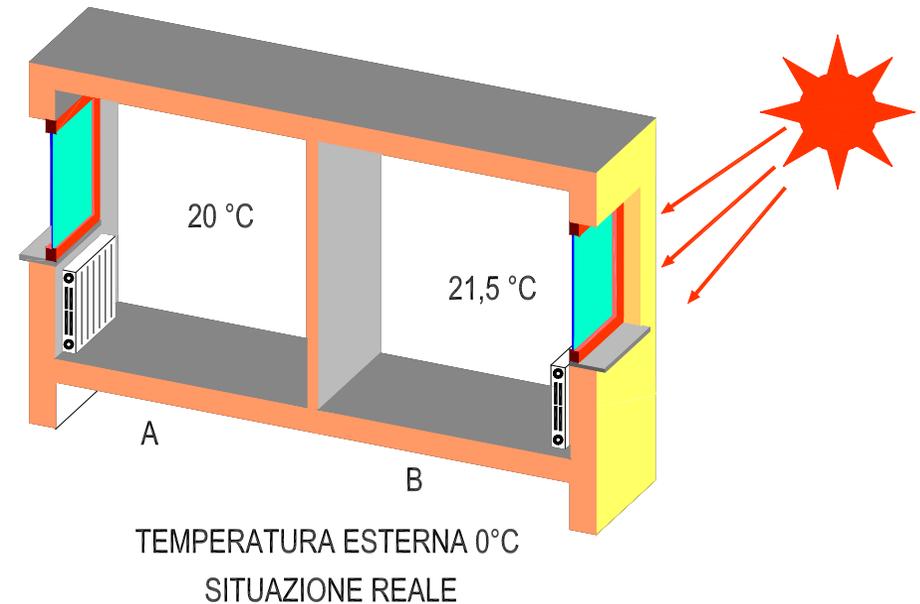
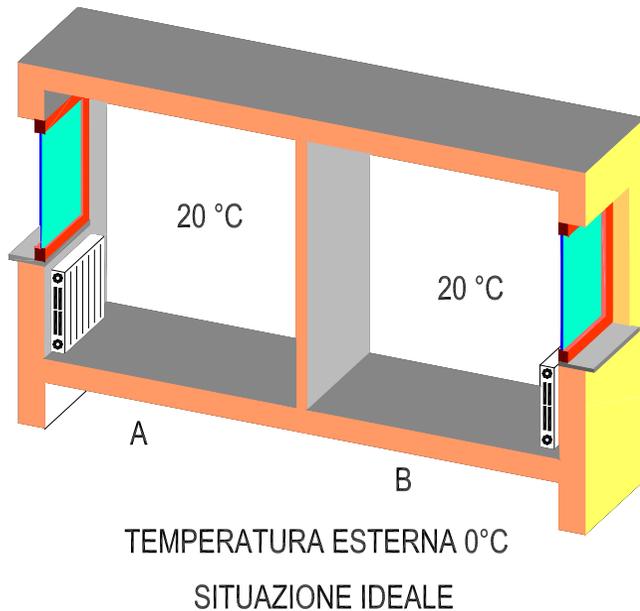


Termoregolazione e contabilizzazione Lo stato dell'arte

Ing. Laurent SOCAL

La termoregolazione

Perdite di regolazione

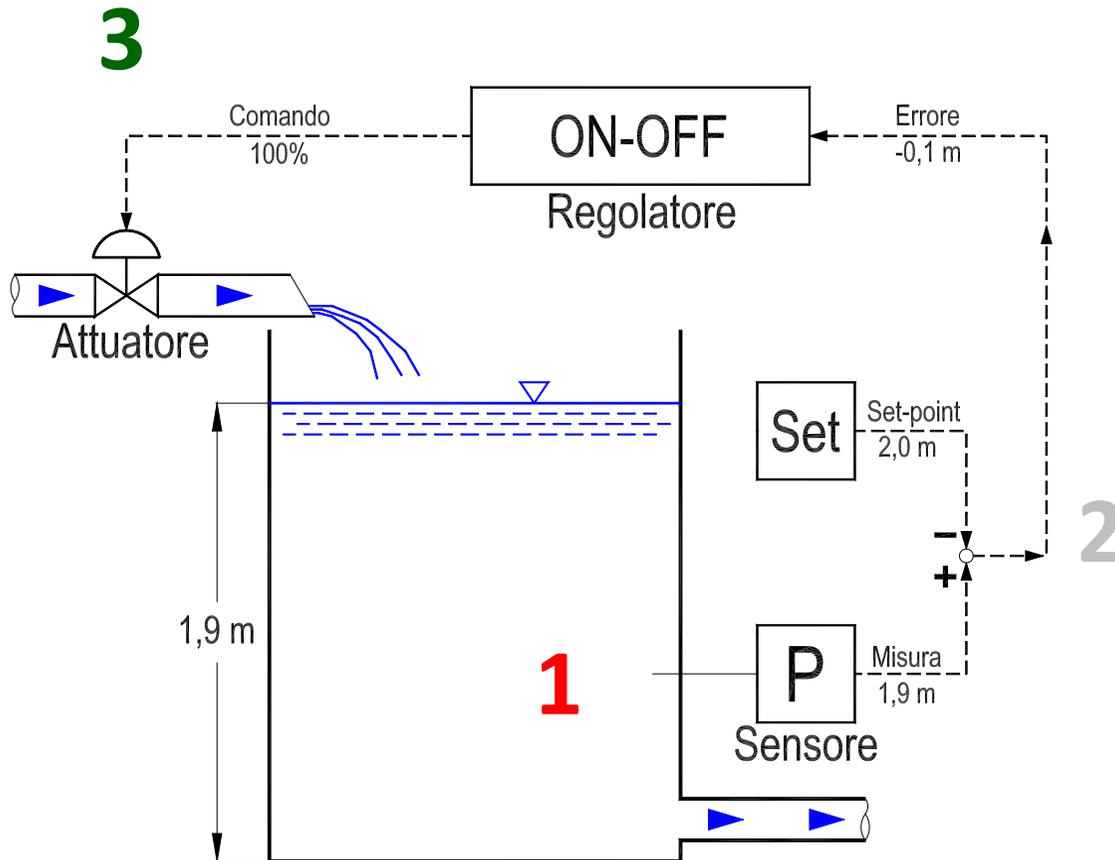


In assenza di una regolazione locale per locale, nel locale B la temperatura supera i 20 °C e le perdite attraverso le pareti aumentano in proporzione al ΔT rispetto all'esterno.

Ogni grado in più causa $\cong 7\%$ più di consumo di combustibile.

Il bilanciamento richiesto all'impianto cambia in funzione delle condizioni meteo e di utilizzo dei locali

Che cos'è un regolatore?



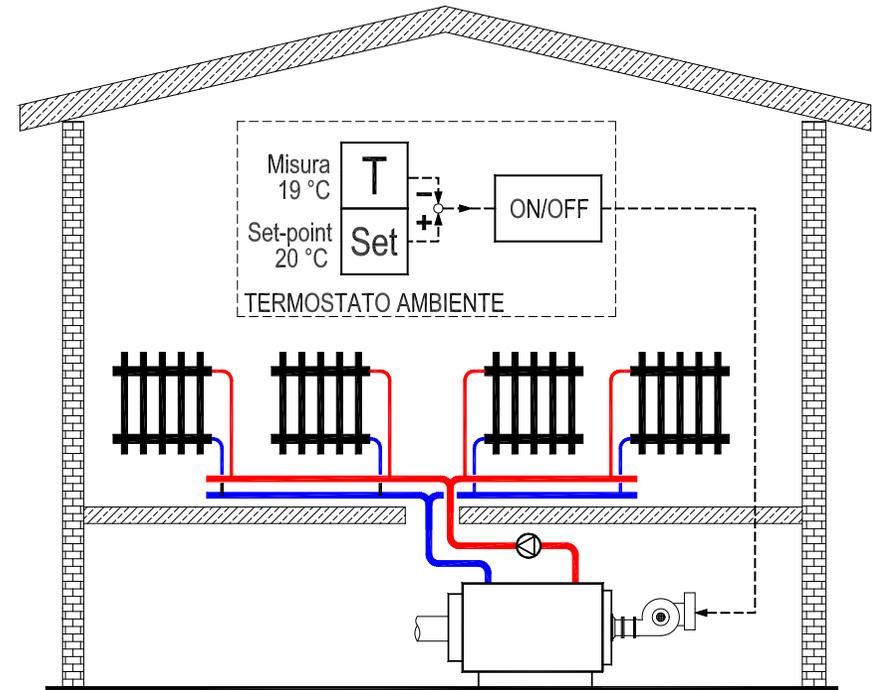
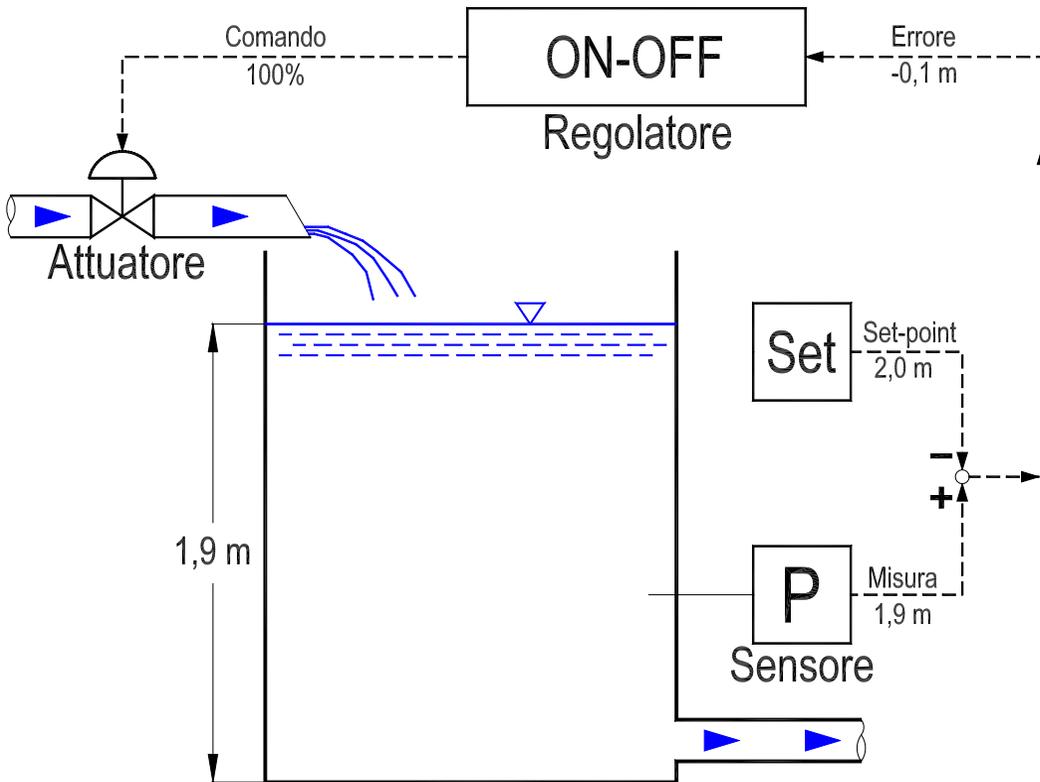
Regolare...

- 1. Misurare** la grandezza regolata
- 2. Confrontare** la misura con un set-point e determinare l'errore
- 3.** Sulla base dell'errore, determinare il **comando** dell'attuatore

I regolatori sono classificati in base alla logica con la quale viene determinata l'azione in funzione dell'errore.

ON/OFF → P → PI → PID

Regolazione del riscaldamento ...

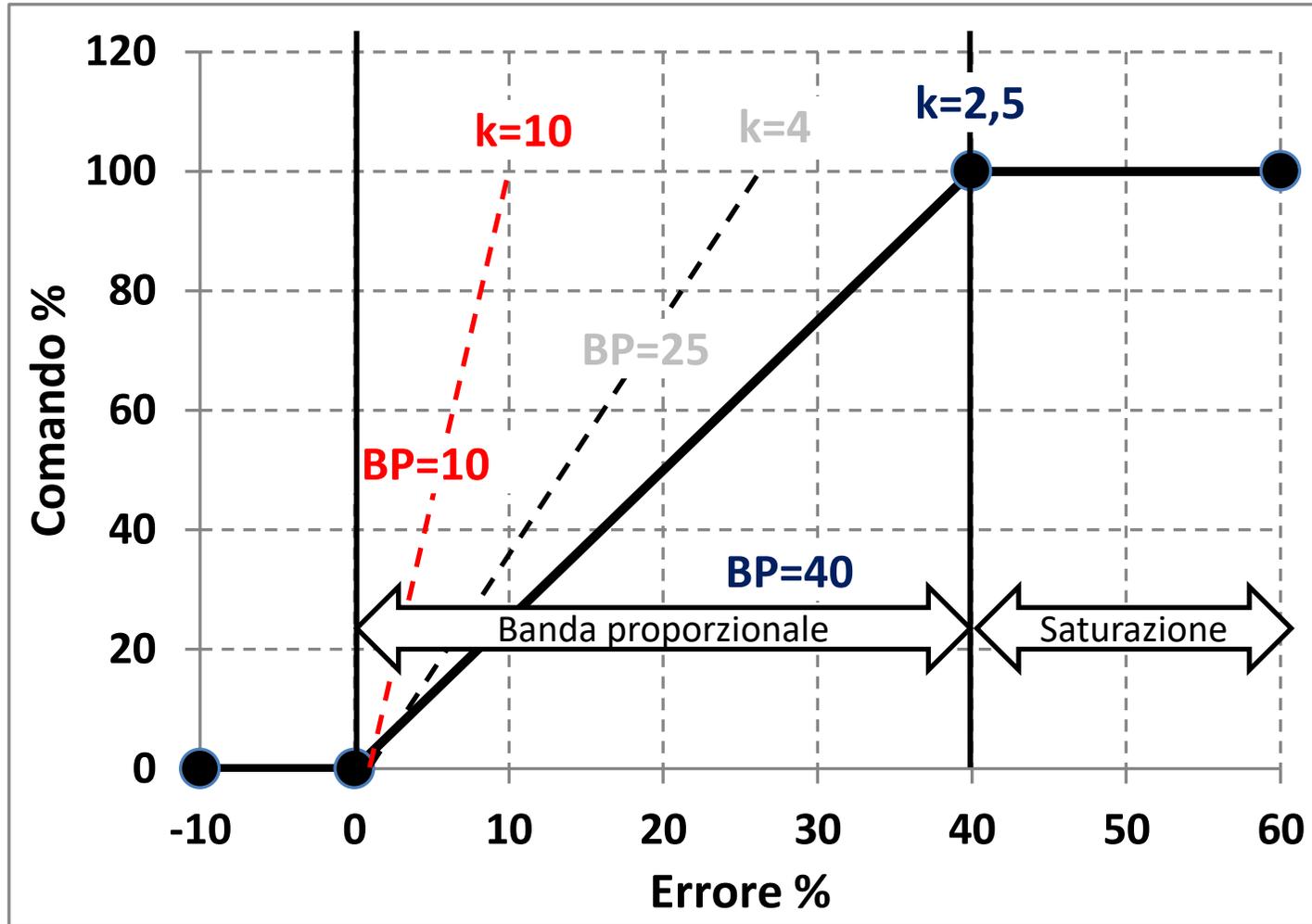


**APPORTI GRATUITI = PIOVE NEL SECCHIO
= SOLE E PERSONE
= ALMENO 30% DELLE DISPERSIONI**

L'azione Proporzionale

- Perché dare sempre e solo tutta la potenza o niente?
Si può aumentare (o diminuire) la potenza in proporzione allo scostamento (errore) rispetto alla pressione voluta (set-point).
- Per definire questo comportamento si indica l'ampiezza dell'errore per il quale viene comandata la massima potenza di uscita: si chiama banda proporzionale P_b e viene espressa in percentuale rispetto al fondo scala del segnale di misura.
Diminuendo la banda proporzionale P_b aumenta l'intensità dell'azione proporzionale
- L'azione P è istantanea e non ha "memoria": dipende esclusivamente dall'errore in quel preciso istante.
- L'azione P si basa sullo stato attuale del sistema, sul presente

