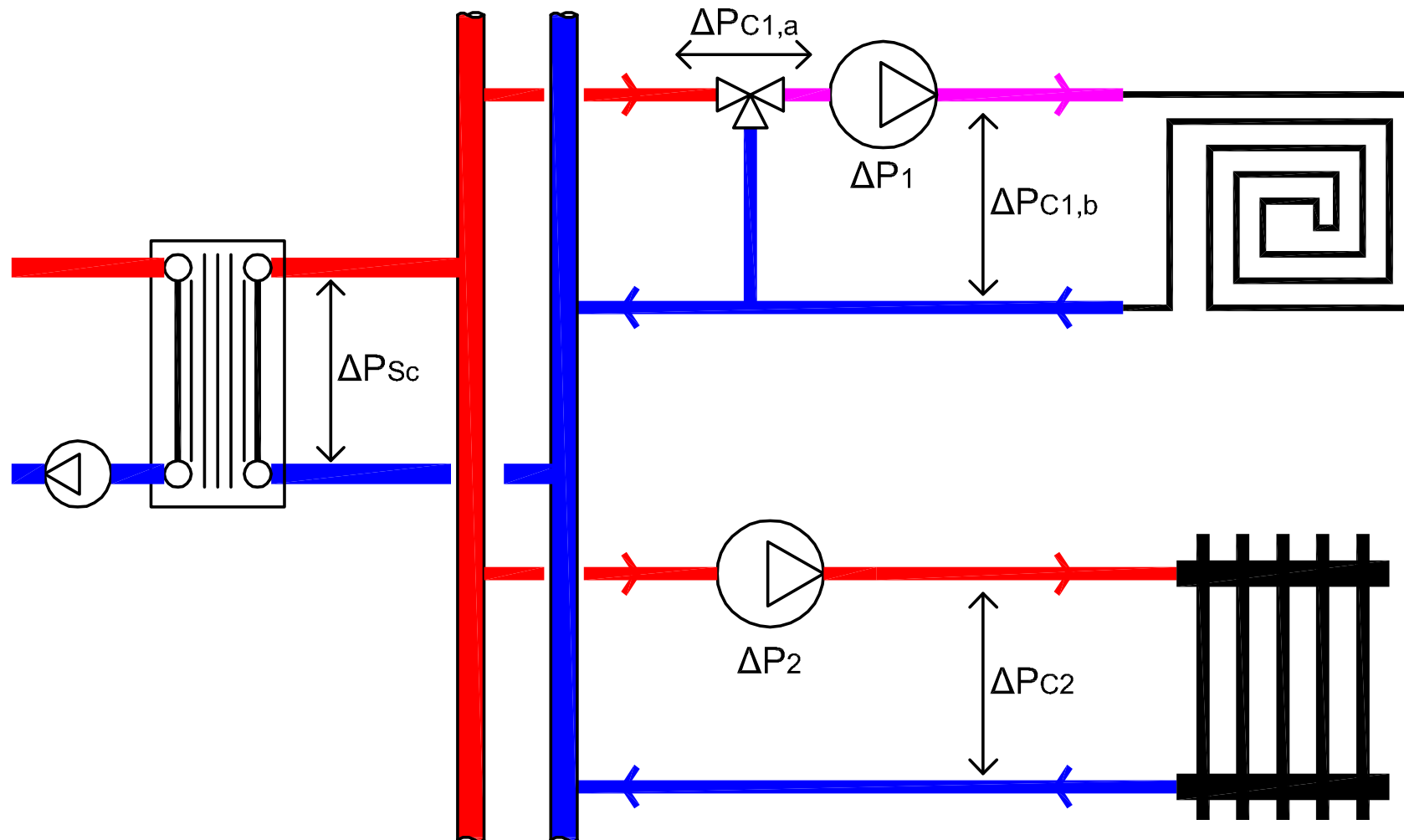
A pressione costante  
→ impianti a zone



A pressione proporzionale  
→ valvole termostatiche



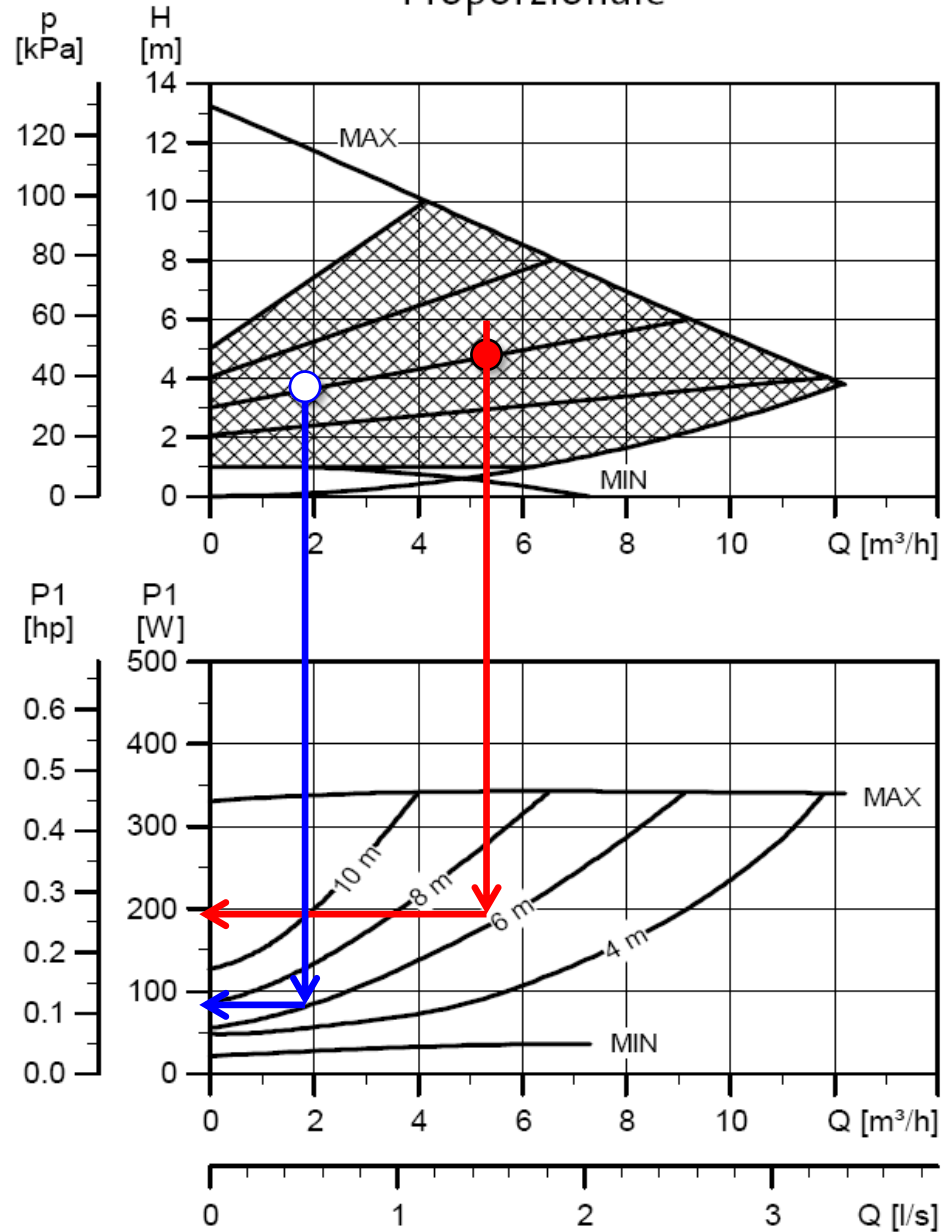
- **Pressione costante:** è la soluzione più comune. La prevalenza deve essere impostata uguale a quella richiesta in condizioni di bilanciamento
- **Pressione proporzionale:** da utilizzare con valvole termostatiche ed in altri casi particolari. Richiede un impianto ben sfiatato per evitare lo stallo all'avviamento  
(prevalenza minima a portata nulla)
- **Giri fissi:** da utilizzare in connessione con comando a distanza della velocità di rotazione fondato su logiche specifiche (ad esempio BMS)
- **DT costante:** nel caso delle pompe primarie di generatori in parallelo



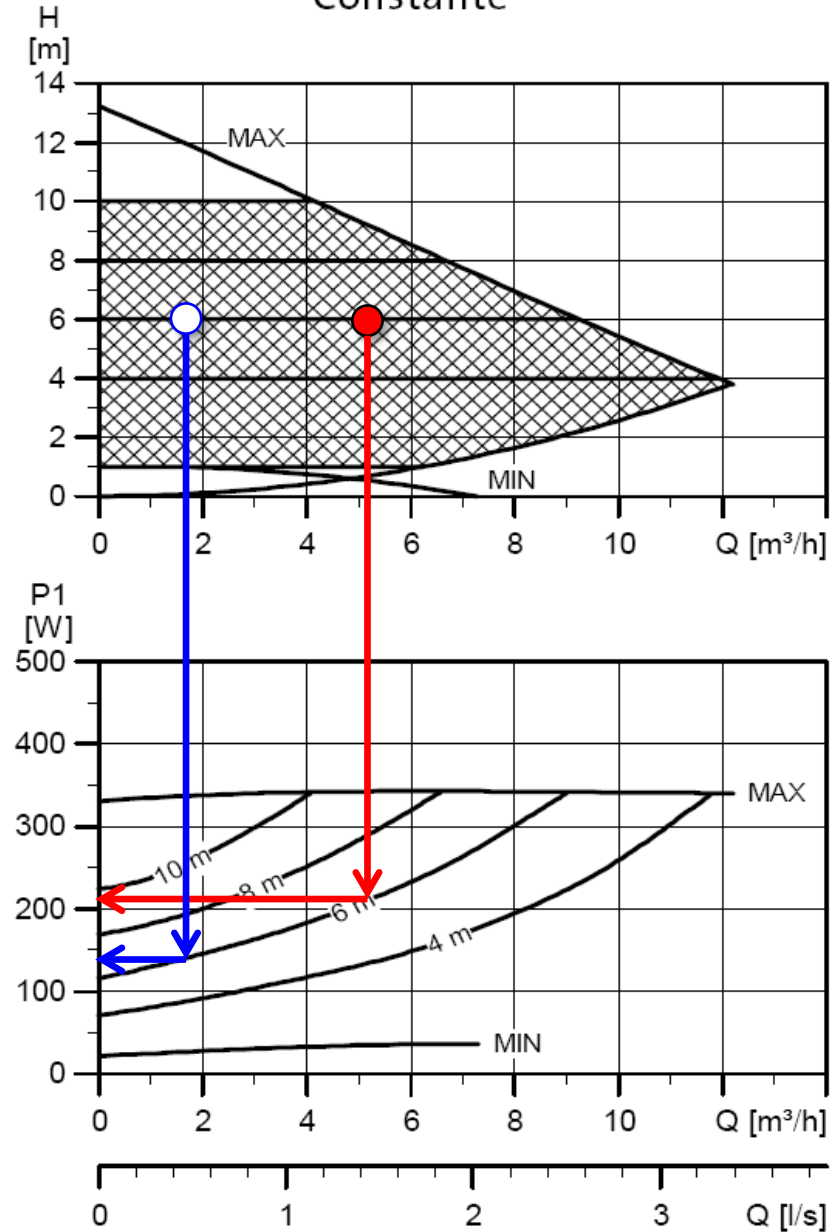
Nel caso ci siano più circuiti utenti collegati ad uno scambiatore (o, comunque, ad un tratto comune con elevata perdita di carico, le pompe P1 e P2 devono essere tarate a pressione costante ed uguali fra loro.