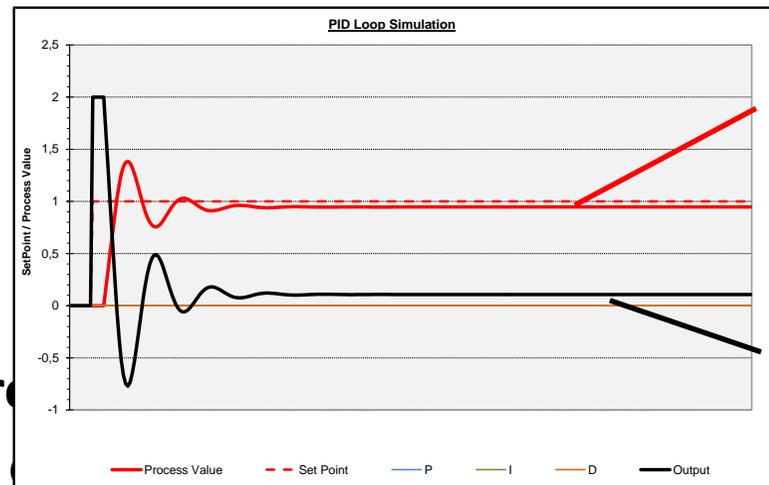
Grafico regolatore proporzionale



Come indicare
la caratteristica
di un
regolatore
proporzionale

Alcune proprietà di un regolatore P

- Il regolatore P non arriva mai «a segno»:
→ a regime rimane sempre un errore...
- Riducendo la banda proporzionale si riduce l'errore
- Se si riduce troppo la banda proporzionale il regolatore comincia ad oscillare
- I ritardi e le inerzie della catena di misura ed attuazione aumentano i rischi di oscillazione
- **Regolatore PI: si elimina l'errore**
- **Regolatore PID: si smorzano le oscillazioni**
- A

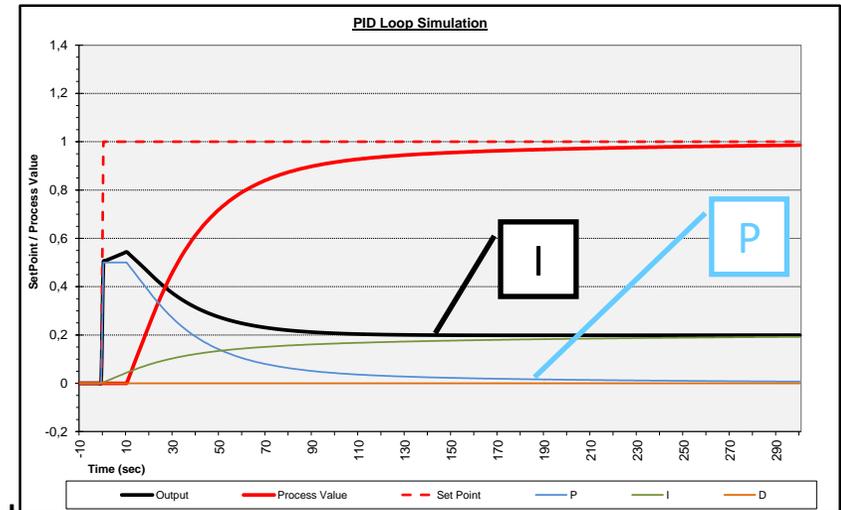


Variabile controllata

Azione

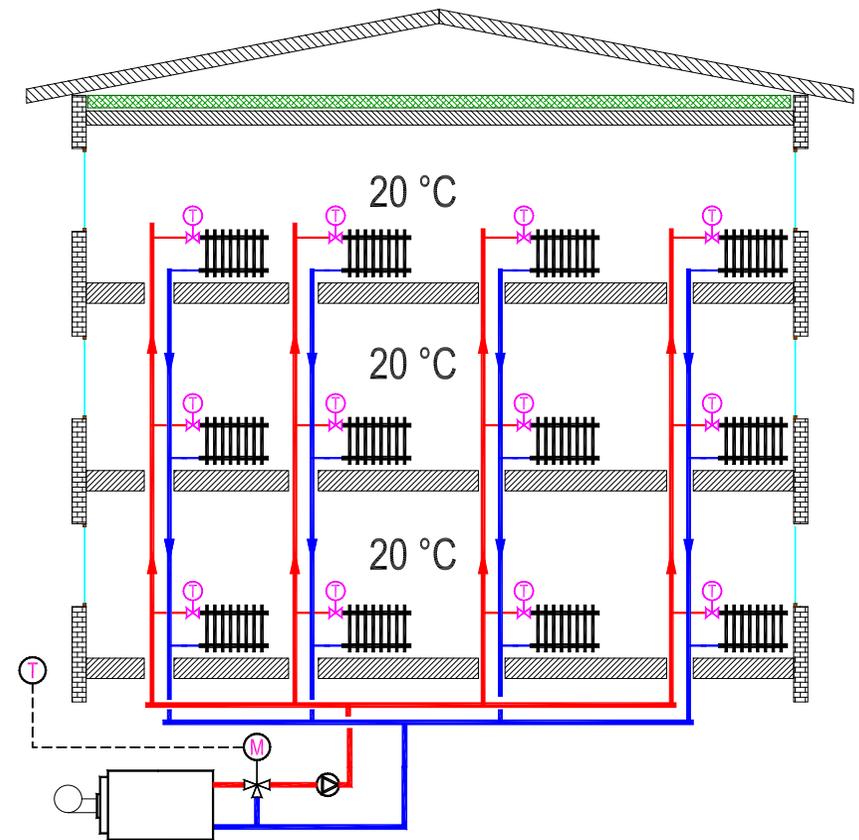
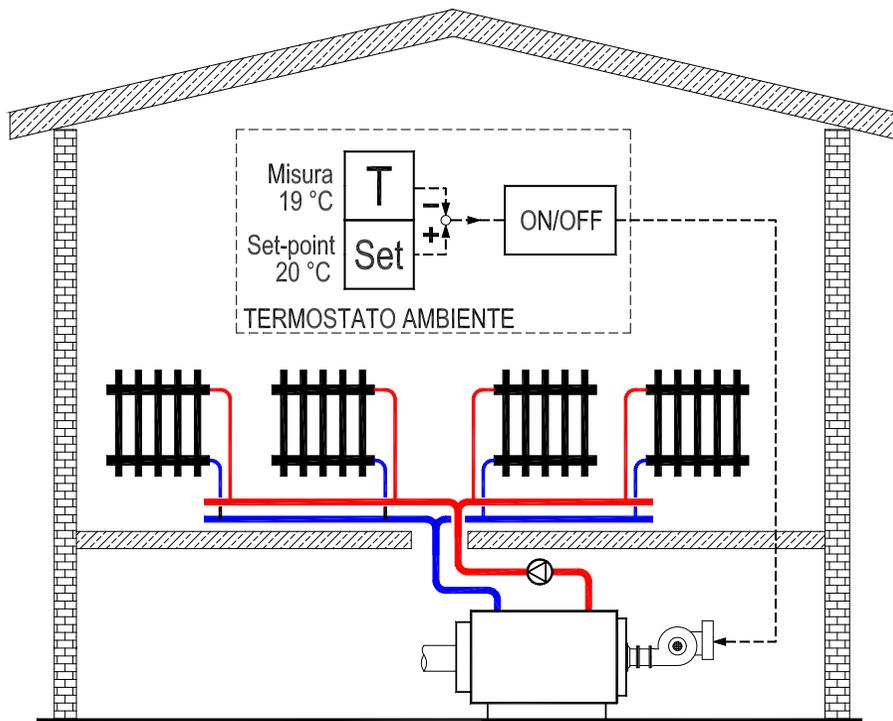
L'azione Integrale

- Periodicamente si corregge l'azione di controllo in funzione dell'errore.
Le successive correzioni dell'azione integrale vengono sommate alle precedenti.
- La correzione è tanto più energica quanto più
 - l'errore è elevato
 - il tempo trascorso è lungo.
- L'azione integrale consente di eliminare l'errore a regime.
In un regolatore PI o PID, a regime l'azione necessaria a mantenere il set-point è sostenuta dall'azione **I** mentre l'azione **P** diventa nulla (perché l'errore è nullo)
- **Tempo integrale T_n** : è il tempo, trascorso il quale, un errore provoca una azione integrale uguale a quella dovuta all'azione Proporzionale.
Aumentando T_n si riduce l'intensità dell'azione integrale
- **Aumentando eccessivamente l'azione integrale (T_n troppo piccolo) si provoca instabilità come per l'azione proporzionale.**
- L'azione I ha memoria: dipende dalla storia dell'errore.
- L'azione I tiene conto solo della storia passata del sistema



L'azione Derivativa

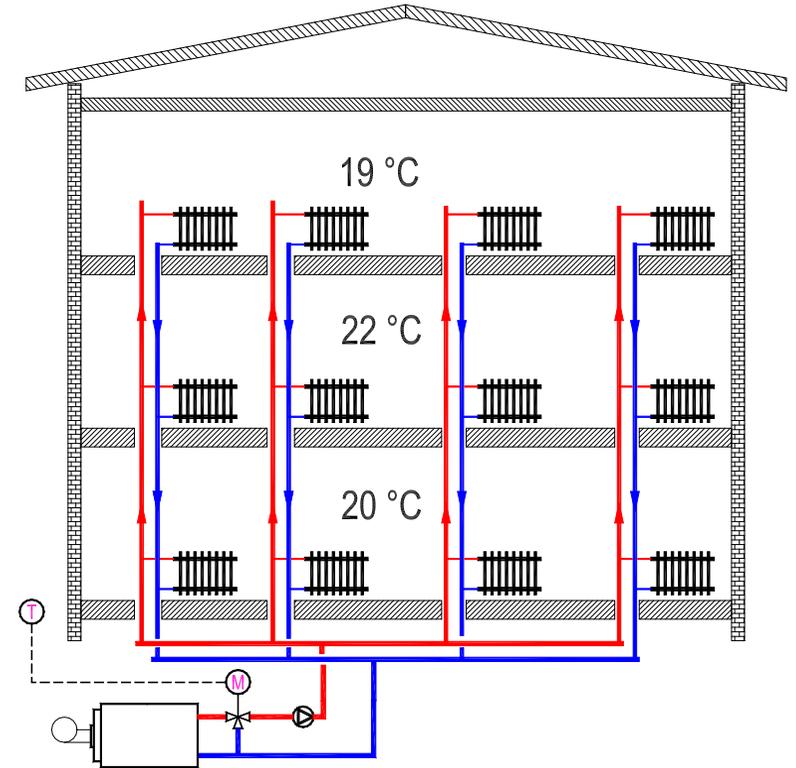
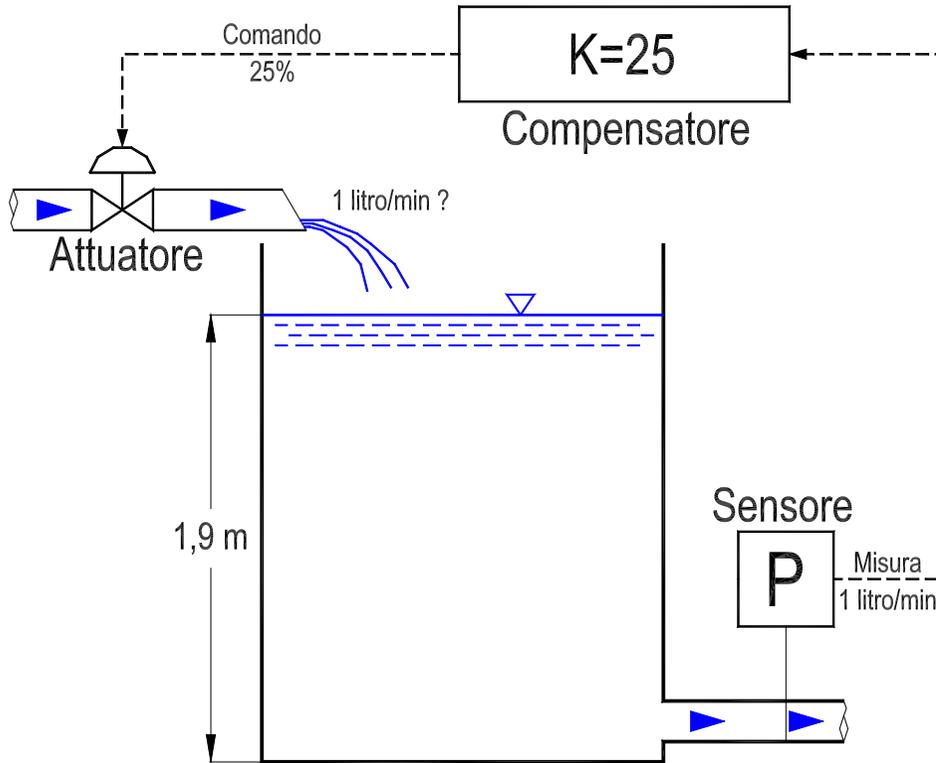
- Lo scopo dell'azione derivativa è quello di smorzare le oscillazioni
- L'azione derivativa è proporzionale alla velocità dell'aumento dell'errore.
- Se l'errore sta diminuendo, si produce un aumento del comando.
- Inversamente, se l'errore sta aumentando, si produce subito una riduzione del comando.
- Il comando D è tanto più energico quanto più veloce è l'avvicinamento o l'allontanamento dal set-point.
- L'azione derivativa è espressa come tempo derivativo T_v :
Se la velocità di variazione è tale che dopo T_v l'errore si annullerebbe (o si raddoppierebbe), allora l'azione D è pari all'azione P.
Aumentando il tempo T_v aumenta l'intensità dell'azione derivativa
- **L'azione derivativa non ha memoria.**
- **L'azione derivativa è basata sul futuro, sulla previsione di comportamento del sistema regolato**



REGOLAZIONE DI ZONA
Esempio: cronotermostato unico
o per gruppi di locali
BUONO

REGOLAZIONE PER SINGOLO AMBIENTE
Esempio: termostato in ogni stanza o
valvole termostatiche
OTTIMO