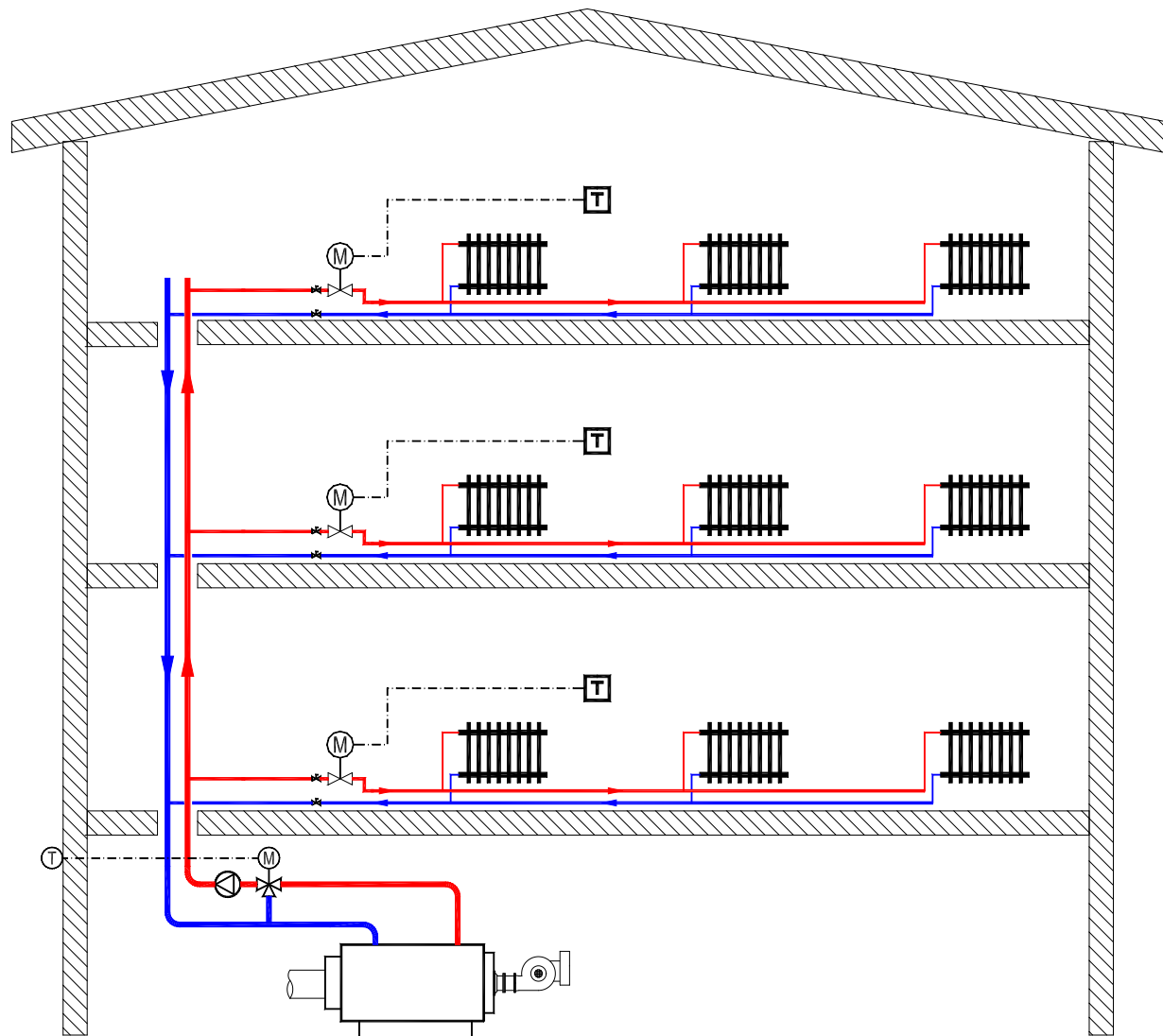
Se la perdita di carico sullo scambiatore  $\Delta P_{Sc}$  supera la prevalenza di una delle due pompe P1 o P2, questa va in stallo o si inverte la circolazione nella rispettiva zona

## Proporzionale



## Costante



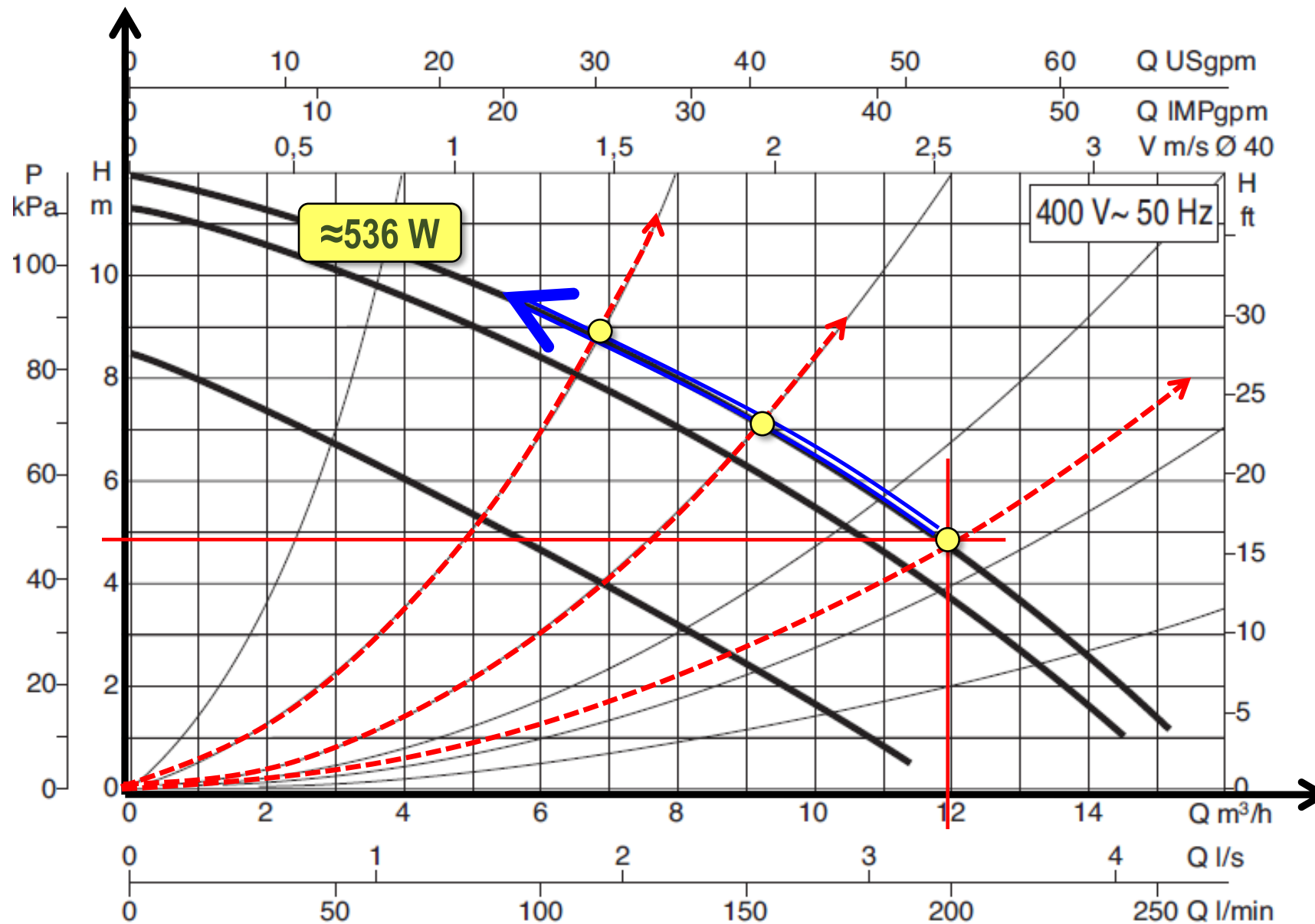


**Potenza totale  
130 kW termici**

**Portata 11,3 m<sup>3</sup>/h  
con  $\Delta t$  10 °C**

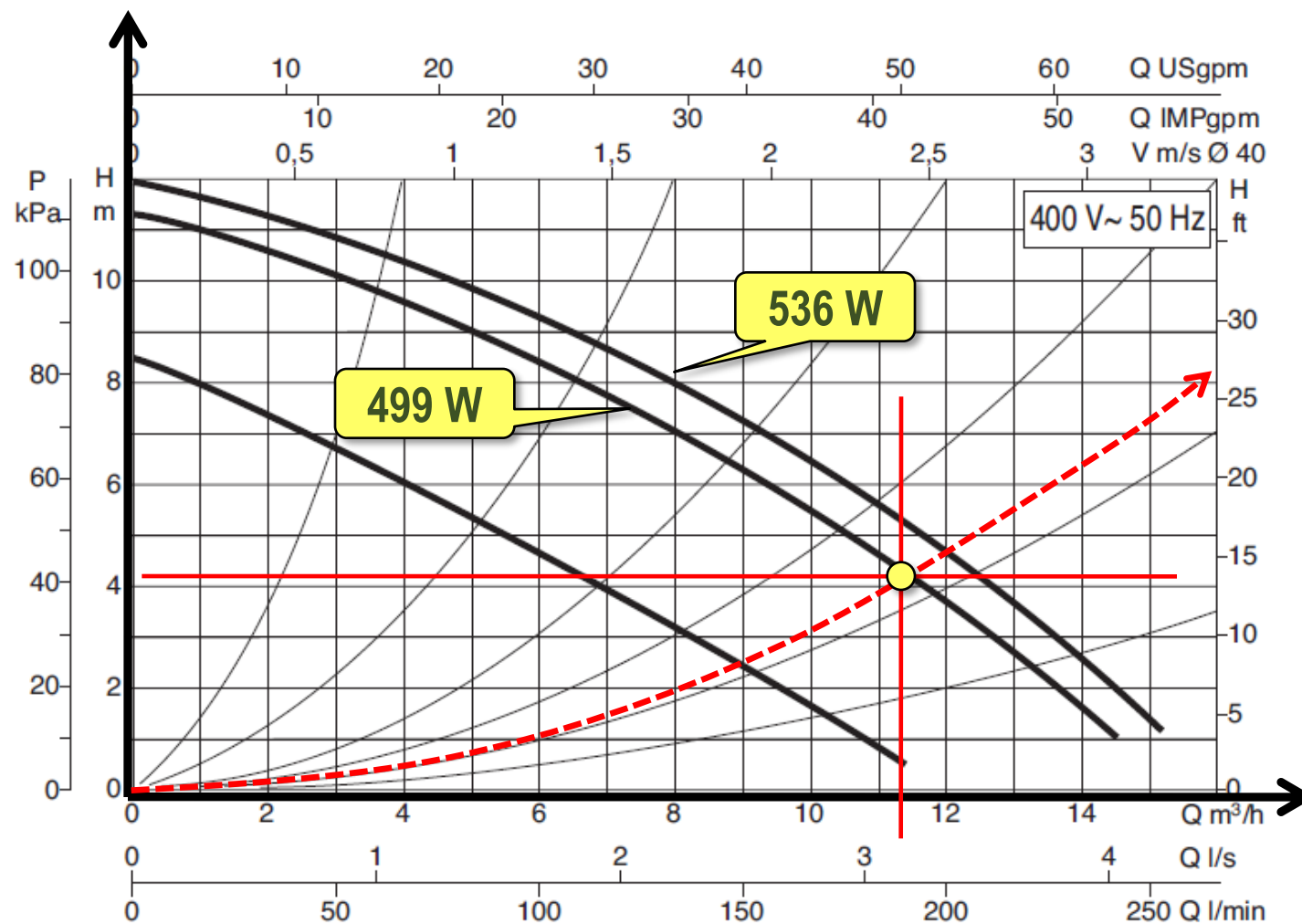
**Perdite di carico:  
Radiatori: 0,5 m c.a.  
Tubazioni: 1,7 m c.a.  
3vie/caldaia: 2,0 m c.a.  
TOTALE 4,3 m c.a.**

**... la portata è variabile**



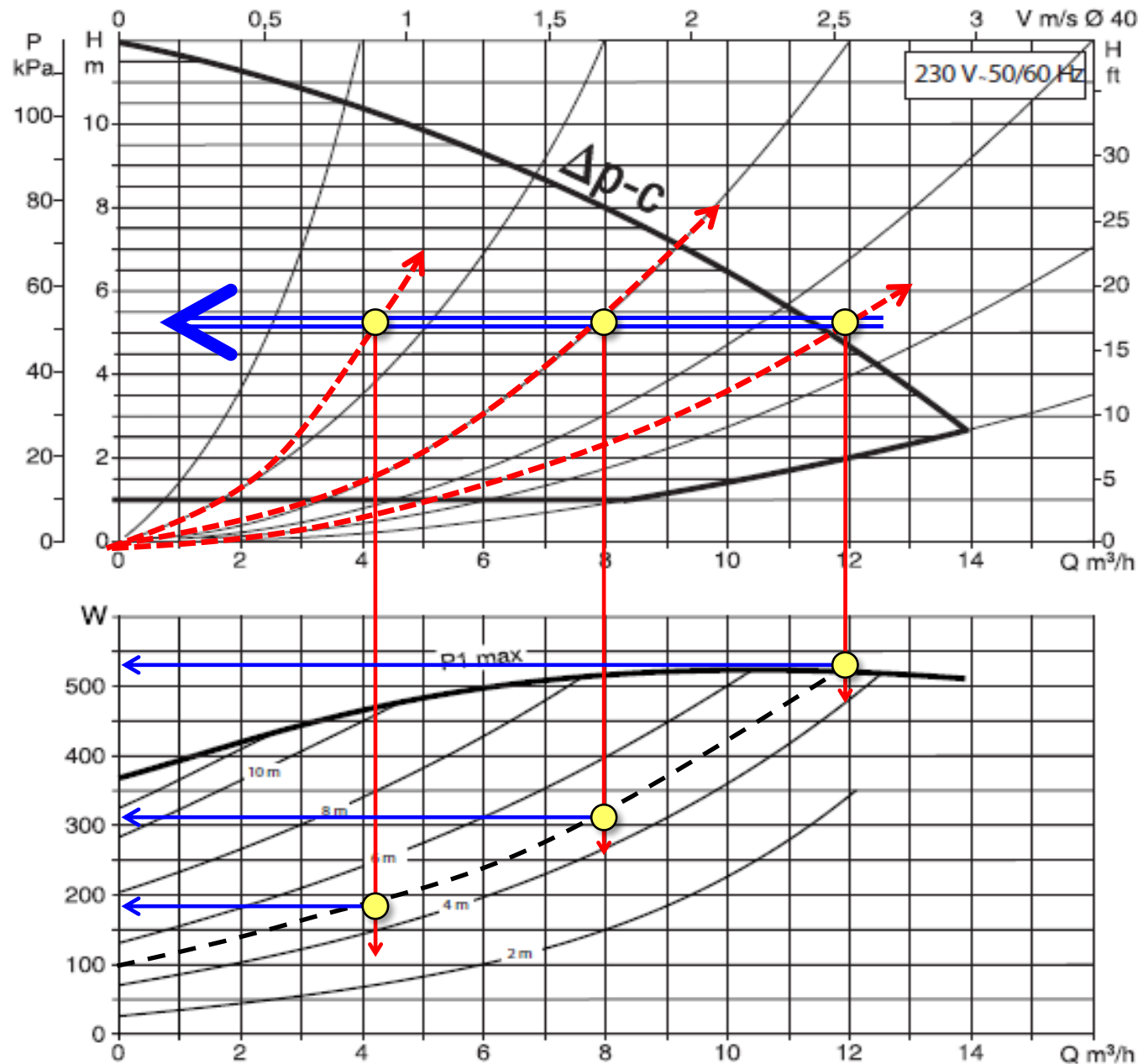
Con la pompa a giri fissi...

La potenza assorbita è quasi costante, la prevalenza aumenta



Con la pompa a giri fissi...

Il cambiamento di velocità ha effetti trascurabili...



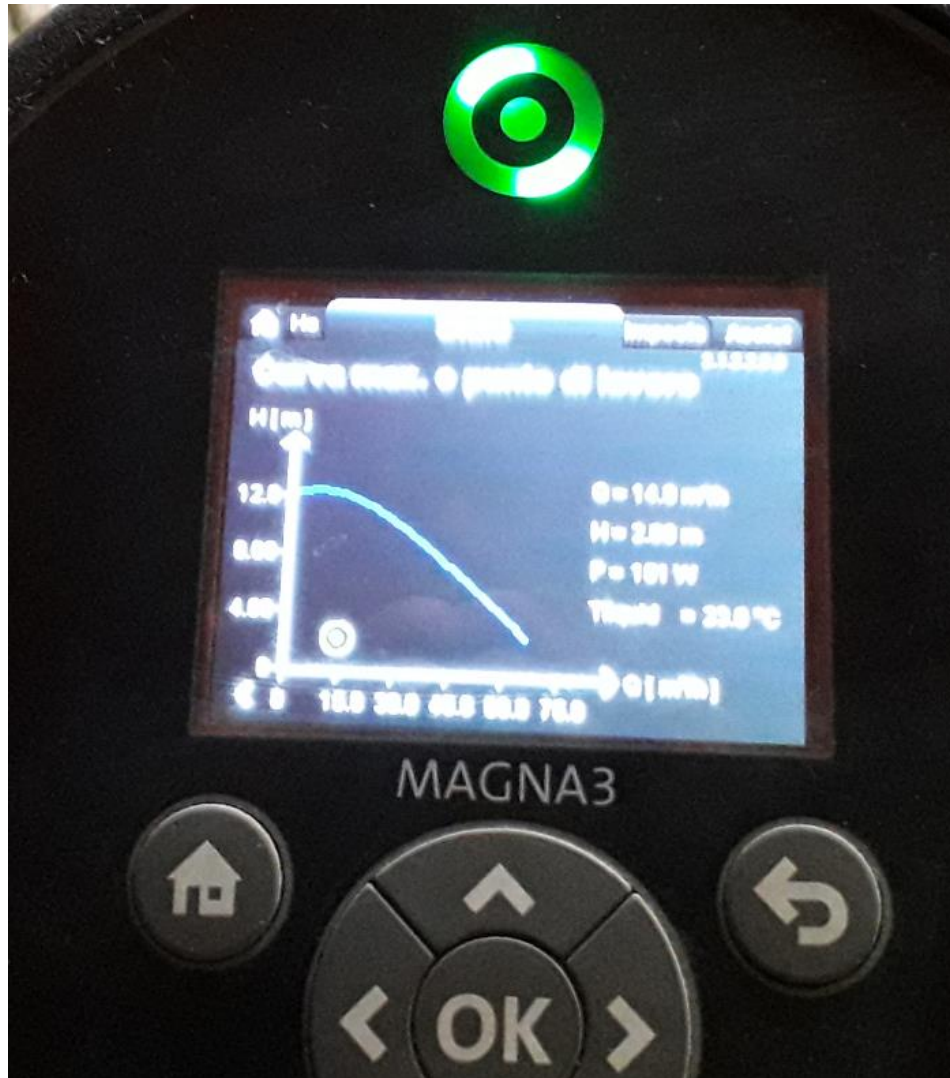
Con la pompa a giri variabili impostata a pressione costante

Si riduce la potenza assorbita con la riduzione della portata:  
 $\approx 500 \rightarrow 100 \text{ W}$

La prevalenza non aumenta inutilmente

- Se la **portata è costante**, i consumi elettrici sono sempre pari a quelli massimi:
  - Solo compensazione climatica
  - Valvole a tre vie
- Se la **portata è variabile**, le **perdite di carico sono molto variabili**:
  - **ma se la pompa è a giri fissi**
    - la potenza assorbita cambia pochissimo
  - **se invece la pompa è elettronica** (correttamente impostata)
    - si riduce la potenza assorbita in ragione della prevalenza e della portata richieste,

- La pompa a giri variabili fa il suo lavoro...
  - ... se varia i giri ...
  - Una pompa a giri variabili sovradimensionata non può variare i giri, diventa una pompa a giri fissi
- La pressione varia col quadrato dei giri: se si deve fornire una pressione costante il campo di variazione dei giri si restringe notevolmente.
  - Con gli impianti a pressione sensibilmente costante (sollevamento acqua, distribuzione in pressione) la pompa a giri variabili dà flessibilità ma poca economia



Circa 40 appartamenti

Caldaia: 515 kW

Radiatori: 277 kW

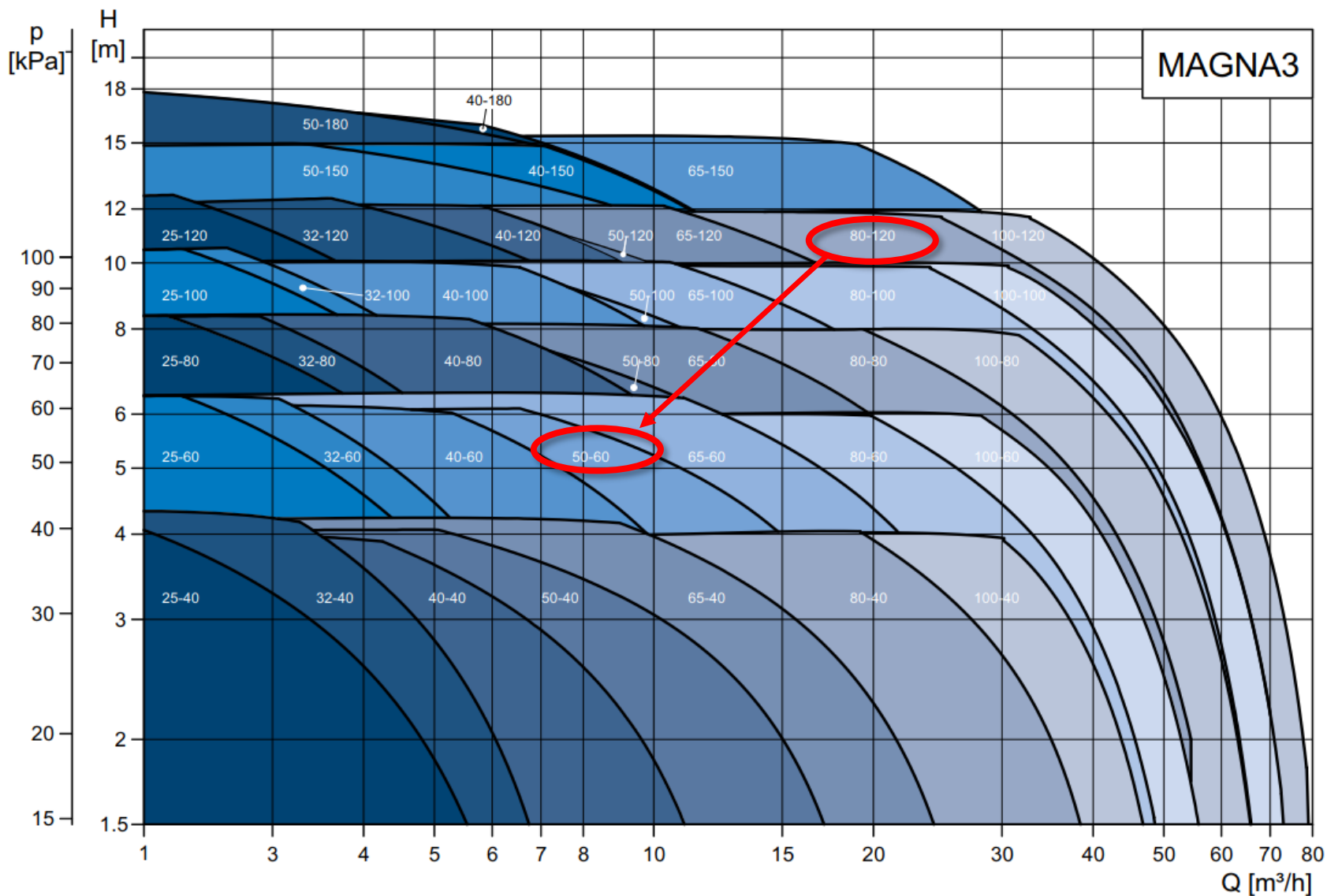
Stima potenza su consumi: 176 kW

Pompa installata

Magna 80-120 → 60 m<sup>3</sup>/h / 3,3 m c.a.