Compensazione



La «compensazione» tenta di eliminare l'effetto del (compensare il) disturbo

Centralina climatica con sonda esterna

Le dispersioni aumentano quando la temperatura esterna si abbassa

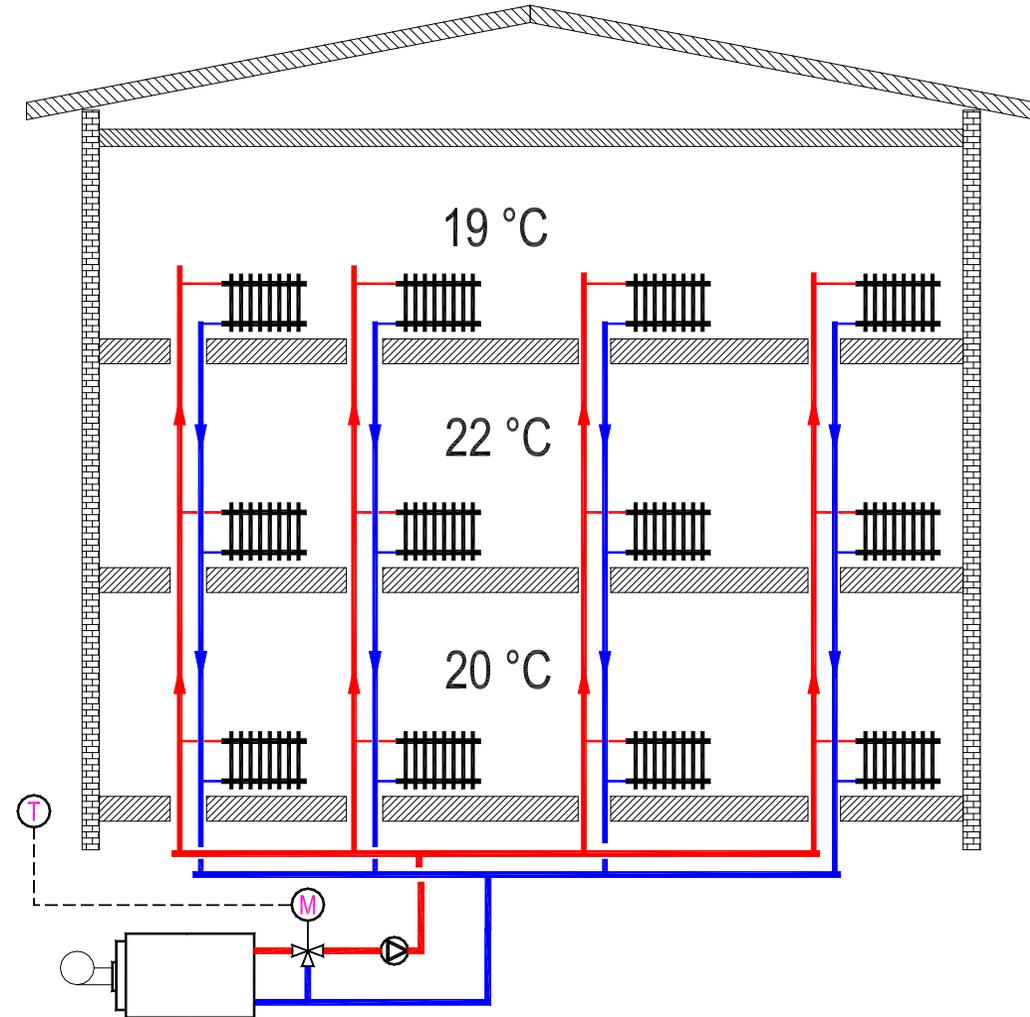
Misuro la temperatura esterna (sonda esterna)

Decido la

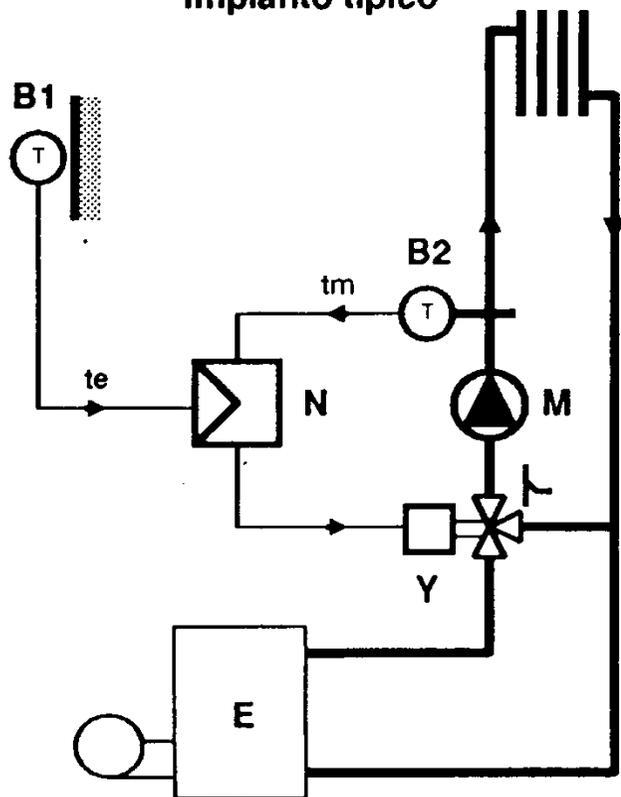
temperatura di mandata («curva climatica»)

Regolo la

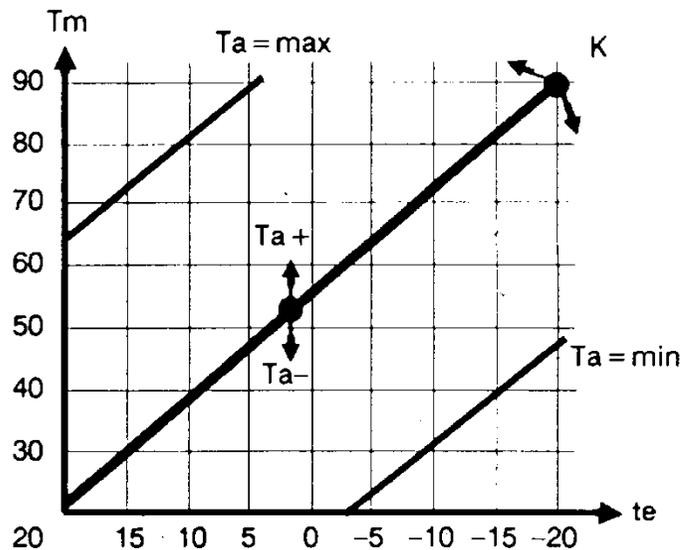
temperatura di mandata (valvola miscelatrice)



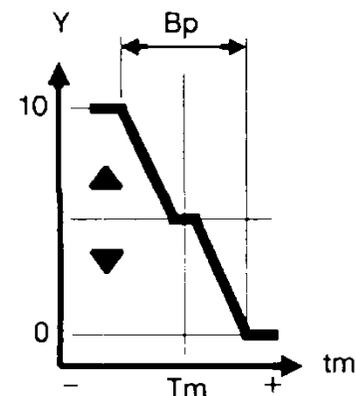
Impianto tipico



Curva di riscaldamento



Comando valvola



- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| B1 - Sonda esterna | Y - Valvola |
| B2 - Sonda di mandata | Ta - Temperatura ambiente richiesta |
| Bp - Banda proporzionale | tm - Temperatura di mandata reale |
| E - Caldaia | Tm - Temperatura di mandata richiesta |
| M - Pompa di circolazione | te - Temperatura esterna |
| N - Regolatore RTE 93 | |

La «compensazione climatica»

NON È UN SISTEMA DI REGOLAZIONE ...

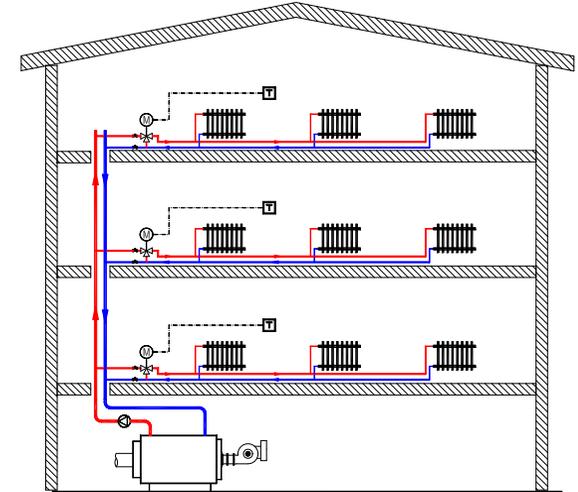
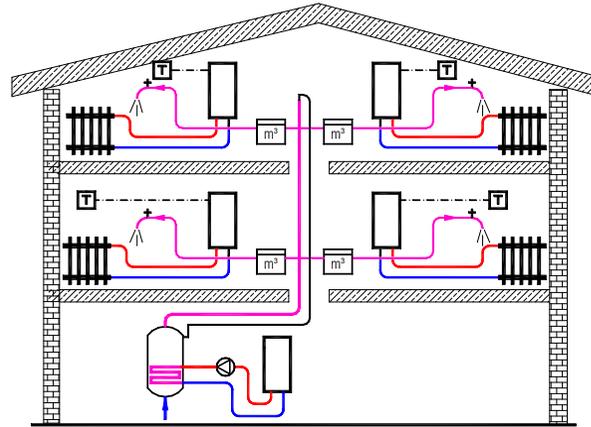
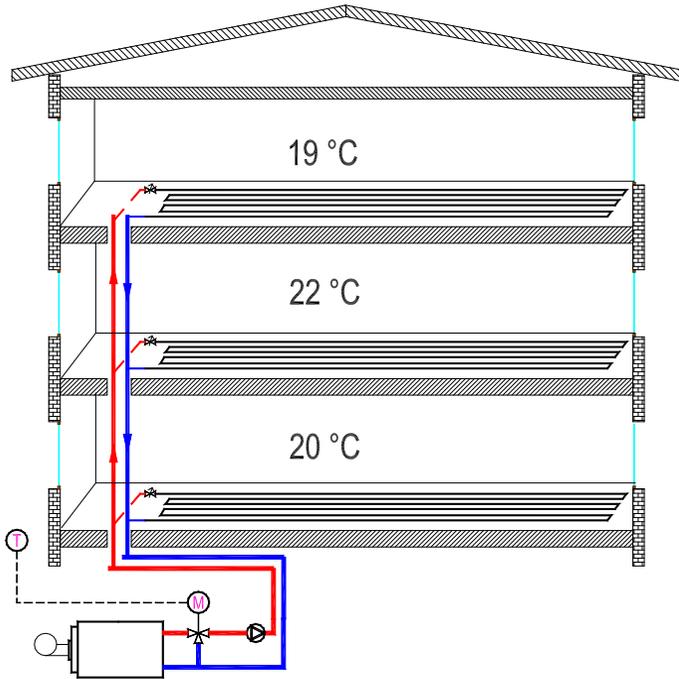
1. *Prima regolazione «a sentimento»*
2. *Ogni utente che ha freddo chiama...*
3. *Si alza la curva climatica = si aumentano i consumi*
4. *Finchè l'utente più freddoloso è soddisfatto*
5. *... e gli altri aprono le finestre*

... MA UN PERFETTO OTTIMIZZATORE DI SPRECHI...

... QUANDO È USATA DA SOLA ...

Tipo di regolazione	Caratteristica regolatore ambiente	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori, ventilconvettori, strisce radianti ed aria calda (*)	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Solo Climatica $K - 0,6 \eta_u \gamma$		$K=1 \rightarrow$ 0,85...0,70	$K=0,98$	$K=0,94$
Solo zona	On off	0,93	0,91	VECCHI IMPIANTI CENTRALIZZATI
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	IMPIANTO AUTONOMO, CALDAIA ATMOSFERICA
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	
	PI o PID	0,995	0,99	
Solo per singolo ambiente	On off	0,94	0,92	VENTILCONVETTORI
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	IMPIANTO AUTONOMO, PREMIX/CONDENSA
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	
	PI o PID	0,99	0,97	
Zona + climatica	On off	0,96	0,94	IMPIANTO CON TERMOSTATICHE
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	REGOLAZIONI PID CON TERMOSTATI ELETTRONICI
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	
	PI o PID	0,995	0,98	
Per singolo ambiente + climatica	On off	0,97	0,95	REGOLAZIONI PID CON TERMOSTATI ELETTRONICI
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	REGOLAZIONI PID CON TERMOSTATI ELETTRONICI
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	
	PI o PID	0,995	0,99	

In alcuni casi per la termoregolazione...



NULLA DA FARE...

GIÀ FATTO...

**NEI CASI IN CUI SI PUO' INTERVENIRE,
LA SOLUZIONE DI ROUTINE SONO LE VALVOLE TERMOSTATICHE**

Le possibili forme di termoregolazione

- Termostati ambiente di zona
- Valvole termostatiche sui singoli corpi scaldanti
- Termostati a bordo dei ventilconvettori
- Termostati ambiente agenti sulle valvole di alimentazione dei pannelli (sui collettori)
- Valvole elettroniche sui singoli corpi scaldanti
- ...

Tutte queste tipologie soddisfano al requisito di presenza di una termoregolazione.

**NEL SEGUITO SI APPROFONDISCONO LE VALVOLE TERMOSTATICHE
CHE SONO LA SOLUZIONI PIÙ DIFFUSA**

Incominciamo dall'inizio...

Che cos'è una valvola termostatica?

E' un regolatore di temperatura ambiente
che agisce sulla portata dell'acqua nel radiatore



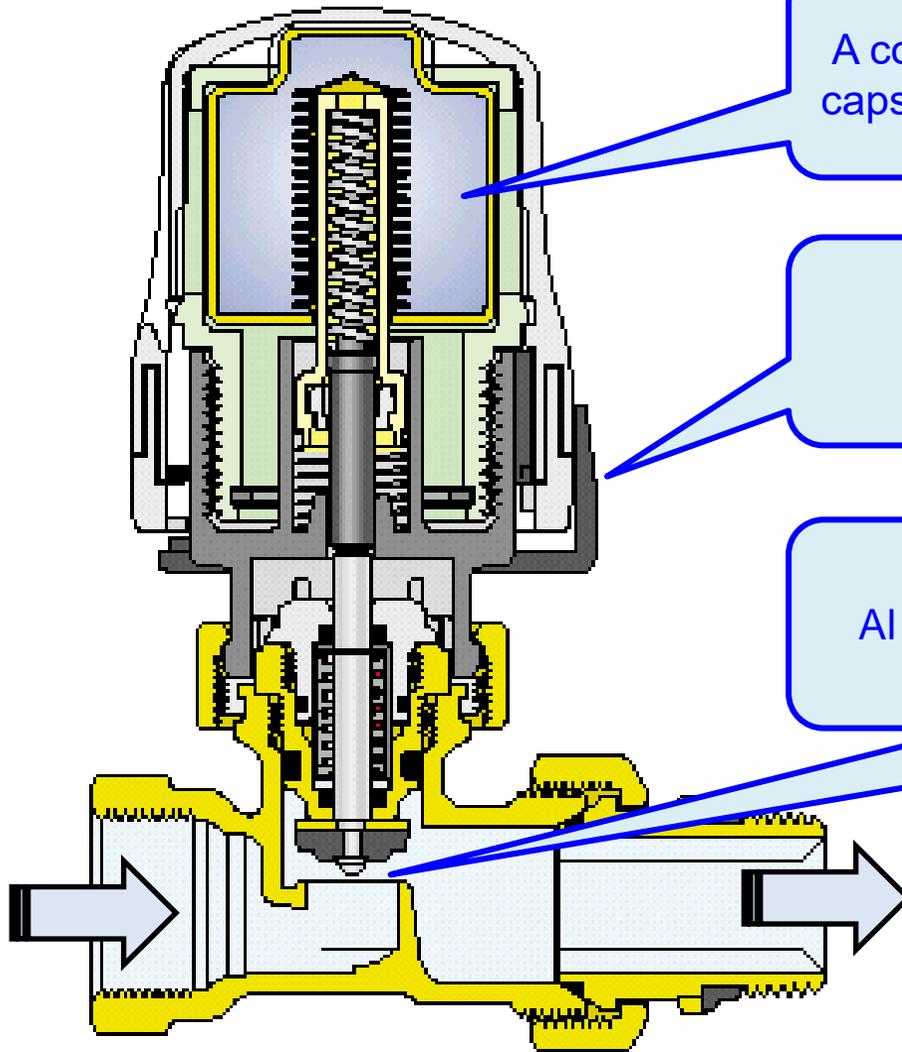
Una volta trovata la posizione
(tipicamente 2...4) **nella quale si ottiene**
la temperatura ambiente desiderata,
non la si deve più toccare

*... salvo chiuderla quando si intende spegnere
l'impianto per periodi prolungati*

La valvola termostatica

... E' UN REGOLATORE DELLE TEMPERATURA AMBIENTE AGENTE SULLA PORTATA DELL'ACQUA NEL RADIATORE

- **L'apertura dell'otturatore è proporzionale alla differenza fra:**
 - Temperatura impostata dall'utente sulla ghiera
 - Temperatura ambiente misurata
 - Quando la temperatura ambiente è uguale alla temperatura impostata sulla ghiera, la valvola termostatica è completamente chiusa
- **Caratteristiche del corpo valvola:**
 - k_v in funzione dell'errore di temperatura (quanta acqua fa passare)
 - Pressione differenziale massima (altrimenti la valvola diventa rumorosa)
- **Caratteristiche della testa termostatica**
 - Tecnologia del sensore: cera, liquido



Sensore

A contatto con l'aria ambiente, il liquido contenuto nella capsula si dilata e spinge l'asta centrale e l'otturatore ad essa collegato

Manopola graduata

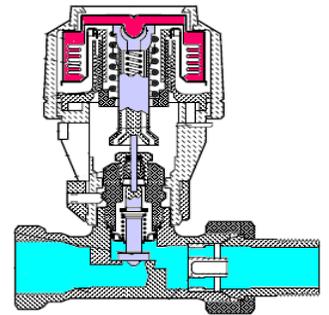
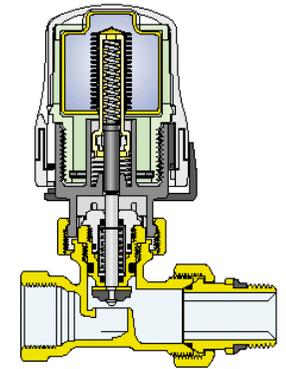
Posizionando su 1...5 si sceglie la temperatura ambiente desiderata

Otturatore

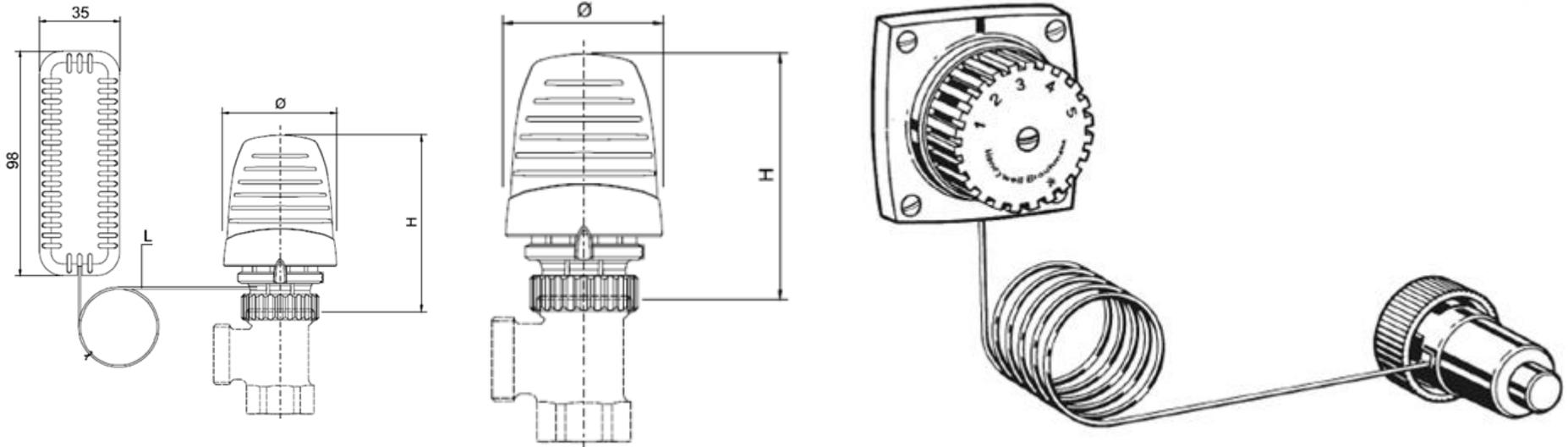
Al raggiungimento della temperatura impostata sulla manopola, l'otturatore va in chiusura sulla sede

Tecnologia della testa

- **Sensore a cera** → **tempi di reazione lunghissimi (ore)**
 - Elevata capacità termica del sensore
 - Riscaldamento solo per conduzione
- **Sensore a liquido** → **tempi di reazione buoni**
 - Capacità termica
 - Riscaldamento per conduzione e convezione
- **Sensore a gas in condensazione** → **reazione pronta**
 - Bassa capacità termica
 - Riscaldamento per conduzione e convezione
- **La valvola termostatica è un regolatore P, perciò:
a stabilità della regolazione (assenza di oscillazioni)
dipende soprattutto dal tempo di reazione.
Più breve è il tempo di reazione, più piccola
potrà essere la banda proporzionale
senza causare oscillazioni di temperatura**



Scale delle valvole termostatiche



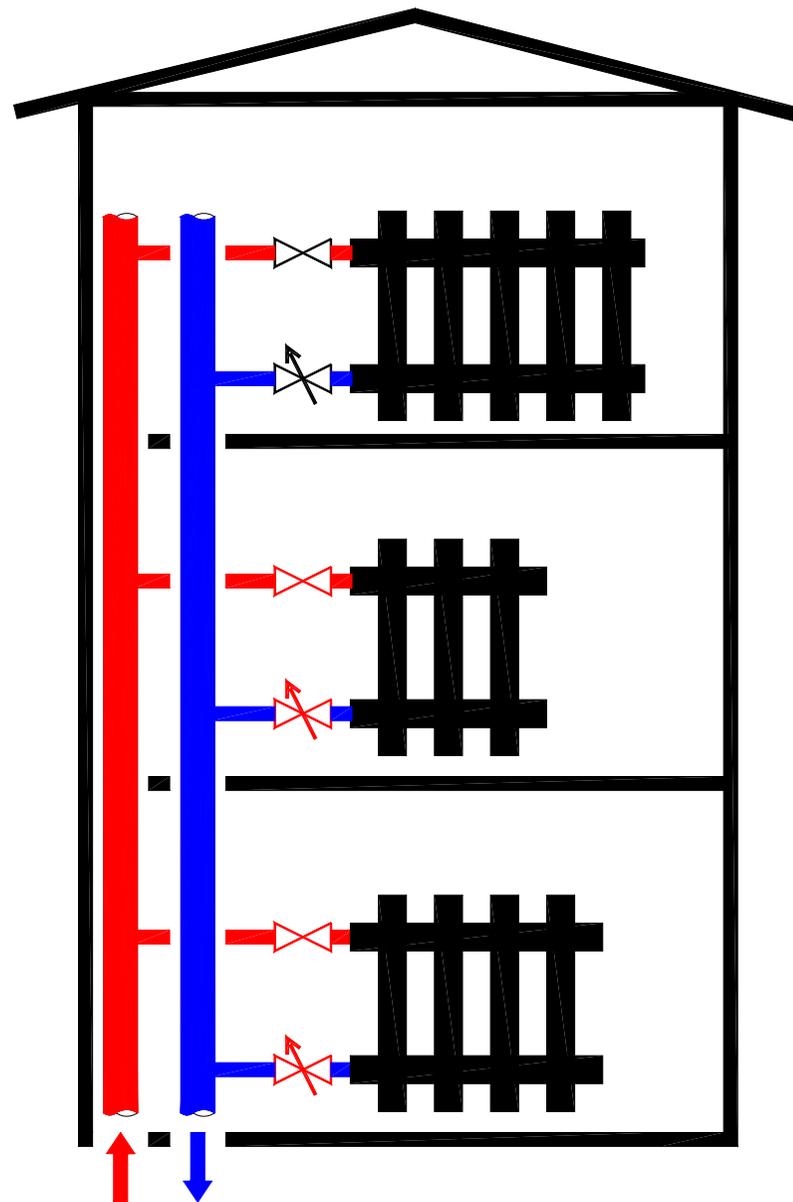
Scala	0	❄	1	2	3	4	5
°C	1	6	14	18	21	24	28

Modello	Lunghezza del tubo capillare	Temperatura in °C – Marcatura Manopola						
		9	16	18	20	22	24	26
T100MZ-2512	2 m	*	1	2	3	4	5	--
T100MZ-2515	5 m	*	1	2	3	4	5	--

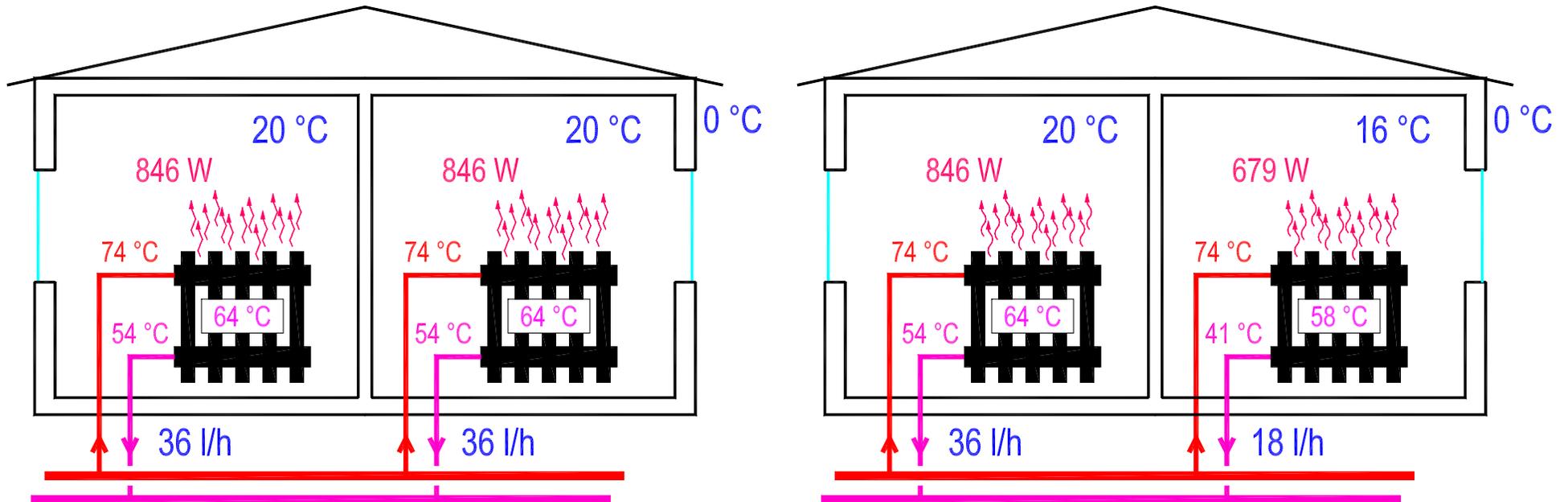
Bilanciamento

Bilanciare l'impianto vuol dire:

1. Immettere il calore dove serve
2. Distribuire i corpi scaldanti in base alla potenza delle dispersioni
3. Distribuire le portate di acqua in base alle potenze dei radiatori
 - Controllo temperatura di ritorno
 - Agire sui detentori?

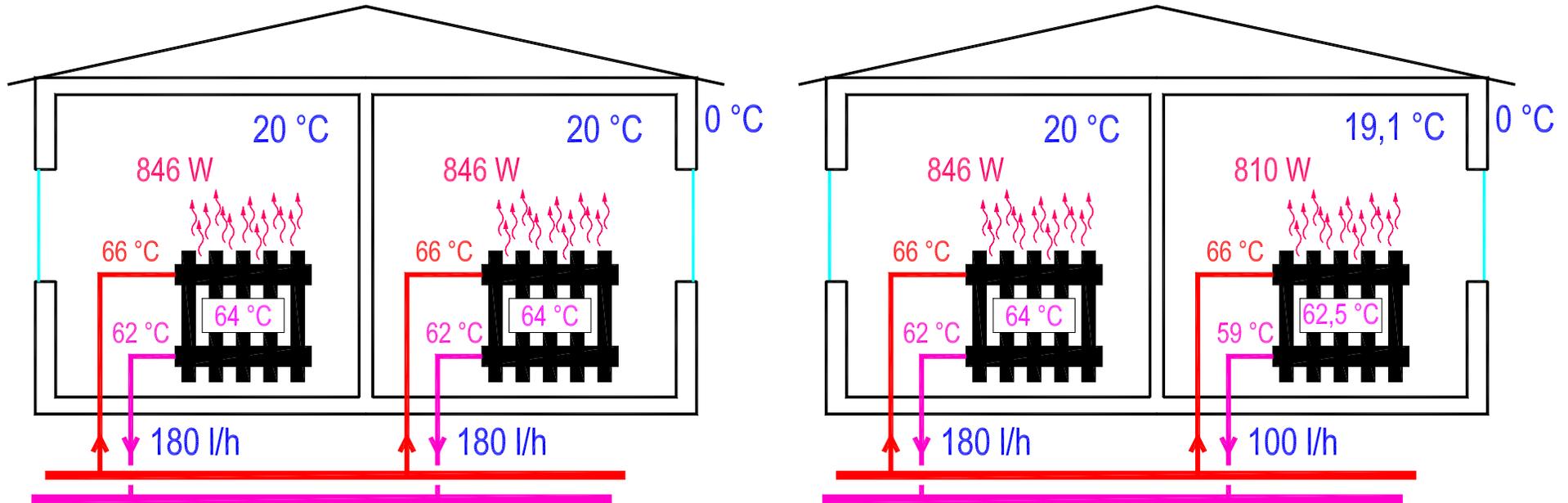


Bilanciamento corretto



Se le portate sono corrette (cioè quanto basta!),
lo sbilanciamento ha effetti disastrosi

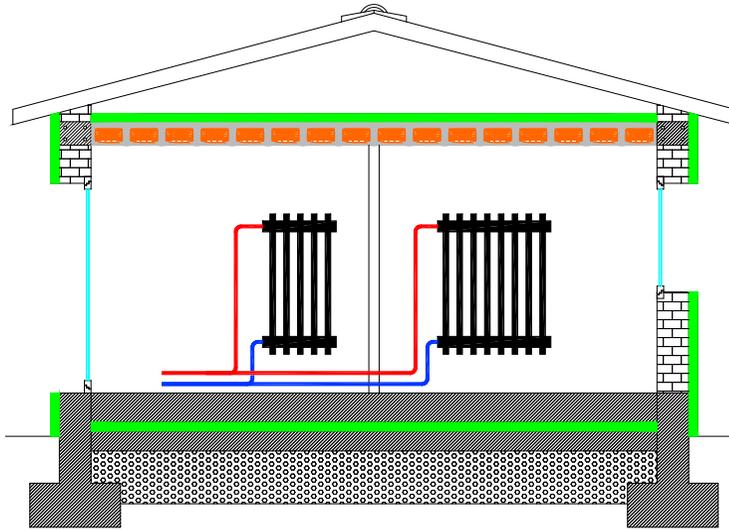
Bilanciamento all'italiana



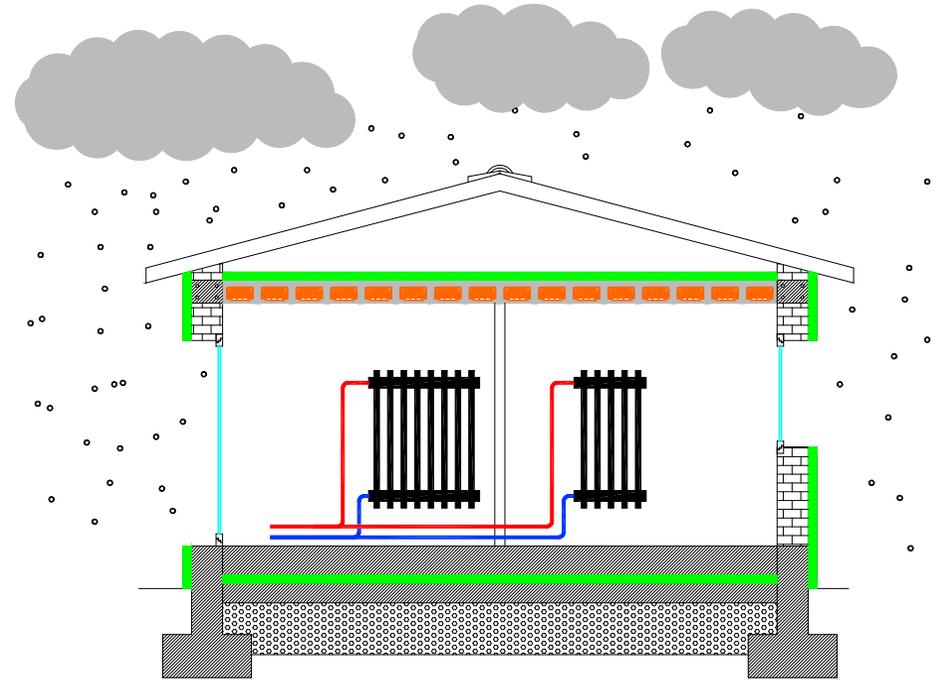
Se le portate sono molto elevate, anche se la portata nel radiatore di destra si riduce a poco più della metà, lo sbilanciamento ha effetti modesti