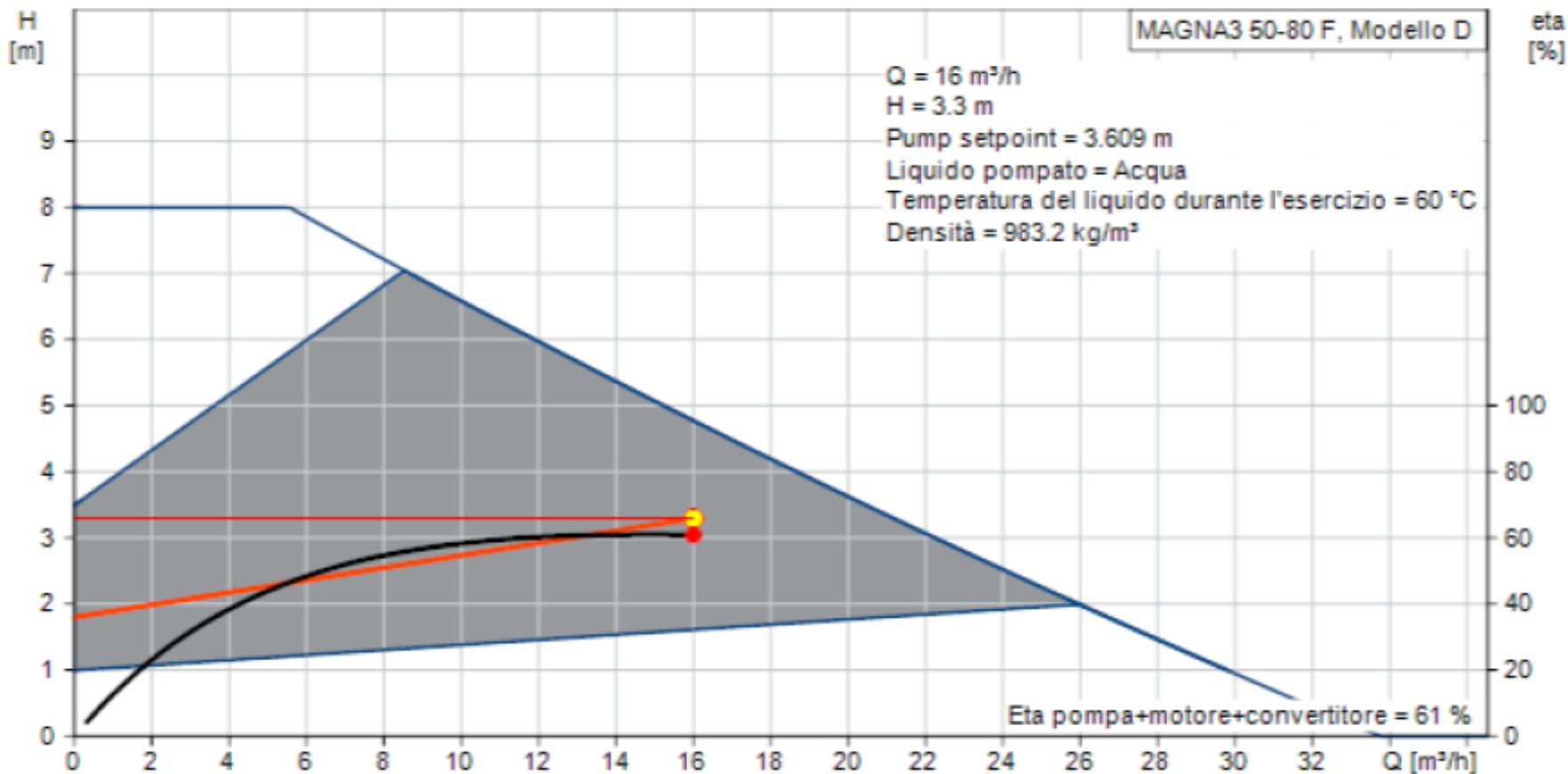
Punto di lavoro: 13 m<sup>3</sup>/h / 2,0 m c.a.

Risultato: RUMORE



Circa 40 appartamenti  
 Caldaia: 515 kW  
 Radiatori: 277 kW  
 Stima potenza su consumi: 176 kW

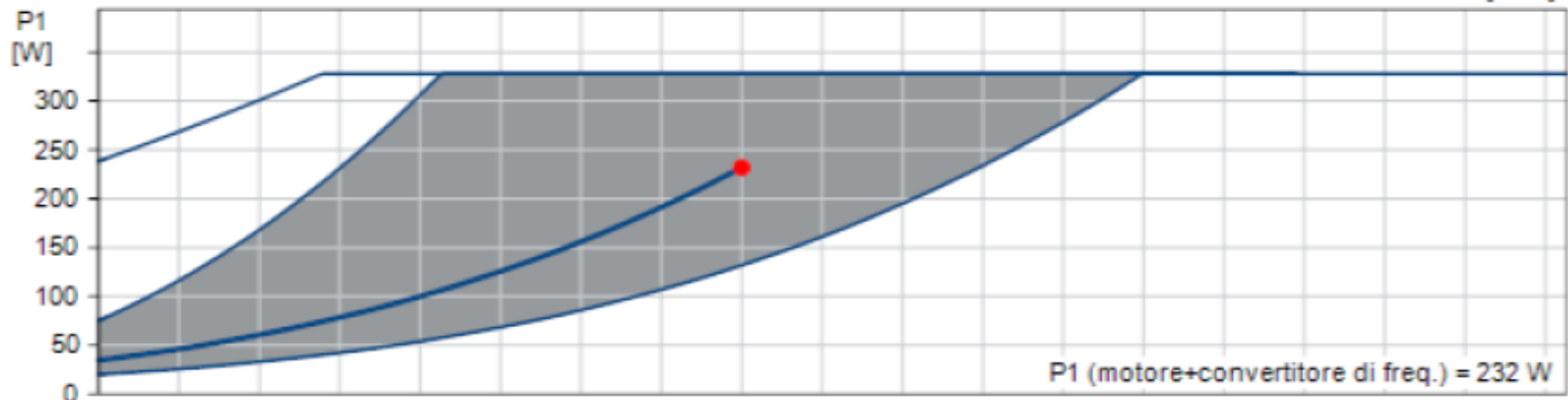
Pompa consigliata  
 8 m<sup>3</sup>/h / 4,5 m c.a.  
 → Magna 50-60

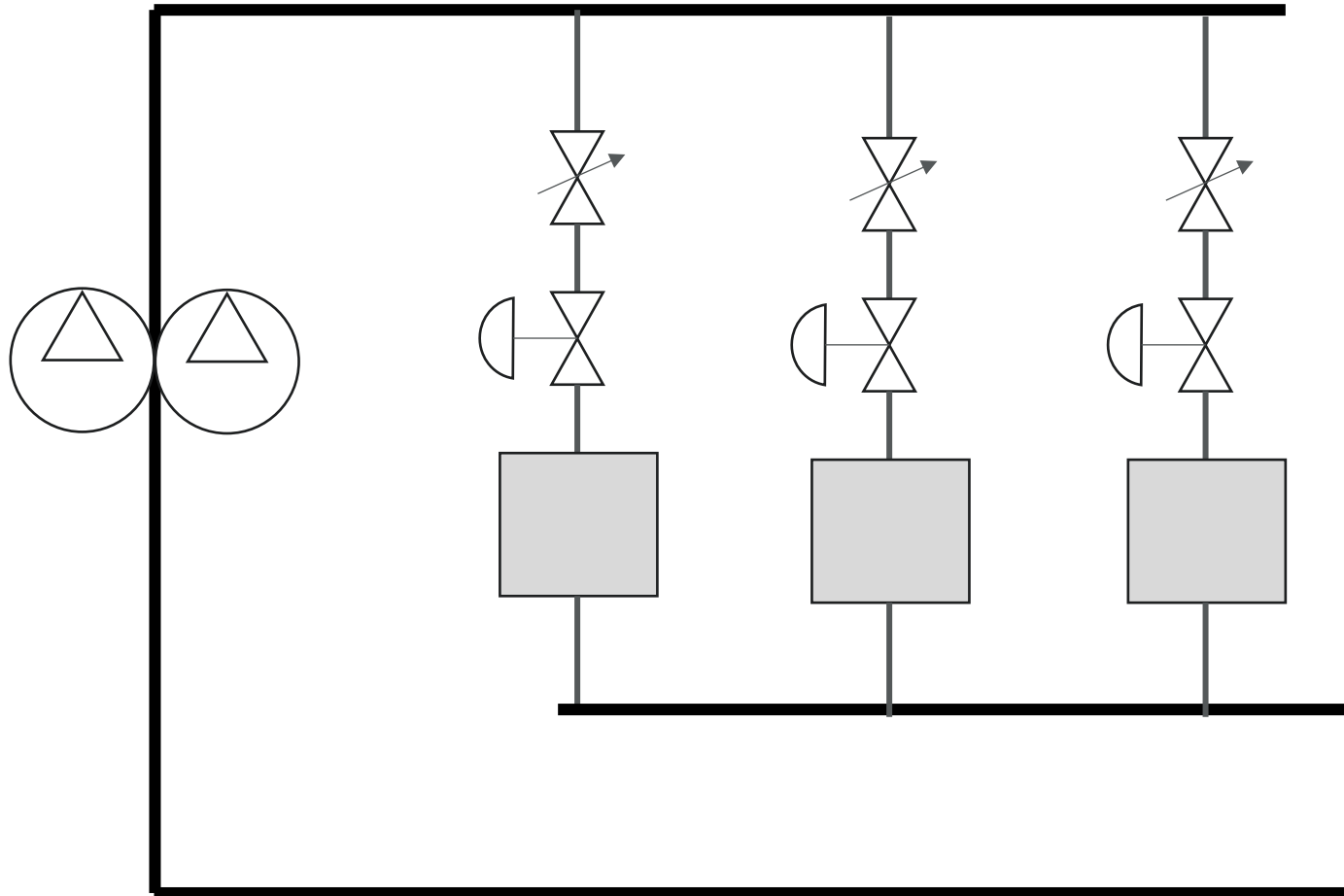


eta [%]

Pompa installata  
 → Magna 50-80

Ancora abbondante ma accettabile





### Rete servita

50 fan coil a soffitto

Linea distribuzione di 200 m a ritorno inverso (Tichelmann)

14 m<sup>3</sup>/h su DN 65 alla partenza

Valvole a 2 vie sulle batterie

### Lamentele:

- L'atrio è troppo caldo nelle mezze stagioni
- Alcune stanze a nord sono troppo fredde nel pieno dell'inverno

## ESEMPIO 2: CHE COSA NON VA ?



Circuiti idraulici e pompe di calore



### Rete servita

50 Fan coil a soffitto

Linea distribuzione di 200 m a ritorno  
inverso (Tichelmann)

14 m<sup>3</sup>/h su DN 65 alla partenza

Valvole a 2 vie sulle batterie

### Configurazione pompa:

- Pressione costante
- Prevalenza 21,5 m

# OK?

- Atrio con poche pareti esterne e 5 fan-coil
- Con poca richiesta le valvole chiudono, si riduce la portata, quindi la perdita di carico sulle valvole strozzate in serie alla pompa...  
... e la prevalenza di pompa...
- **Le valvole di 3 fan-coil su 5 dell'ingresso perdevano, con conseguente surriscaldamento dell'atrio nella mezza stagione**
- **Provvedimento preso dal manutentore: strozzare le valvole in aspirazione alle pompe per ridurre la potenza dell'impianto**

- Nel pieno dell'inverno, quando serve tutta la portata dell'impianto, la strozzatura sulle pompe limita la portata ... e le stanze più sfavorite rimangono al freddo
- Avendo strozzato le valvole in aspirazione, la pressione in aspirazione scende e le pompe vanno in cavitazione

Situazione peggiorata...