Sbilanciamento continuo

Casa “passiva”: ampie finestre a sud



**Con il sole
il locale a sud è caldo**

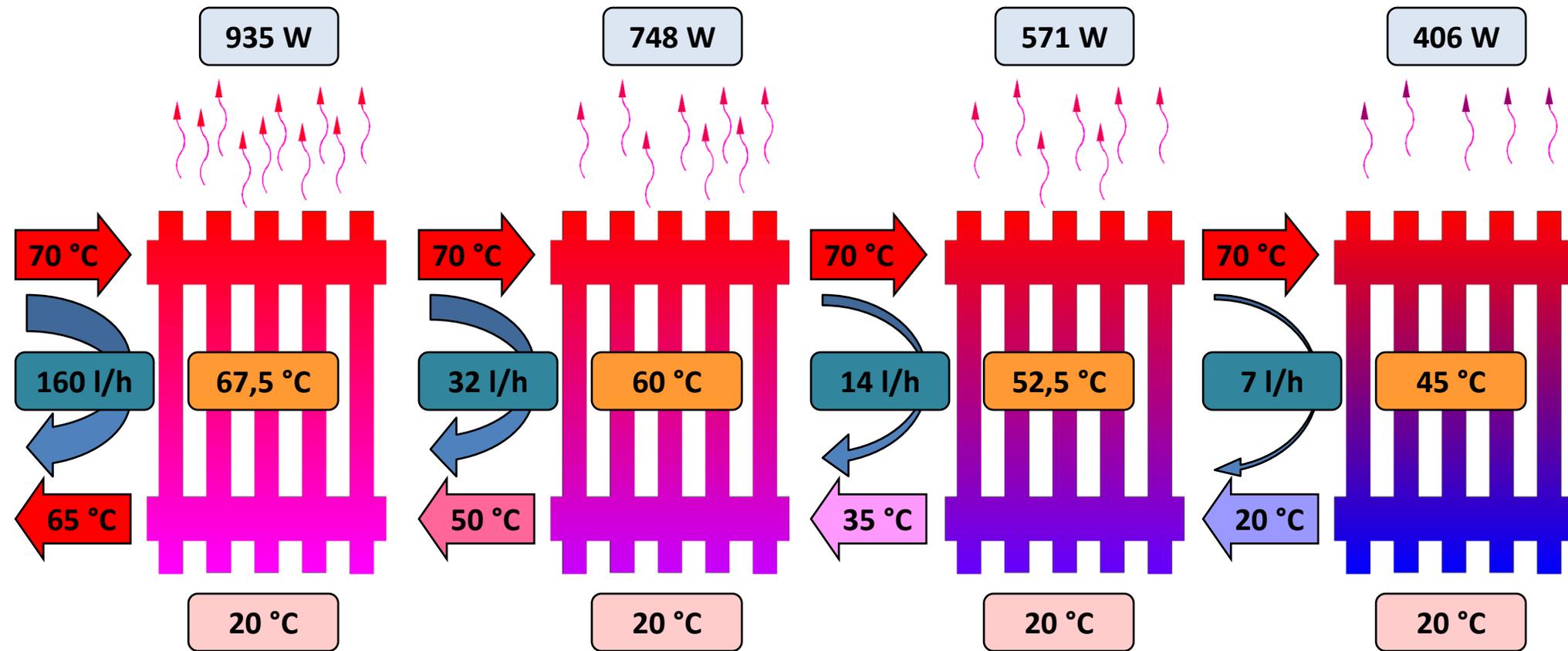


**Senza sole
il locale a sud è freddo**

Bilanciamento ... tedesco



Regolazione a portata variabile



RADIATORE DA 1000 W NOMINALI

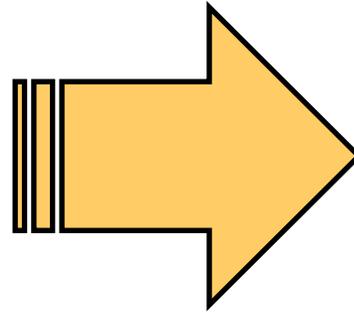
Con l'introduzione delle termostatiche...

- L'impianto funziona in maniera completamente diversa
 - Il vecchio impianto scalda tutti i radiatori in maniera uniforme
 - Il nuovo impianto emette calore solo dove serve
 - Il vecchio impianto richiede una sempre un fiume di acqua
 - Il nuovo impianto richiede poca acqua solo quando serve
- **L'impianto deve essere riprogettato**
 - Progettare = pensare prima di fare
 - Progettare = fare il lavoro con la testa prima di farlo con le mani
- **L'utente deve essere informato ed istruito**

Effetto sulle portate

L'introduzione delle valvole termostatiche provoca
il crollo della portata nell'impianto

150...200 l/h per radiatore → 100...150 l/h per appartamento



Banda proporzionale di progetto

- Affinchè nelle condizioni di progetto circoli acqua nella valvola, questa deve essere sufficientemente aperta
- Affinchè sia aperta, occorre accettare una differenza fra la temperatura impostata e la temperatura effettiva

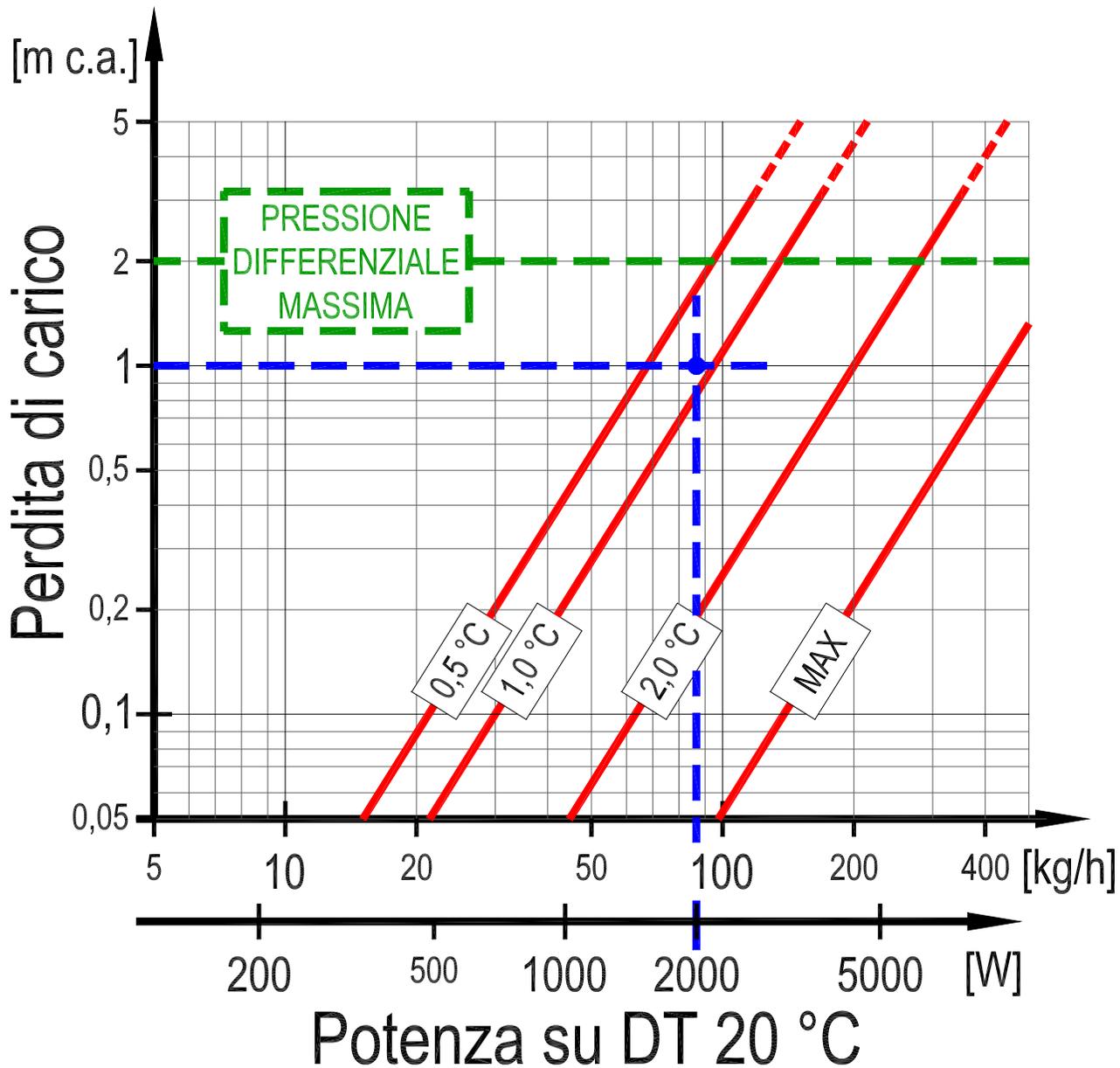


- La “**BANDA PROPORZIONALE DI PROGETTO**” è la differenza fra temperatura impostata dall’utente sulla ghiera e temperatura ambiente misurata che consente di far circolare la portata di progetto nel corpo scaldante servito
- Esempio: Banda proporzionale 1°C
 - Impostazione valvola 20 °C
 - $T_{amb} = 19$ °C in condizioni di progetto (-5 °C esterno)
 - $T_{amb} = 19,0...19,5...20$ °C in condizioni di carico intermedie
- **BANDA PROPORZIONALE REALE**: è la differenza fra temperatura impostata e temperatura ambiente che fa circolare la portata di progetto tenuto conto della valvola installata e della prevalenza disponibile

Stabilità della regolazione

La valvola termostatica è un regolatore P, perciò:

- **In un sistema di regolazione, ogni inerzia nel percorso sensore... attuatore produce instabilità.**
 - a stabilità della regolazione della temperatura ambiente (assenza di oscillazioni) dipende soprattutto dal tempo di reazione della testa.
 - Più breve è il tempo di reazione, più piccola potrà essere la banda proporzionale di progetto senza causare oscillazioni di temperatura.
- **In un sistema di regolazione, il sovradimensionamento dell'attuatore porta all'instabilità**
 - La **banda proporzionale effettiva** è sempre inferiore alla banda proporzionale di progetto:
 - radiatore piccolo
 - valvola termostatica obbligata su impianto esistente
 - prevalenza disponibile maggiore di quella di progetto



Verifica del punto di lavoro della valvola

Potenza 2 kW

$\Delta T = 20 \text{ °C}$

Portata = 86 kg/h

Prevalenza = 1 m c.a.

BP = 1,0 °C

OK

X_p PROGETTO (max ammissibile)

$X_{p,r}$ REALE (del singolo radiatore)

APERTURA VALVOLA %

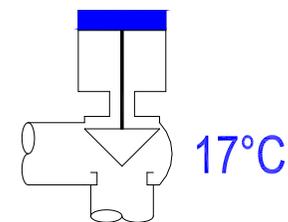
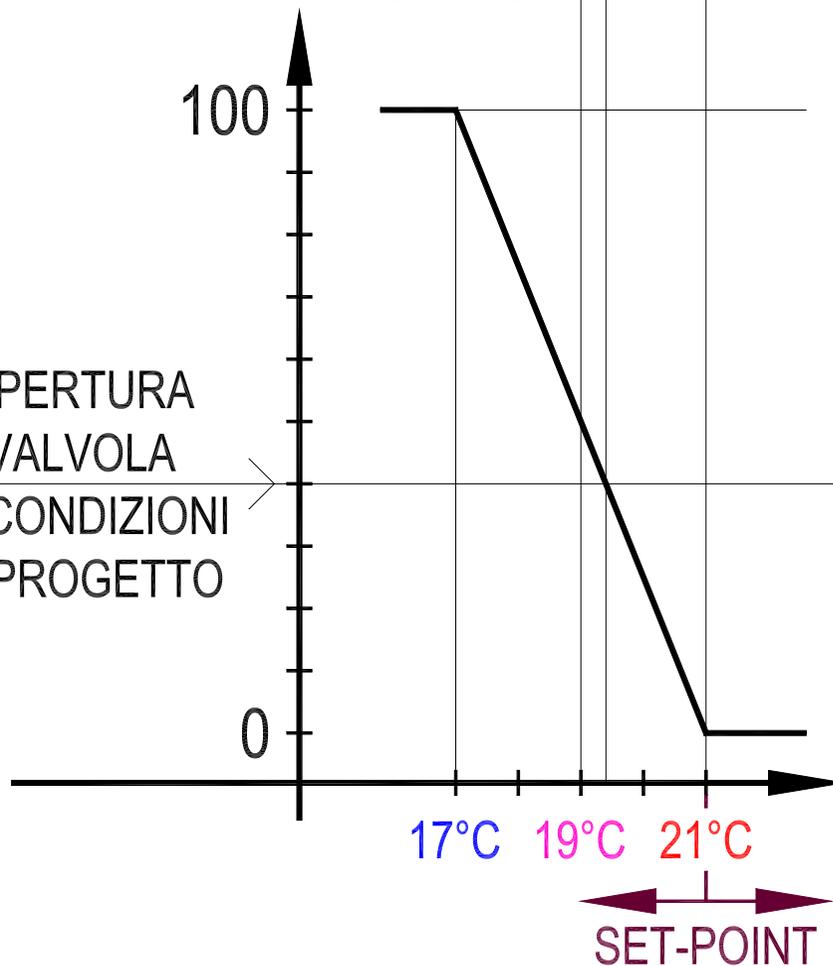
POTENZA RADIATORE
DT DI PROGETTO
PORTATA DI PROGETTO

PERDITA DI CARICO
DI PROGETTO

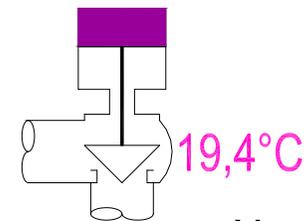
DIMENSIONE
VALVOLA

BANDA
PROPORZIONALE
DI PROGETTO

APERTURA
VALVOLA
IN CONDIZIONI
DI PROGETTO

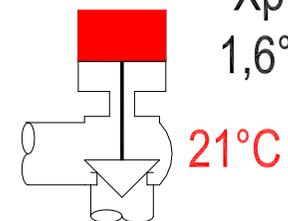


17°C



19,4°C

$X_{p,r}$
1,6°C



21°C

SET-POINT

X_p PROGETTO (max ammissibile)

$X_{p,r}$ REALE (del singolo radiatore)

POTENZA RADIATORE
RICHIESTA REALE

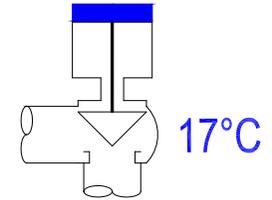
PREVALENZA REALE
DISPONIBILE

TEMPERATURA
DI MANDATA REALE

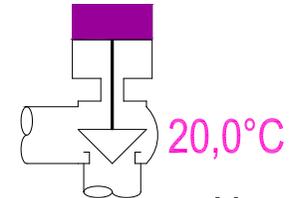
DIMENSIONE
VALVOLA

APERTURA VALVOLA %

APERTURA
VALVOLA
IN CONDIZIONI
DI ESERCIZIO

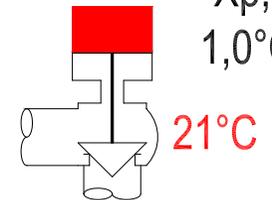


17°C



20,0°C

$X_{p,r}$
1,0°C



21°C

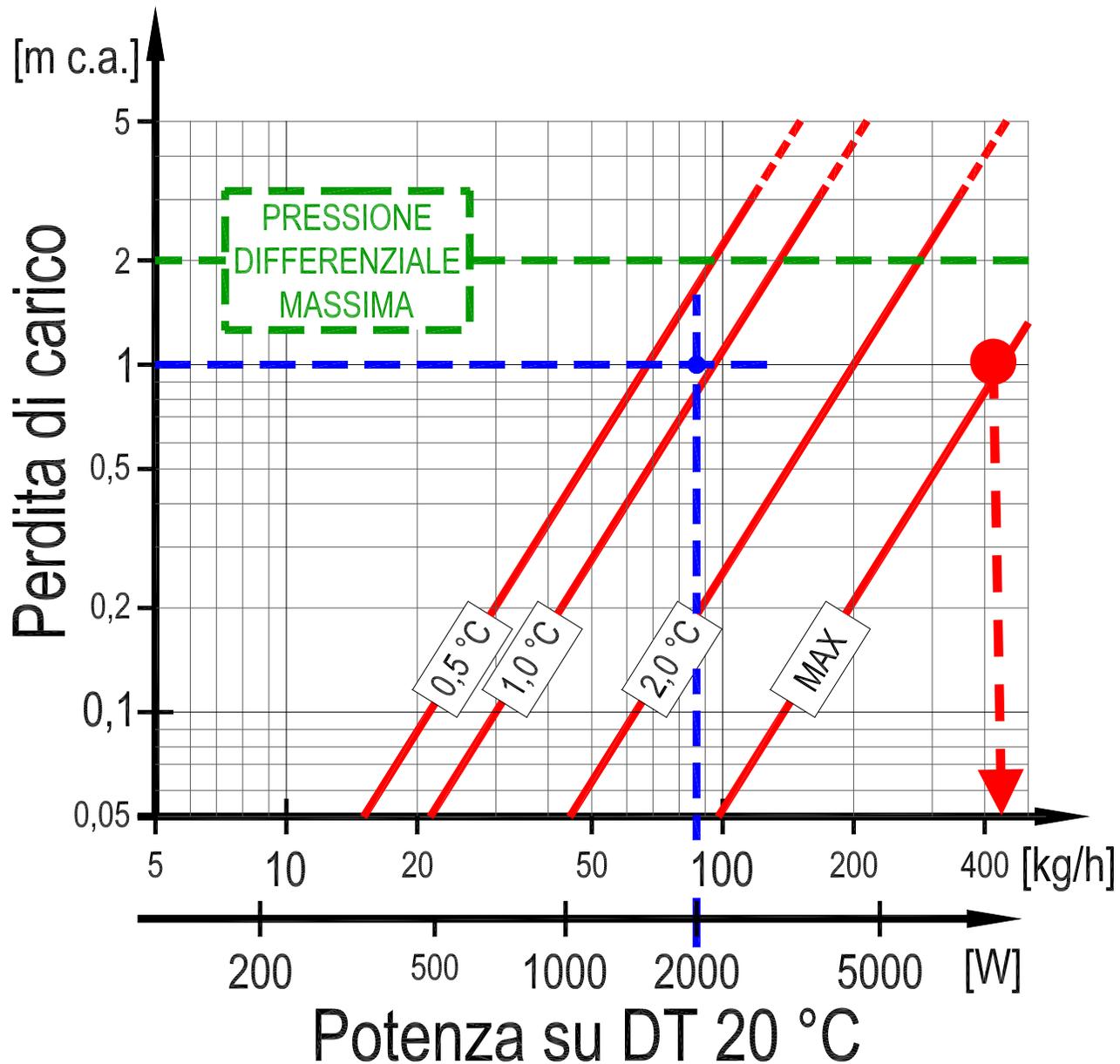
100

0

17°C 19°C 21°C

SET-POINT

BANDA
PROPORZIONALE
REALE



Partenza a freddo

Valvola spalancata
 Prevalenza = 1 m c.a.
 Portata = 430 kg/h

CORTO CIRCUITO IDRAULICO !

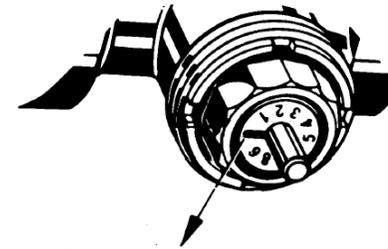
Preregolazione

La **preregolazione** della valvola termostatica (limitazione della corsa di apertura dell'otturatore indipendentemente dalla temperatura ambiente) va impostata in conformità al punto di lavoro di progetto della valvola

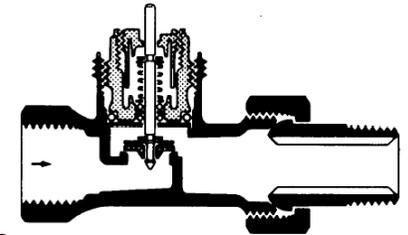
A cosa serve la prerregolazione?

- **Avviamento da freddo dopo la fermata notturna**
- **Funzionamento attenuato dell'impianto**
- **Prevenzione di transitori esagerati**
 - apertura finestra
 - aumento della temperatura impostata dall'utente

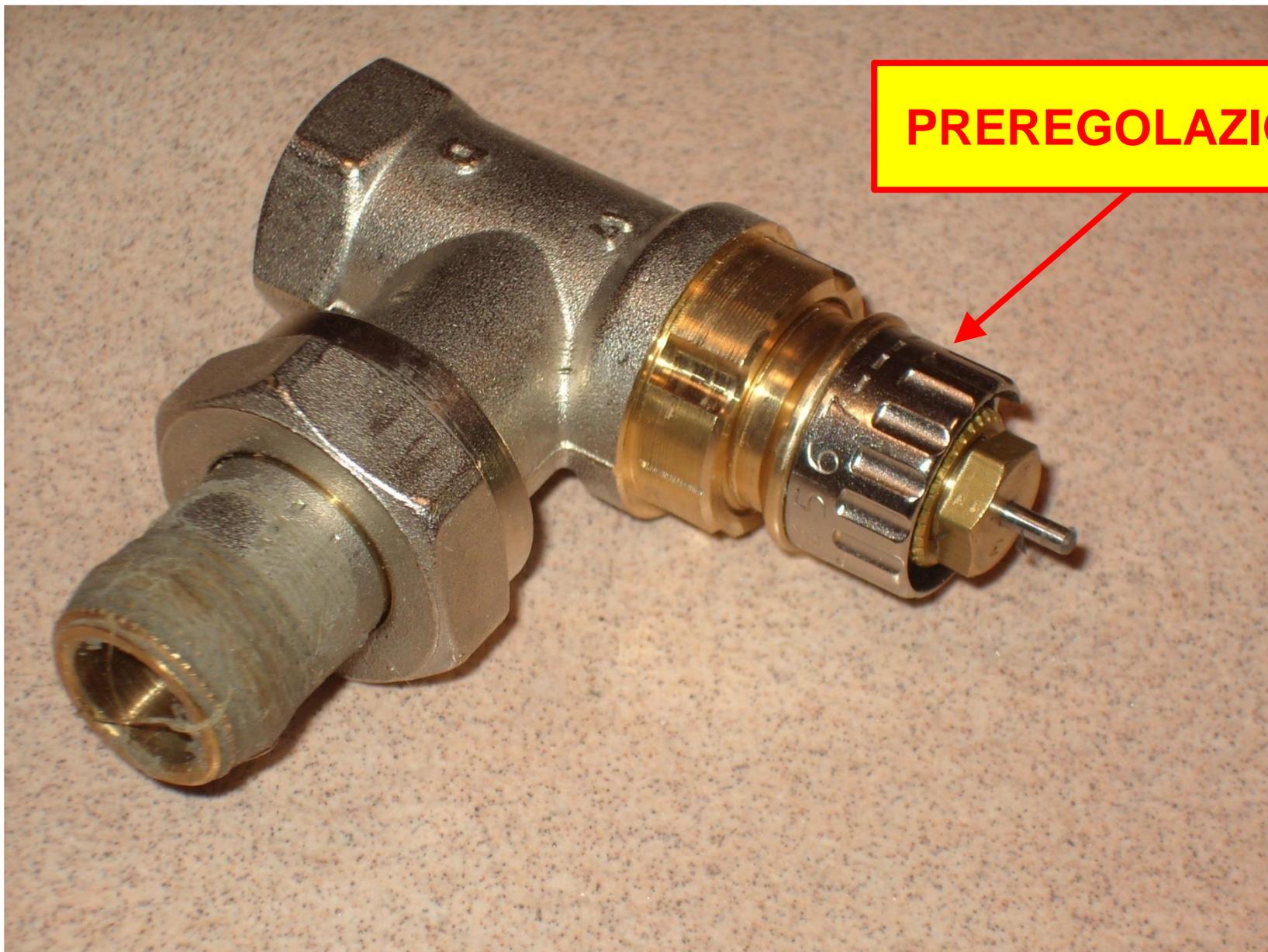
In funzionamento, ogni radiatore dispone sempre della portata di progetto. Di più non serve!!



Regolazione del KV



Otturatore sagomato



PREREGOLAZIONE

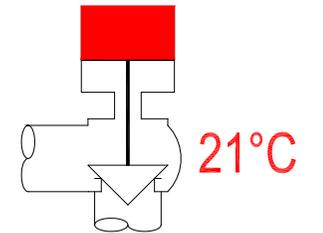
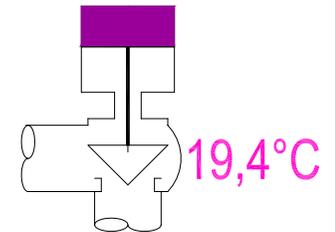
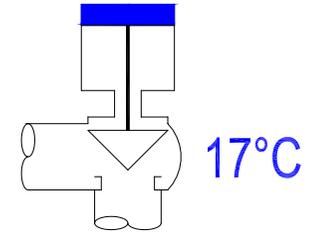
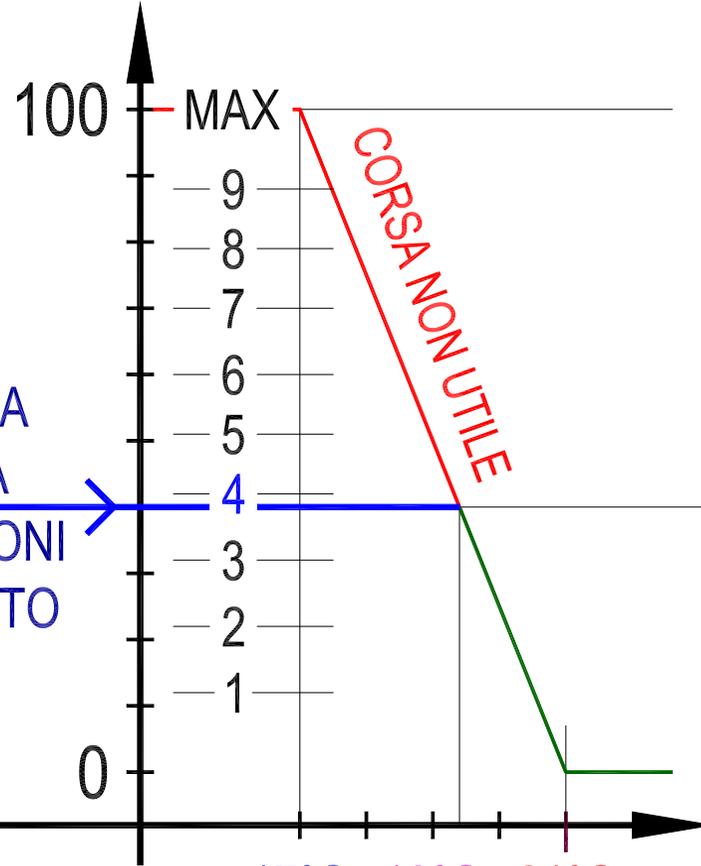
APERTURA VALVOLA %

POTENZA RADIATORE
DT DI PROGETTO
PORTATA DI PROGETTO

PERDITA DI CARICO
DI PROGETTO

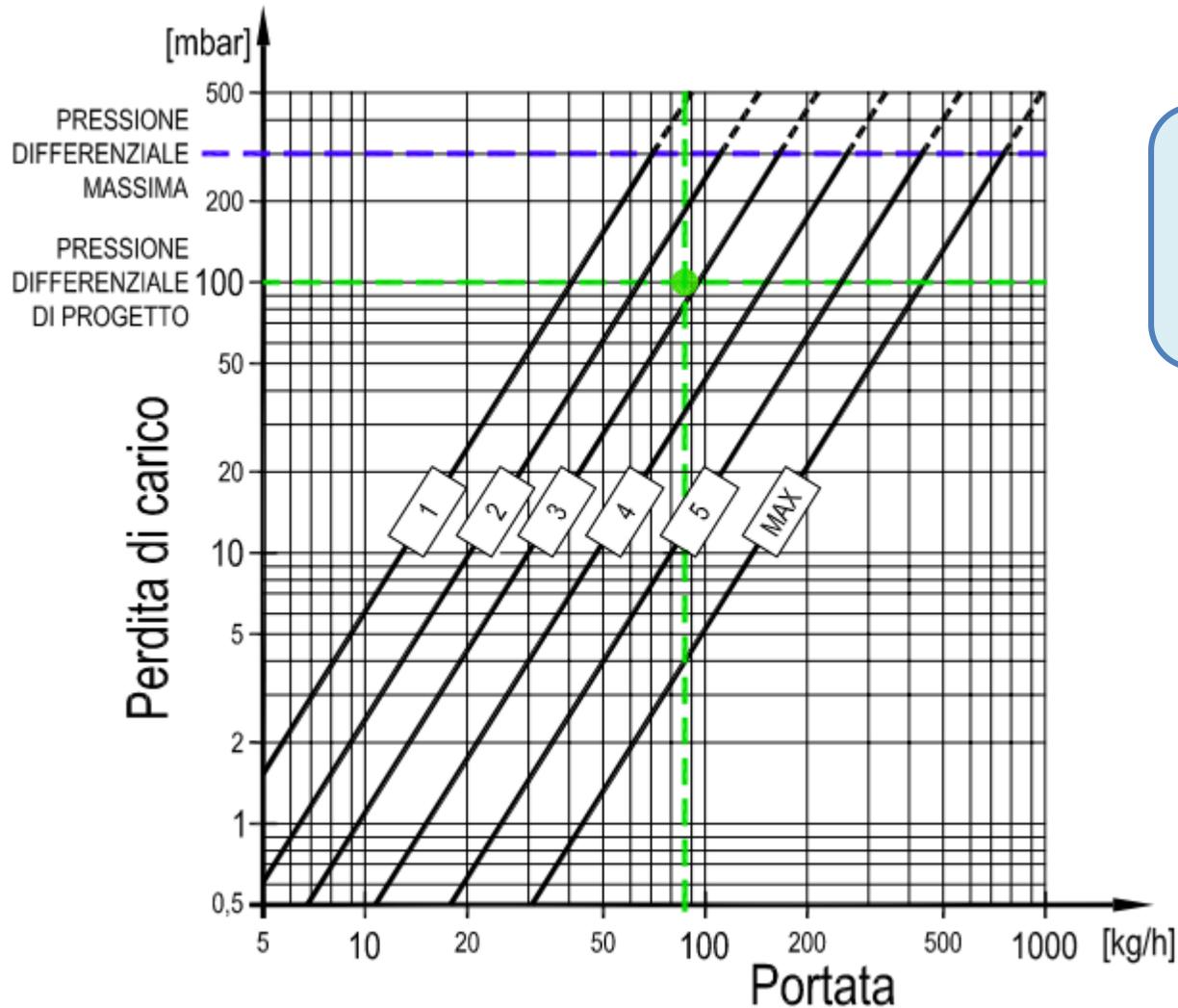
DIMENSIONE
VALVOLA

APERTURA
VALVOLA
IN CONDIZIONI
DI PROGETTO



SET-POINT

Scelta della preregolazione



SCELTA DELLA PREREGOLAZIONE

Dimensionamento delle valvole

- Verifica dimensione minima
 - quasi sempre verificata
- Calcolo della preregolazione
 - Impianto esistente
 - da dimensioni radiatori ed UNI 10200
 - Impianto nuovo
 - da potenze di progetto (carico termico)