Tipo esempio di «manutenzione peggiorativa»



# Soluzione corretta?

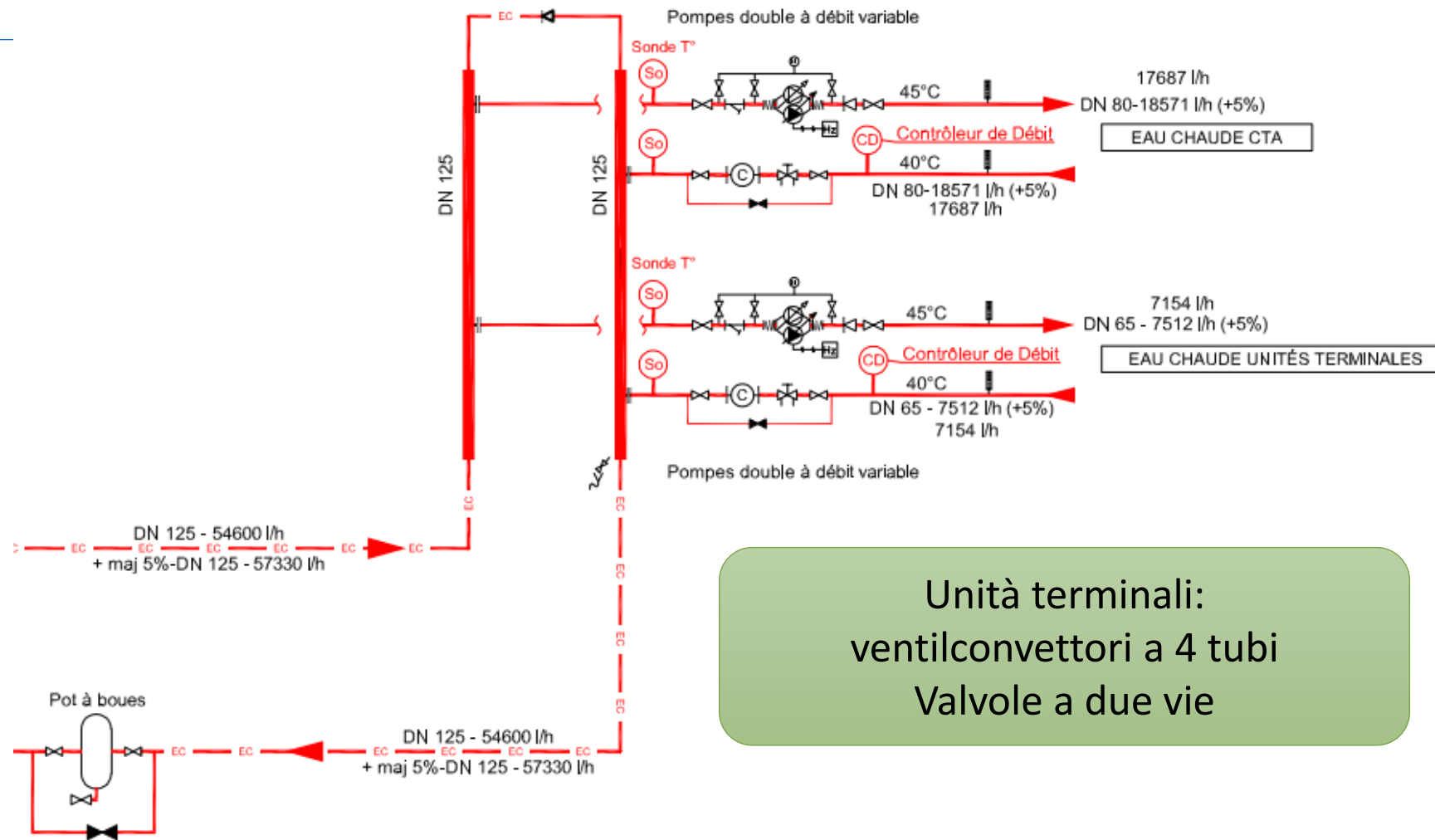
- Quale era la soluzione giusta?

- Apertura completa valvole in aspirazione
- Impostazione pompa a pressione costante
- Pressione da impostare:  
 $200 \text{ m} \times 25 \text{ mm c.a./m} = 5 \text{ m c.a.} + 2 \text{ m per fan coil e valvole} \rightarrow 7 \text{ m c.a.}$

- Errori concettuali ?

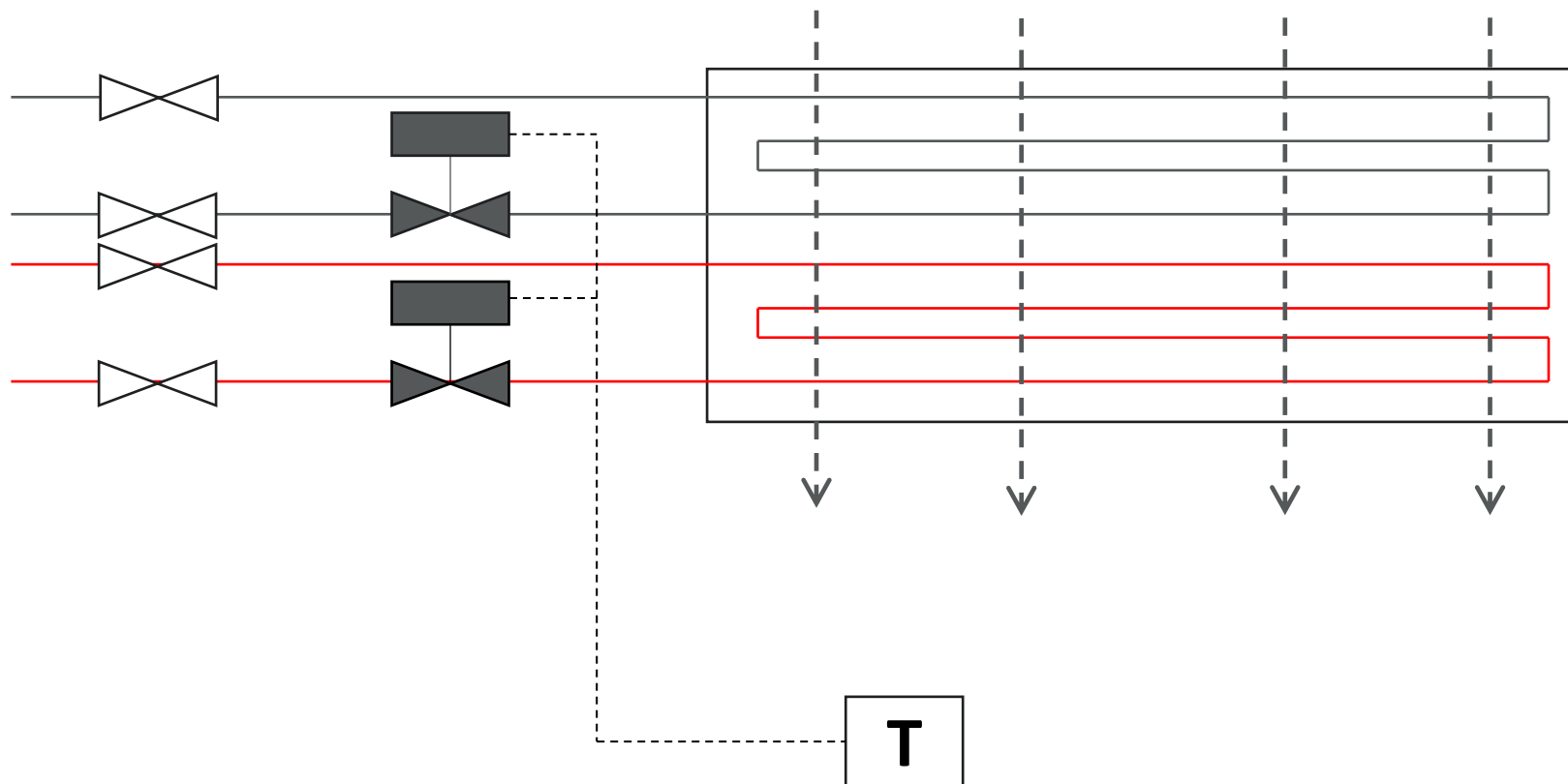
- **Strozzare una pompa elettronica** invece di agire sui parametri
- **Strozzare una pompa in aspirazione**
- Il problema era ai bassi carichi, quindi basse portate: una strozzatura provoca perdite di carico alle portate elevate  $\rightarrow$  ulteriori problemi di scarsa potenza nelle giornate fredde