**NEGLI EDIFICI ESISTENTI SI PUO' ASSUMERE COME CARICO TERMICO
LA POTENZA DEL CORPO SCALDANTE.
IN PRESENZA DI REGOLAZIONE, ANCHE SE LA POTENZA
E' MAGGIORE DEI FABBISOGNI CIO' NON E' UN PROBLEMA**

Dove trovare la potenza del radiatore

1. Norma di prodotto: EN 442

→ *per radiatori prodotti dopo il 1992*

2. Certificato di prova del modello secondo una norma nazionale (UNI o di qualsiasi stato UE, non dato di catalogo)

→ *laddove i radiatori venivano provati*

3. Esecuzione di una prova presso un laboratorio accreditato

4. Metodo di calcolo validato sperimentalmente (metodo dimensionale UNI 10200)

→ *per i radiatori tipici italiani*

5. Solo per termoconvettori: carico termico se non ci sono altri dati.

Tutte le potenze devono essere rese omogenee, cioè riferite alle medesime condizioni di DT verso l'aria (meglio 60 °C)

Potenza radiatore col metodo dimensionale

- Rilievo delle dimensioni e della tipologia dei radiatori
- **Potenza con $\Delta T 60\text{ }^\circ\text{C}$:**

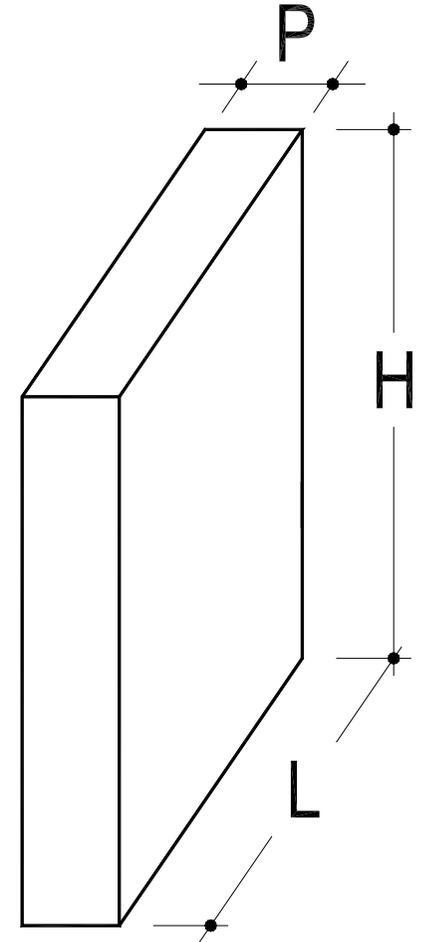
$$P_{60} [\text{W}] = 314 \times S + C \times V$$

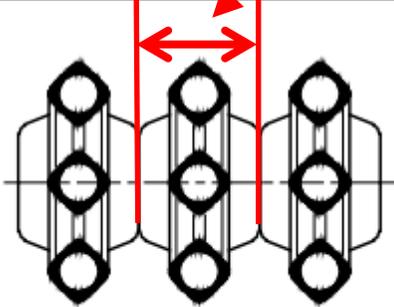
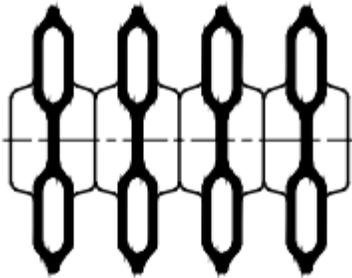
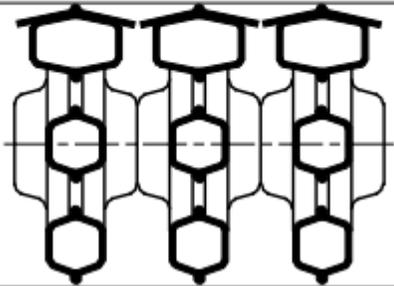
- S espressa in $\text{m}^2 \rightarrow$ contributo dell'irraggiamento
- V espresso in $\text{m}^3 \rightarrow$ contributo per convezione
- C [W/m^3] : da 16900 colonne piccole
 \rightarrow 24000 Alluminio

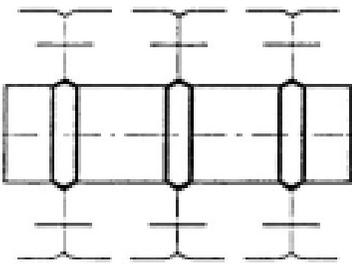
$$S = 2 \times (H \times L + H \times P + L \times P)$$

$$V = L \times H \times P$$

(lunghezza, altezza, profondità o spessore)



Ghisa		Colonne piccole (sezione $\leq 30 \times 30$ mm)	mozzo 50 mm	18000	1
			mozzo 55 mm	16900	2
			mozzo 60 mm ²⁾	15500	3
		Colonne grandi (sezione $> 30 \times 30$ mm)	mozzo 55 mm	18600	4
			mozzo 60 mm	17600	5
Ghisa o Acciaio		Colonne unite da diaframma		16900	6
Piastre di Ghisa		Colonne lisce		20300	7
		Colonne alettate		21400	8

Alluminio		Molto alettato	28.100
		Mediamente alettato	24.800
		Poco alettato	21.400
Acciaio		Piastra senza alettatura	20.300
		Con alettatura posteriore	23.600
		Con alettatura fra i ranghi	22.500

Potenza EN 442

- I radiatori nuovi marcati CE hanno una «potenza nominale» su $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Viene determinata su un campione con almeno 10 elementi e con una potenza minima e massima
 - Non è corretta per radiatori con pochi elementi
 - E' l'unica soluzione possibile per radiatori particolari

~~• Soluzione possibile:~~

~~Ricavare $C = (P_{60} - 314 \times S) / V \dots$~~

~~... e ricalcolare con UNI 10200~~

Rimosso in
UNI
10200:2018

Modello	Profondità (C) mm	Altezza (B) mm	Interasse (A) mm	Larghezza (D) mm	Diametro pollici	Contenuto litri/elem	Peso Kg/elem.	Potenza W/elem	Espon. N	Coeff. K _m
350/100	97	428	350	80	G1	0,27	1,13	92,9	1,3077	0,5577
500/100	97	578	500	80	G1	0,32	1,44	123,2	1,3236	0,6945
600/100	97	678	600	80	G1	0,37	1,69	140,7	1,3405	0,7427
700/100	97	777	700	80	G1	0,41	1,91	157,9	1,3478	0,8098
800/100	97	878	800	80	G1	0,47	2,17	173,8	1,3484	0,8897

Equazione caratteristica dal modello $\Phi = K_m \Delta T_n$ (riferimento EN 442-1)

I valori di potenza termica pubblicati, espressi a $\Delta T=50$ K, sono conformi alla norma europea EN 442-2.

Modello	$\Delta T50$	$\Delta T40$	$\Delta T35$	$\Delta T30$	$\Delta T25$
350/100	92,9	69,4	58,3	47,6	37,5
500/100	123,2	91,7	76,8	62,6	49,2
600/100	140,7	104,3	87,2	70,9	55,6
700/100	157,9	116,9	97,6	79,3	62,0
800/100	173,8	128,7	107,5	87,3	68,3

10 elementi $\rightarrow 97 \times 678 \times 800 \rightarrow S = 1,37 \text{ m}^2 \quad V = 0,053 \text{ m}^3$

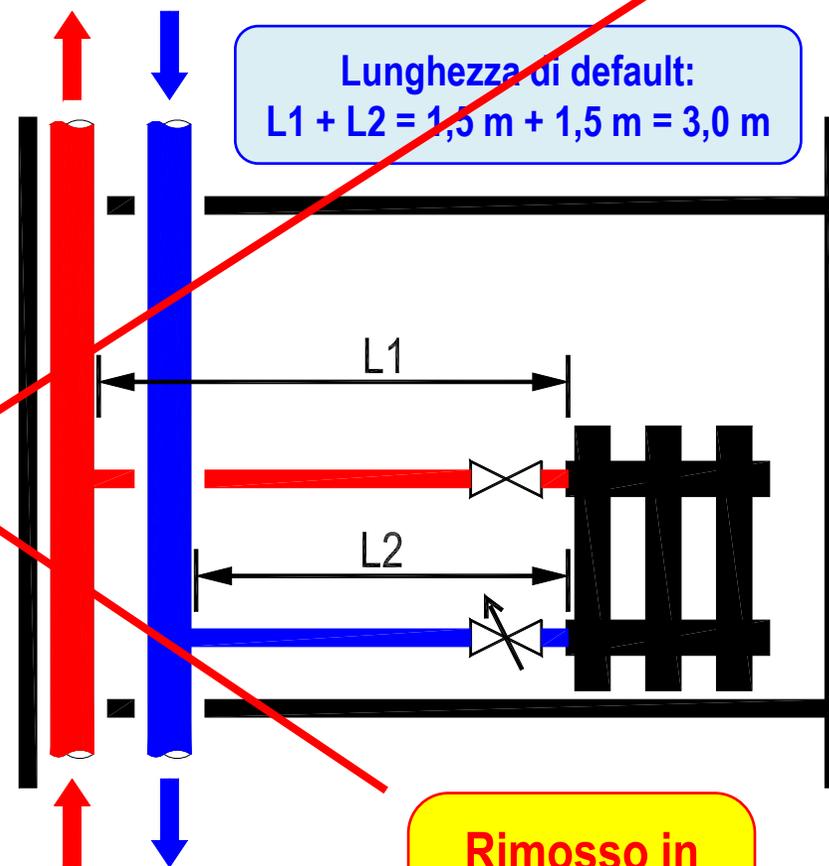
$P_{50} = 1407 \text{ W} \rightarrow P_{60} = 1796 \text{ W} \rightarrow C = 25958 \text{ W/m}^3$

Dato congruo con metodo dimensionale che indica 24100...28100 W/m³

... e la potenza del tubo...

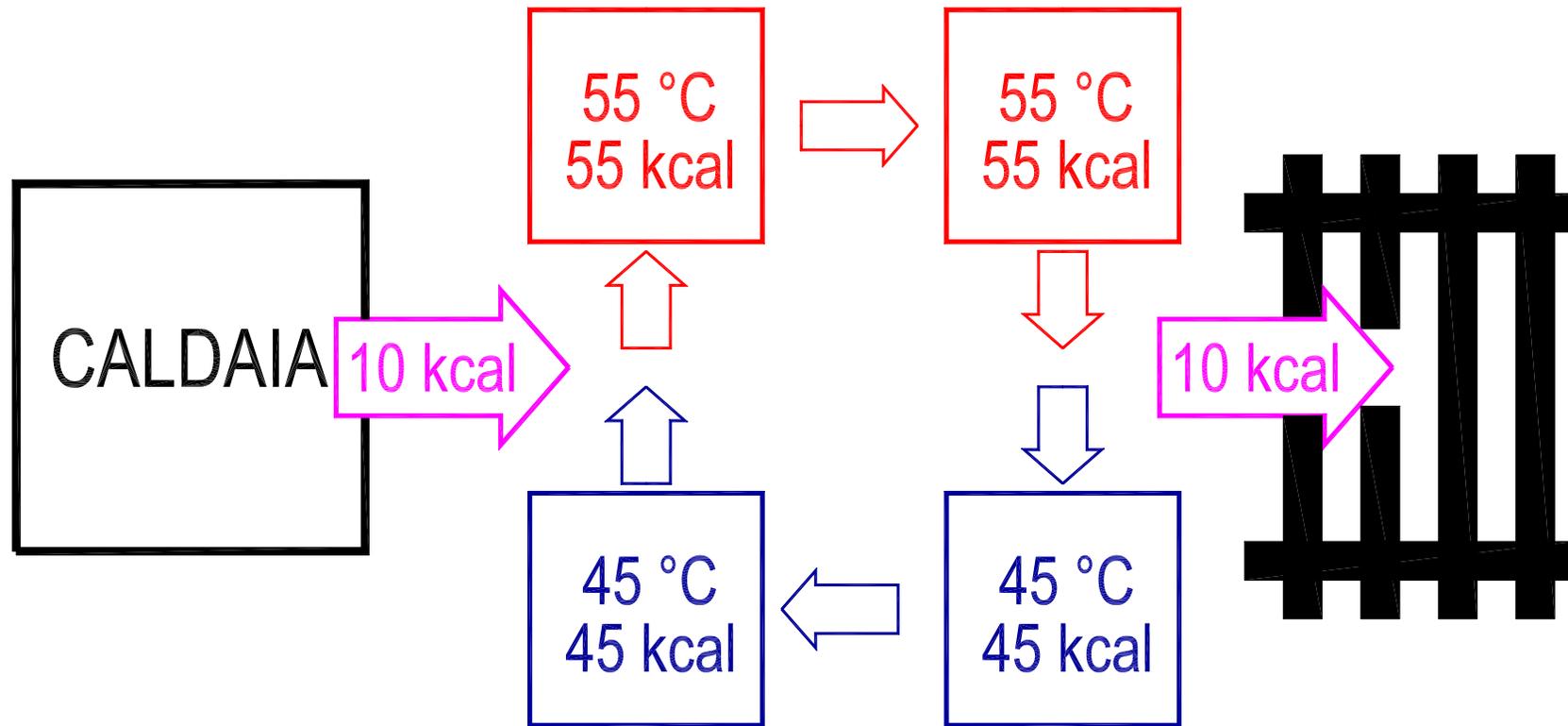
Ai fini della determinazione della potenza dei singoli corpi scaldanti, secondo la UNI 10200 occorre tenere conto della dispersione del tratto di tubazione di collegamento (non coibentata ?) del singolo radiatore, sotto il controllo del medesimo dispositivo di regolazione.

Diametro	W/m	Diametro	W/m
10	16	1/2''	35
12	20	3/4''	44
14	23	1''	55
16	27		
18	29		



**Rimosso in
UNI
10200:2018**

Perché facciamo girare l'acqua?



Per trasportare il calore dalla caldaia ai corpi scaldanti occorre
“caricarlo” su un fluido termovettore.

Ogni litro di acqua, ad ogni giro dell'impianto trasporta una quantità di calore pari
alla differenza di temperatura fra andata e ritorno

I circuiti idraulici

- **Per trasportare il calore** occorre far girare l'acqua percorrendo la mandata ed il ritorno
- **Ad ogni giro**, l'acqua trasporta una quantità di calore proporzionale alla **differenza fra la temperatura di mandata e la temperatura di ritorno**.
- Se la differenza di temperatura fra mandata e ritorno è elevata basta far girare poca acqua
- **Per regolare l'erogazione di potenza** dell'impianto dovremo regolare temperature dell'acqua oppure lo scambio termico sui corpi scaldanti (ventilconvettori)

Quantità e portata di acqua

- La quantità di acqua V si misura in litri o kg
→ nei circuiti idraulici possiamo confonderli
(*finchè non dobbiamo pensare alla dilatazione...*)
- La portata di acqua V' è la quantità di acqua che passa in una unità di tempo
→ m^3/ora ... litri/ora
... l/min ... l/s ...