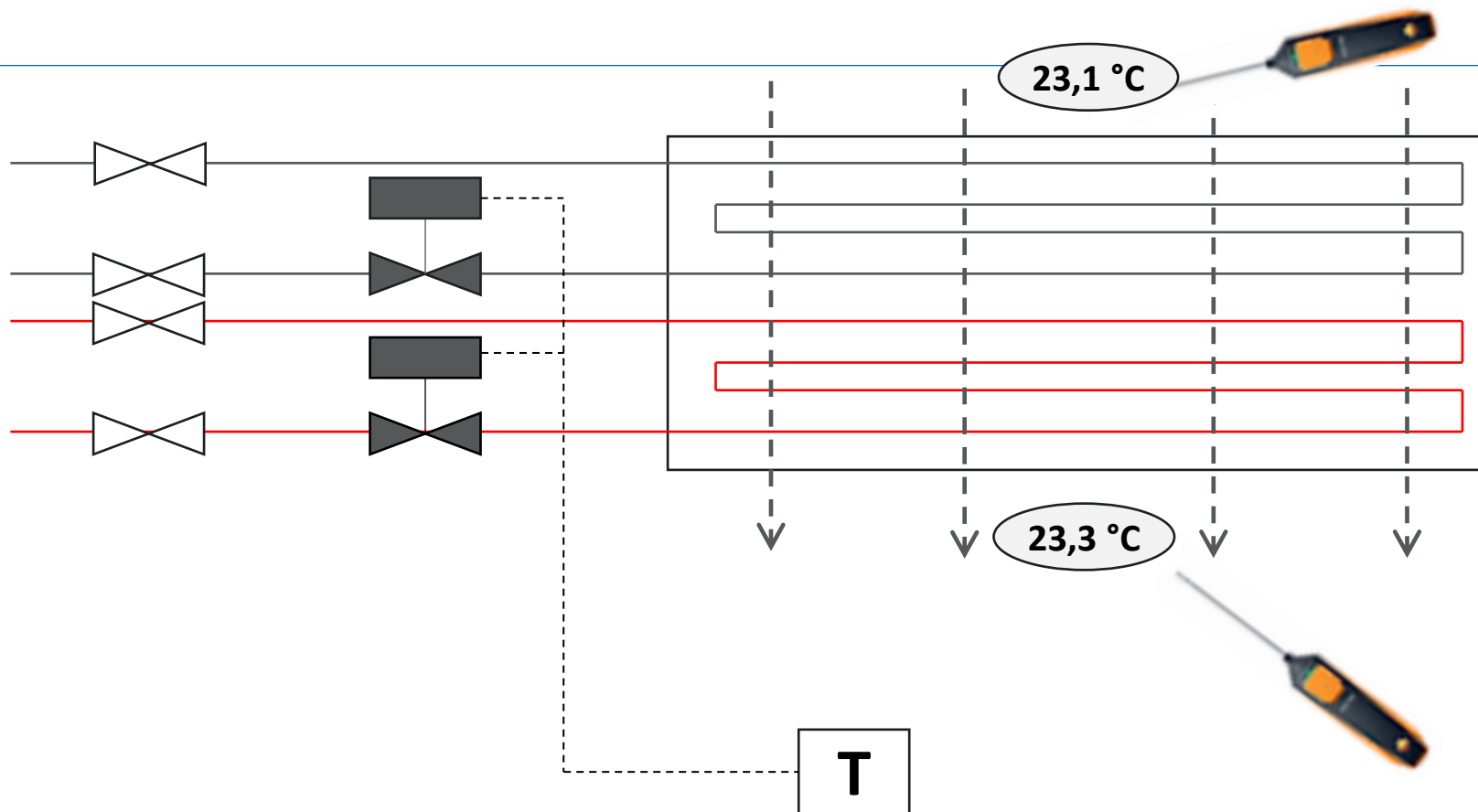


Unità terminali:  
ventilconvettori a 4 tubi  
Valvole a due vie

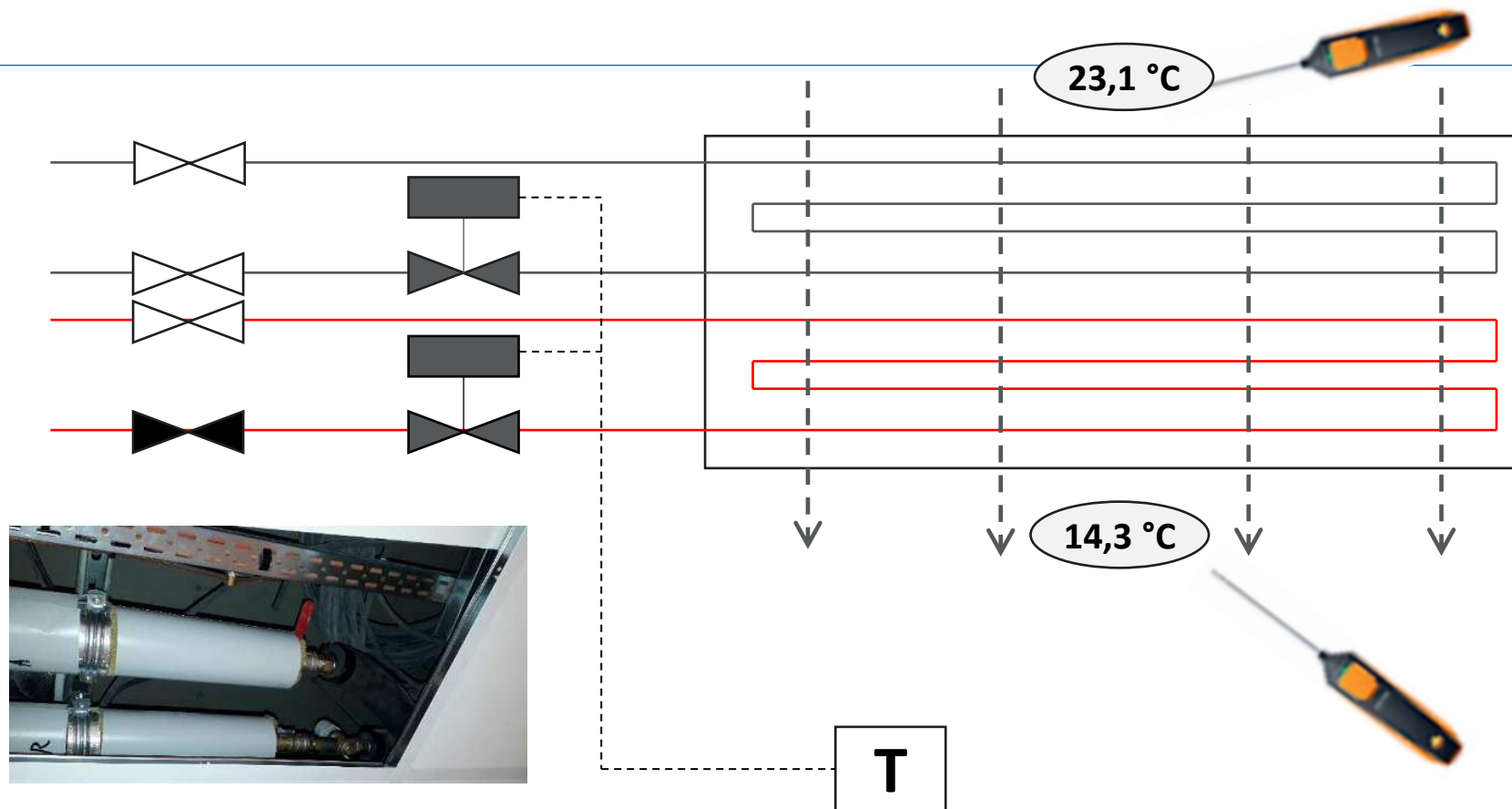
Problema: in estate non c'è raffrescamento nel posto di polizia



Unità terminali:  
ventilconvettori a 4 tubi  
Valvole a due vie

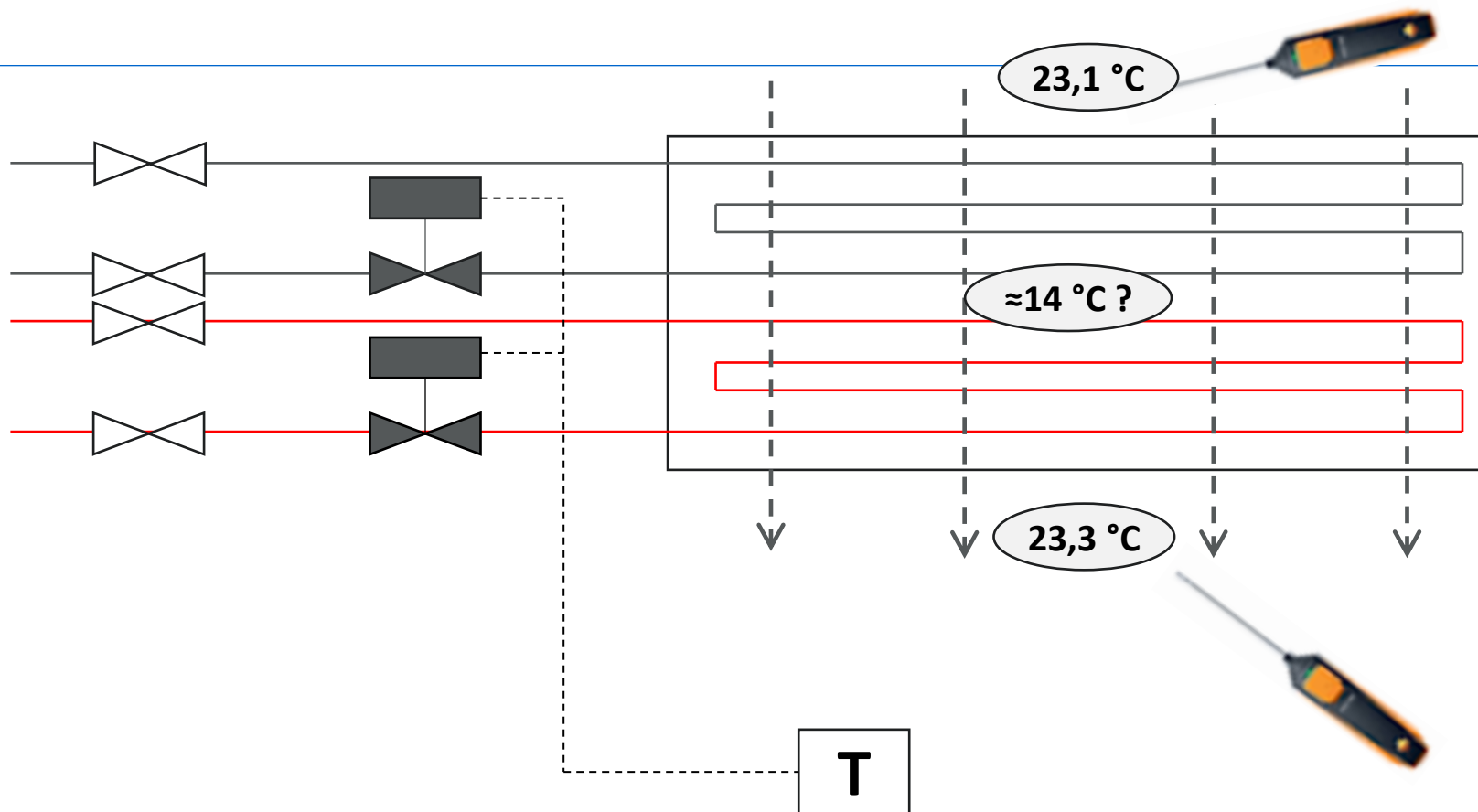


Apparentemente la batteria fredda non funziona....

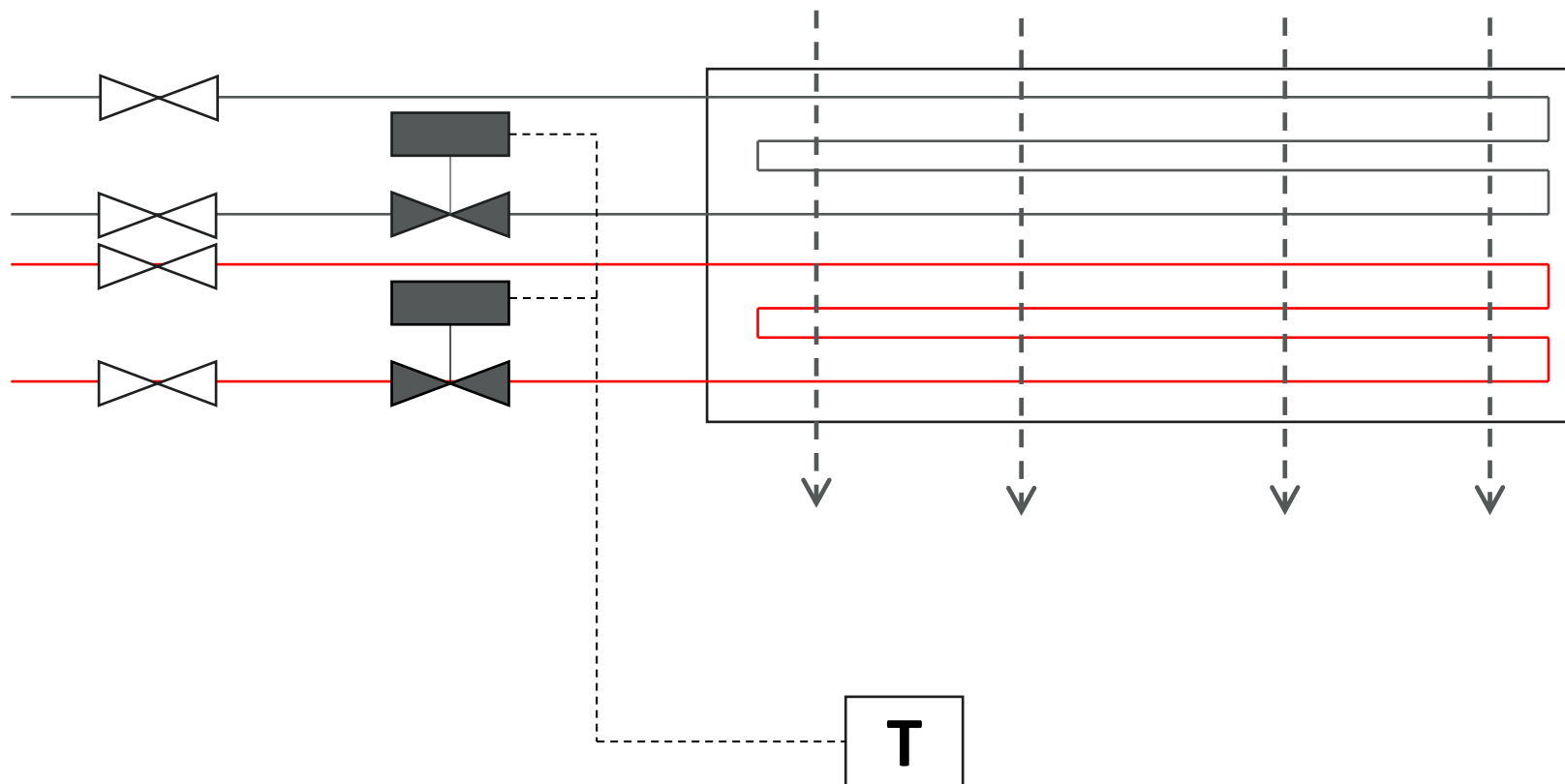


Come verificare:

1. Temperatura dell'aria aspirata ed espulsa
2. Aprendo il controsoffitto: Il tubo del riscaldamento è caldo
3. Chiusa la valvola manuale : il raffreddamento funziona



Primo riscontro: la batteria calda non doveva essere alimentata.  
 Annullava l'effetto della batteria fredda

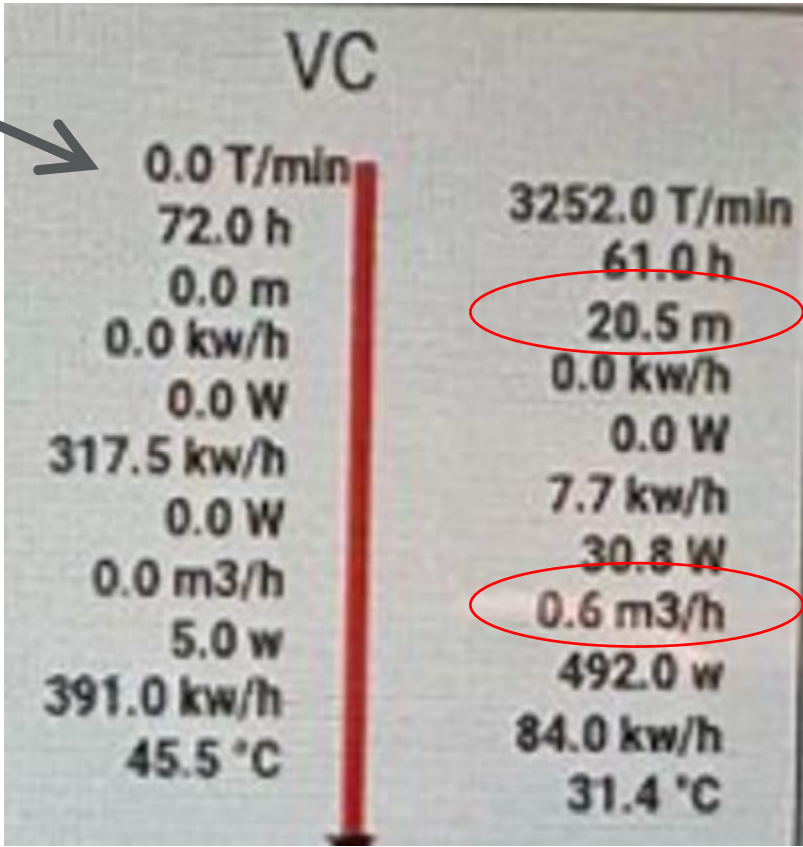
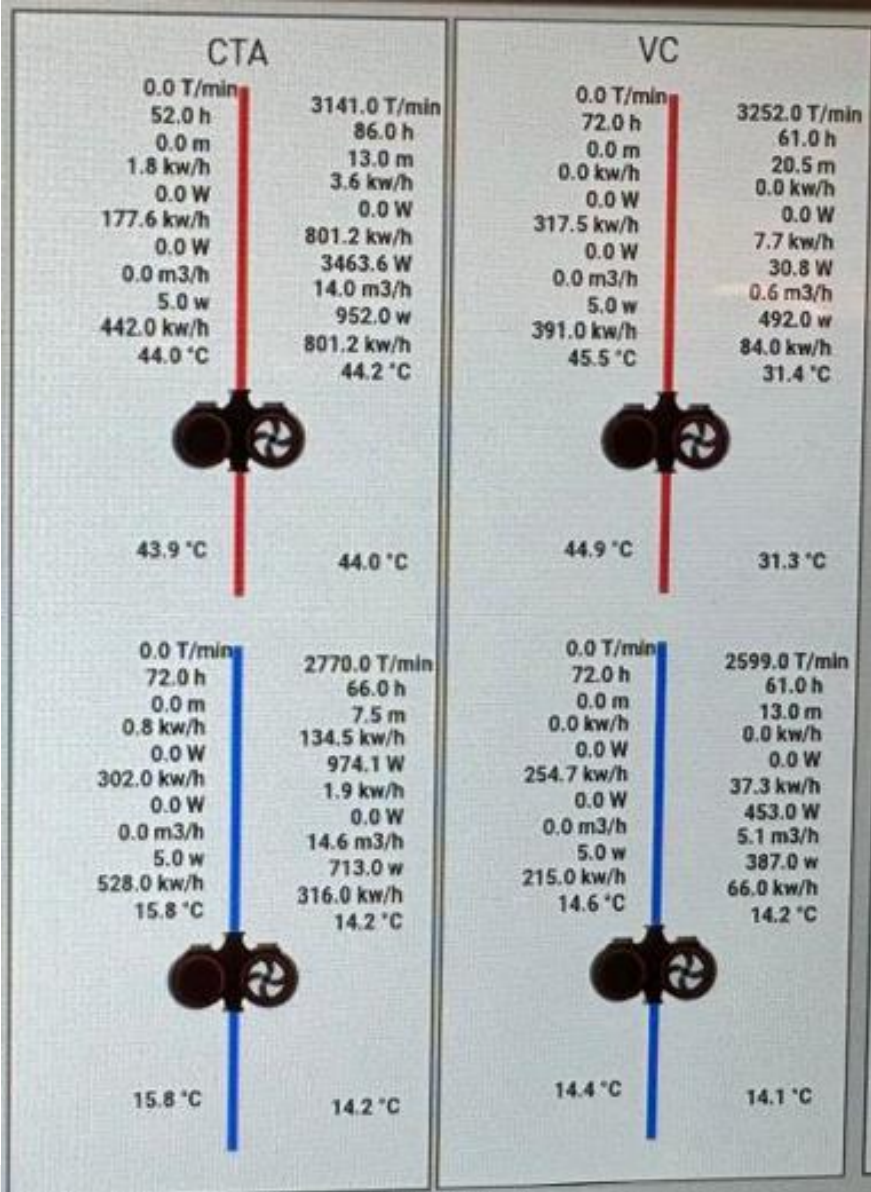


Verifica: La valvola del riscaldamento è comandata chiusa

**Domanda: perchè la valvola è aperta?**

Nota: Basta una piccola portata per avere un effetto significativo  
(non linearità delle risposta di una batteria alla portata)

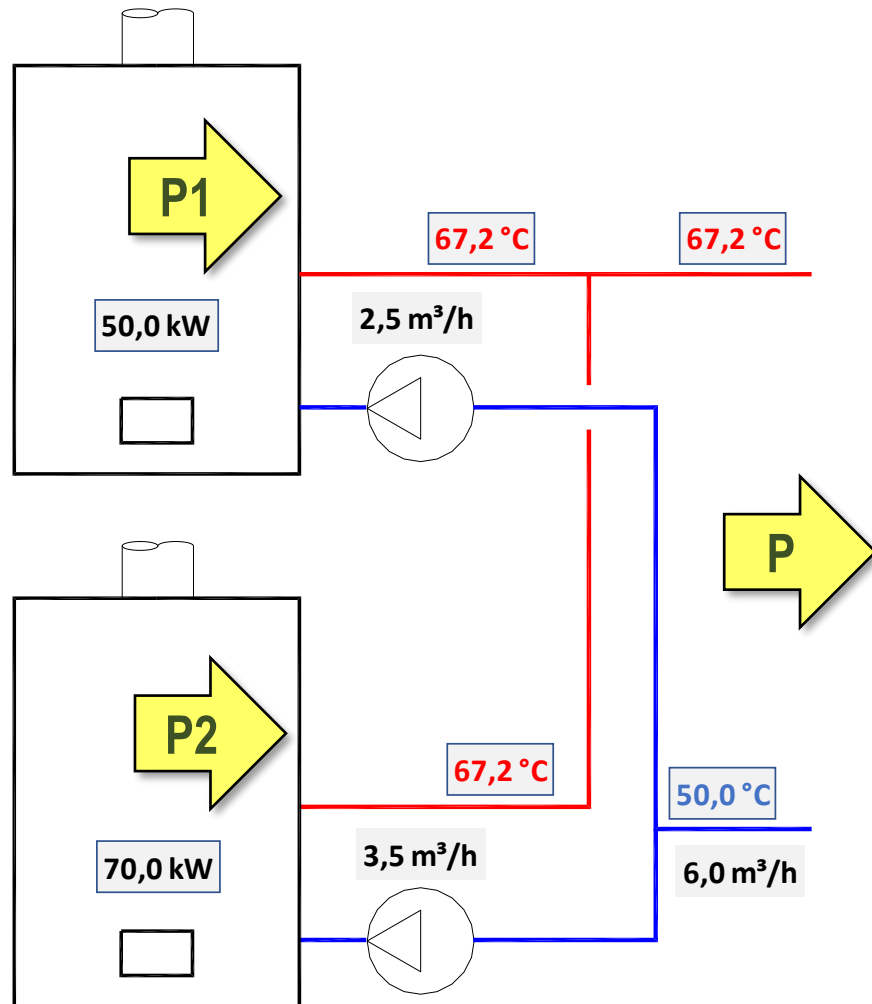
Informazioni sull'automazione





Sullo schermo della pompa...

Pompa impostata a portata costante

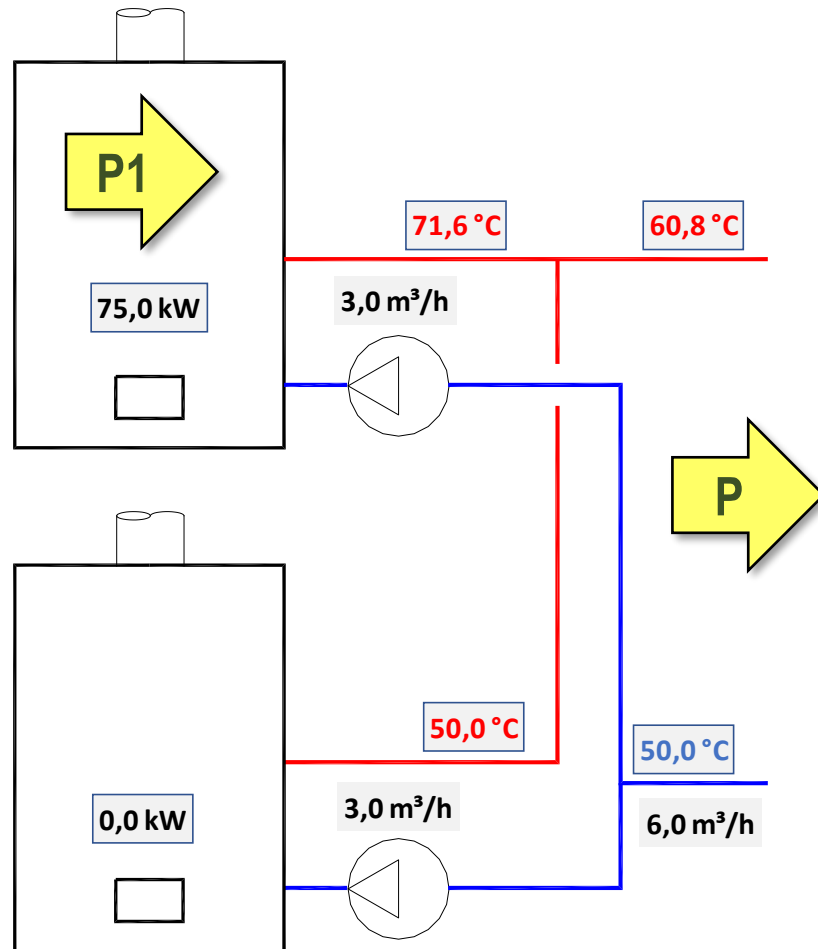


Parallelo con portata totale vincolata  
Il collegamento in parallelo provoca la miscela delle due mandate

Per mantenere le temperature di mandata uguali, le due portate Q1 e Q2 devono sempre essere proporzionali alle potenze erogate da ciascun generatore.

La legge

**portata x salto termico x  $c_p$  = potenza**  
non ammette eccezioni

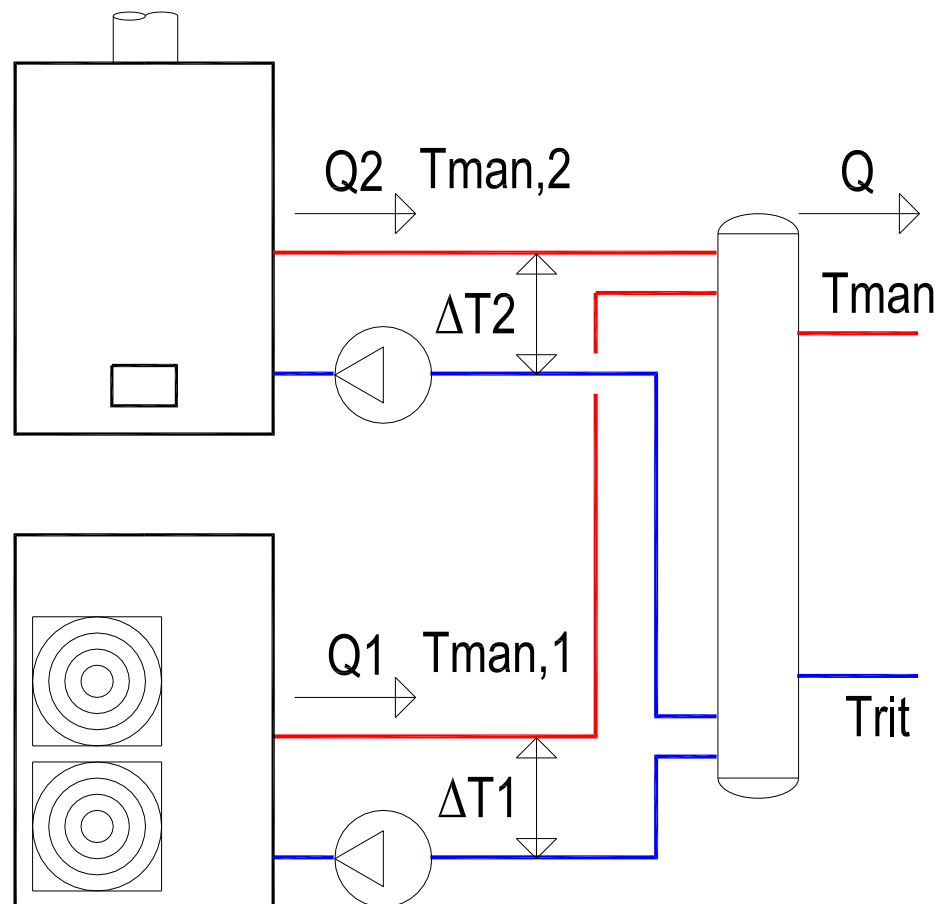


Se un generatore viene spento si deve intercettare altrimenti diventa difficile mantenere il set-point di  $T_{man}$  perché il generatore acceso dovrebbe andare a temperatura nettamente superiore

La legge

$$\text{portata} \times \text{salto termico} \times c_p = \text{potenza}$$

non ammette eccezioni



## Con compensatore idraulico

Il collegamento in parallelo provoca la miscela delle due mandate

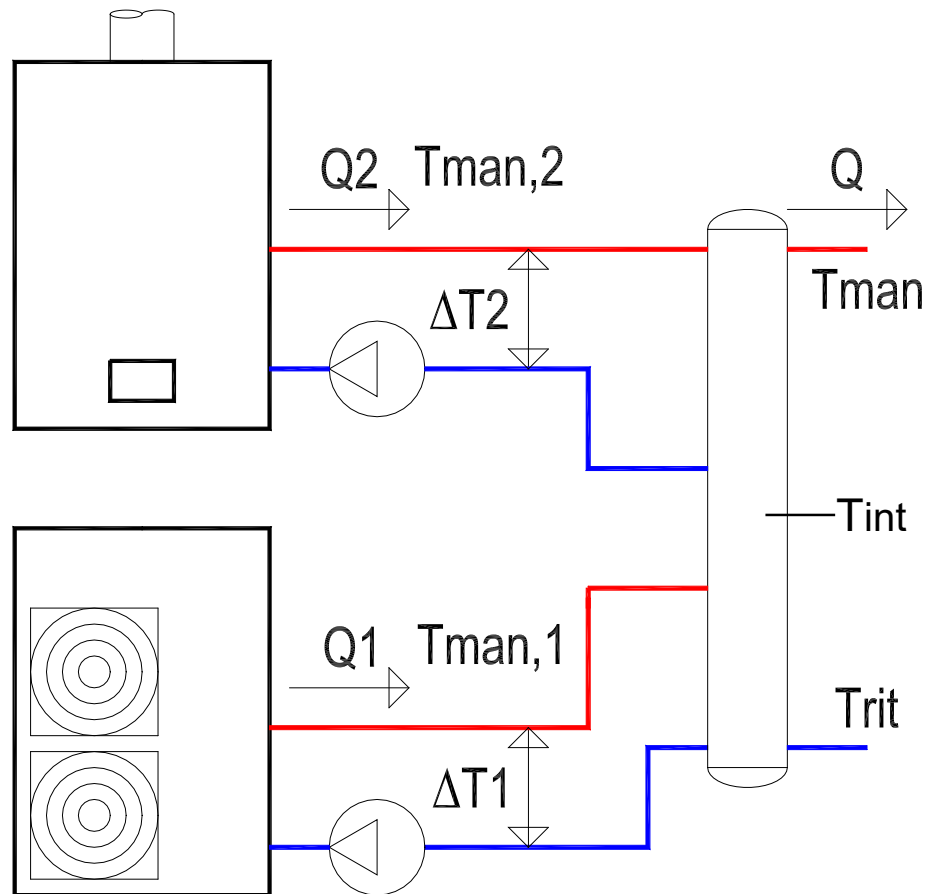
Per mantenere le temperature di mandata uguali, le due portate  $Q_1$  e  $Q_2$  devono essere proporzionali alle potenze erogate da ciascun generatore

→ **regolazione a DT costante dei circolatori**

Se il sistema funziona con portate alte di entrambi i generatori → innalzamento della temperatura di ritorno

Se il sistema funziona con portate basse, i generatori avranno temperatura di mandata più alta.

Attenzione alla posizione degli attacchi...

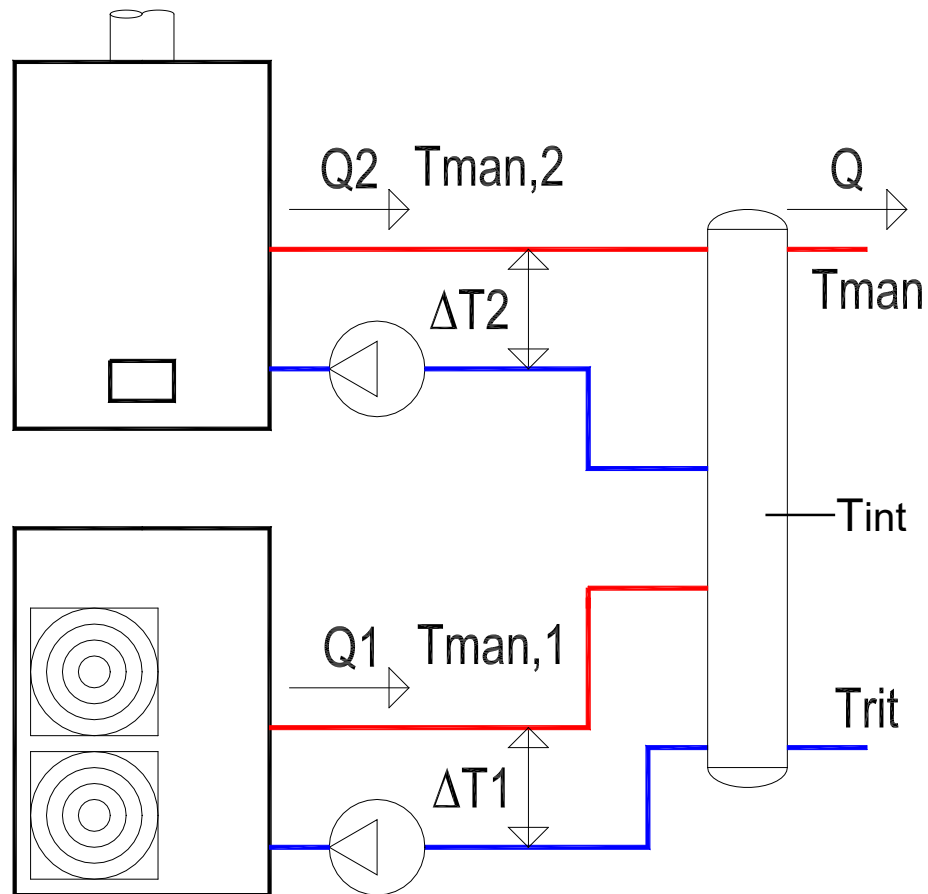


Nel collegamento in serie ciascuno dei due generatori contribuisce con un salto termico proporzionale alla sua potenza

Per mantenere le temperature di mandata uguali, le due portate  $Q_1$  e  $Q_2$  devono essere proporzionali alle potenze erogate da ciascun generatore.

Se un generatore ha una portata elevata ed una potenza bassa costringe l'altro generatore ad andare a temperatura di mandata più alta o portata molto elevata.

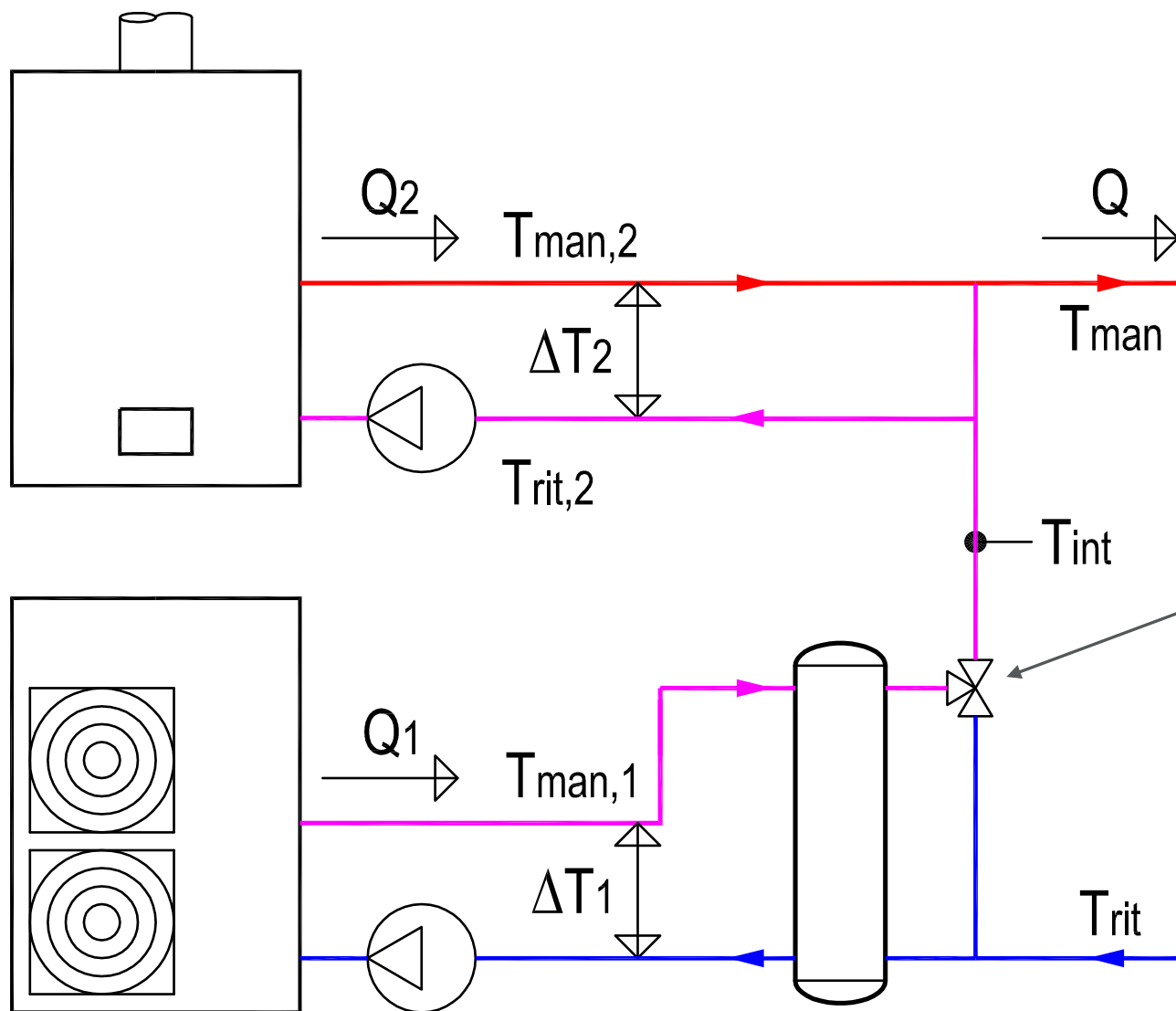
Il sistema può funzionare con portate alte di entrambi i generatori → innalzamento della temperatura di ritorno



In pratica:

La portata nella caldaia  **$Q_2$**  deve essere **inferiore alla portata nell'impianto  $Q$**  affinché la temperatura di ritorno in caldaia non sia più elevata di  $T_{int}$ .

La portata nella pompa di calore  **$Q_1$**  deve essere **superiore alla portata nell'impianto  $Q$**  affinché la temperatura di mandata della pompa di calore non sia più elevata di  $T_{int}$



Questa valvola a tre vie impedisce il surriscaldamento del condensatore nel funzionamento ad alta temperatura con la caldaia