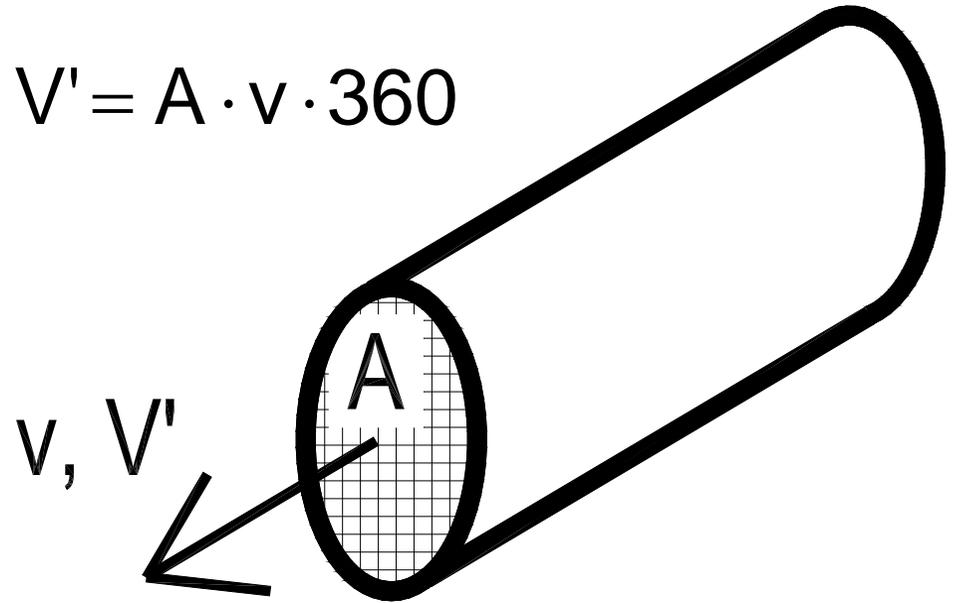


Relazione fra portata e velocità

- A [cm²] = area della sezione interna
- v [m/s] = velocità
- V' [l/h] = portata

$$V' = A \cdot v \cdot 360$$

$$v = \frac{V'}{A \cdot 360}$$



Portata 43 l/h

Tubo da 12 x 1

$A = 0,8 \text{ cm}^2$

$$v = \frac{43 \text{ l/h}}{0,8 \text{ cm}^2 \cdot 360} = 0,15 \text{ m/s}$$

Dimensioni tipiche dei tubi

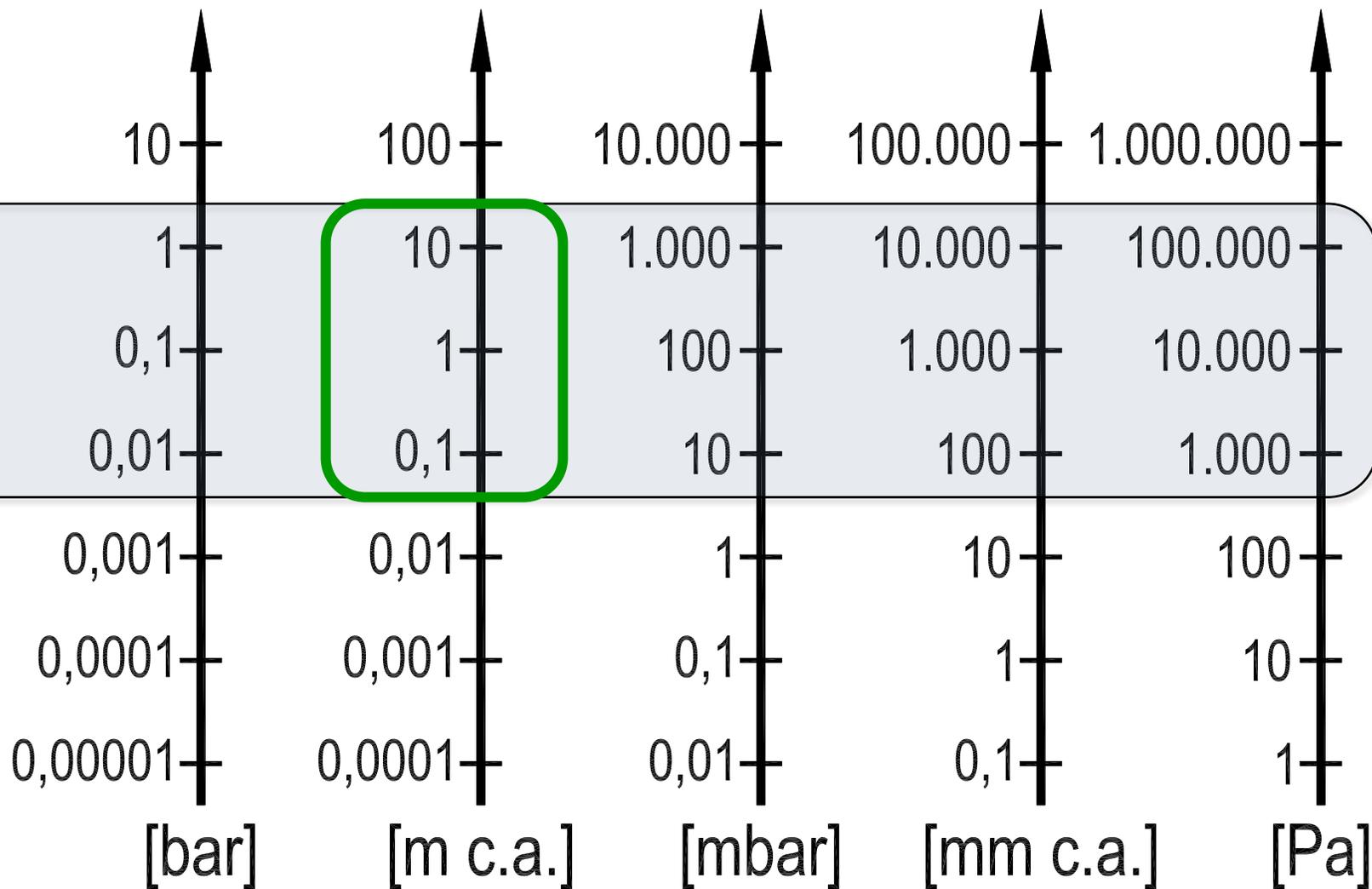
Tubo	Diametro esterno	Spessore	Diametro interno	Area sezione	Tubo	Diametro esterno	Spessore	Diametro interno	Area sezione
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm²</i>		<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm²</i>
10 x 1	10	1	8	0,50	DN 15	21,3	2,35	16,6	2,16
12 x 1	12	1	10	0,79	DN 20	26,9	2,35	22,2	3,87
16 x 1	16	1	14	1,54	DN 25	33,7	2,9	27,9	6,11
18 x 1,5	18	1,5	15	1,77	DN 32	42,4	2,9	36,6	10,52
22 x 1,5	22	1,5	19	2,84	DN 40	48,3	2,9	42,5	14,19
28 x 1,5	28	1,5	25	4,91	DN 50	60,3	3,25	53,8	22,73

Portate indicative tubazioni

Tubo	Diametro esterno	Spessore	Diametro interno	Area sezione	Velocità acqua	Portata
	mm	mm	mm	cm ²	m/s	l/h
10 x 1	10	1,0	8	0,50	0,5	90
12 x 1	12	1,0	10	0,79	0,5	141
16 x 1	16	1,0	14	1,54	0,5	277
18 x 1,5	18	1,5	15	1,77	0,5	318
22 x 1,5	22	1,5	19	2,84	0,5	510
28 x 1,5	28	1,5	25	4,91	0,5	884
DN 15	21,3	2,35	16,6	2,16	0,5	390
DN 20	26,9	2,35	22,2	3,87	0,5	697
DN 25	33,7	2,9	27,9	6,11	0,5	1.100
DN 32	42,4	2,9	36,6	10,5	0,75	2.841
DN 40	48,3	2,9	42,5	14,2	1,0	5.107
DN 50	60,3	3,25	53,8	22,7	1,0	8.184

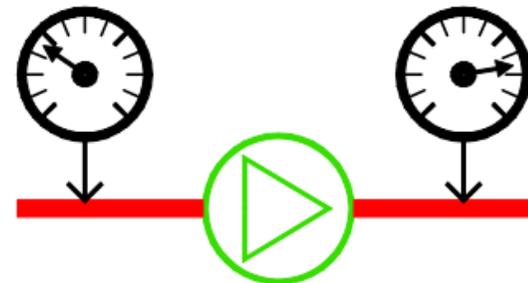
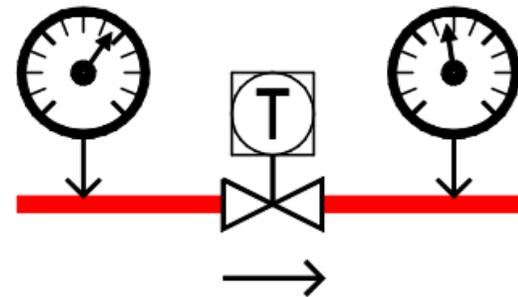
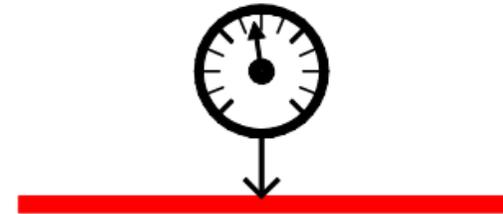
Scale delle unità di misura di pressione

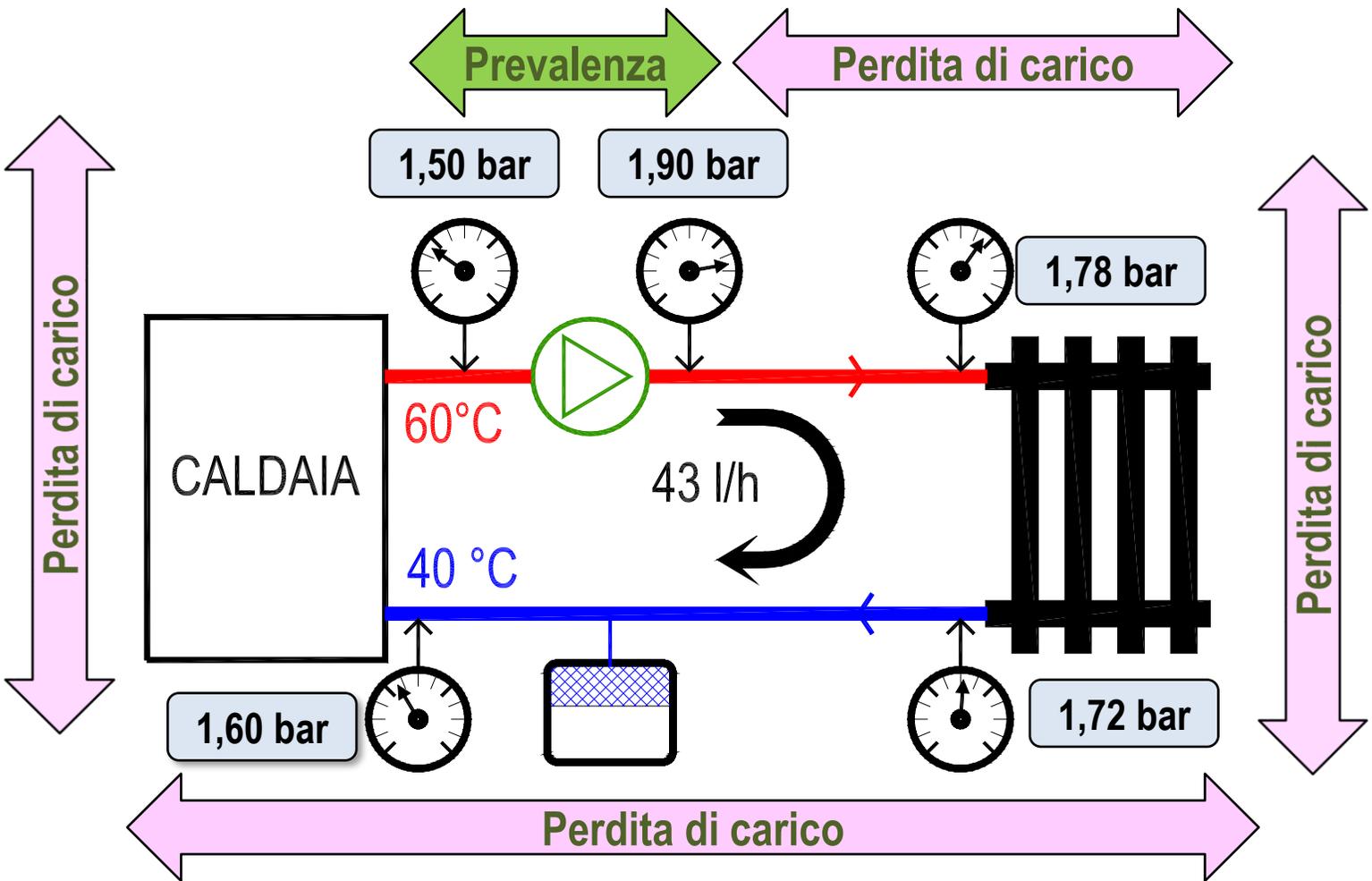
**IMPIANTI
IDRAULICI**



Per capirci...

- **Pressione** →
misurata in un punto
- **Perdita di carico** →
differenza di pressione
a causa dell'attrito fra
acqua e tubo
Forza resistente
- **Prevalenza** →
aumento di pressione
fornito dalla pompa
Forza motrice





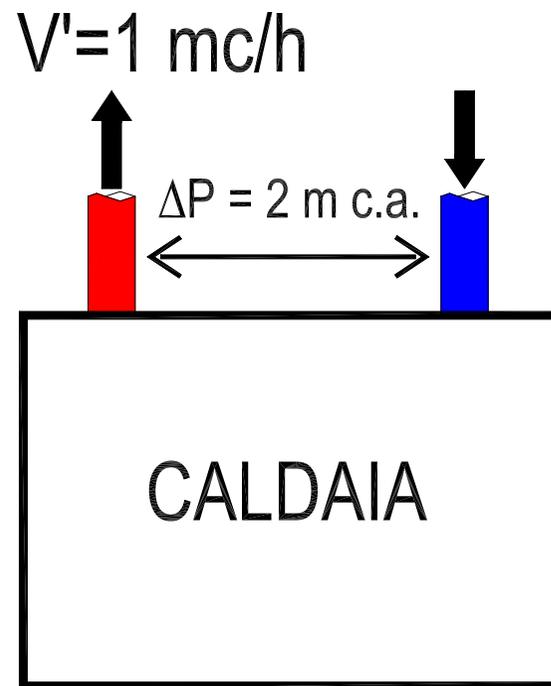
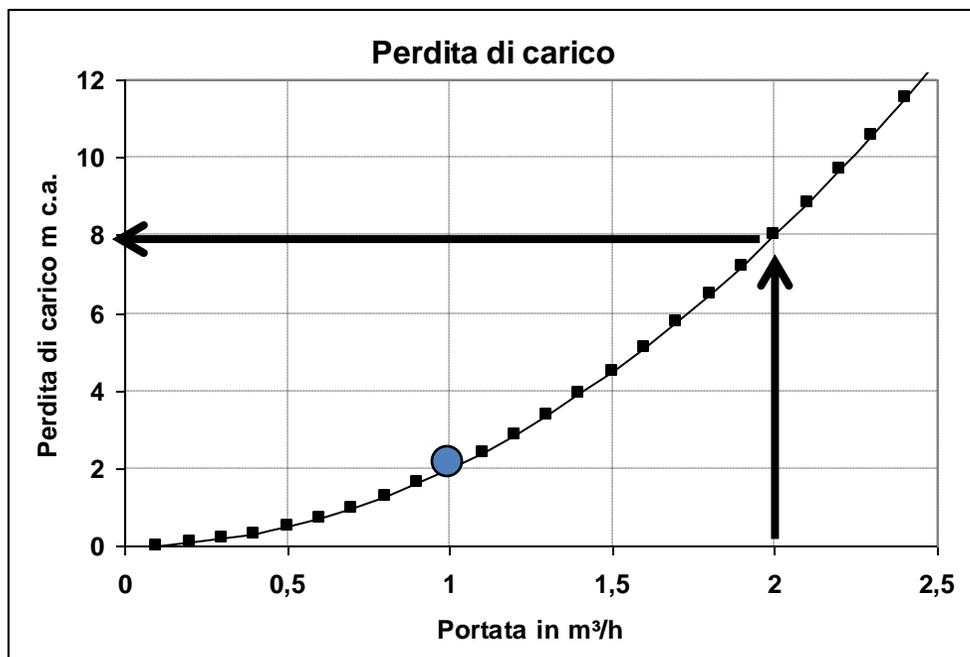
La pompa «spinge» l'acqua aumentandone la pressione .

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)

Le perdite di carico dipendono dal quadrato della portata



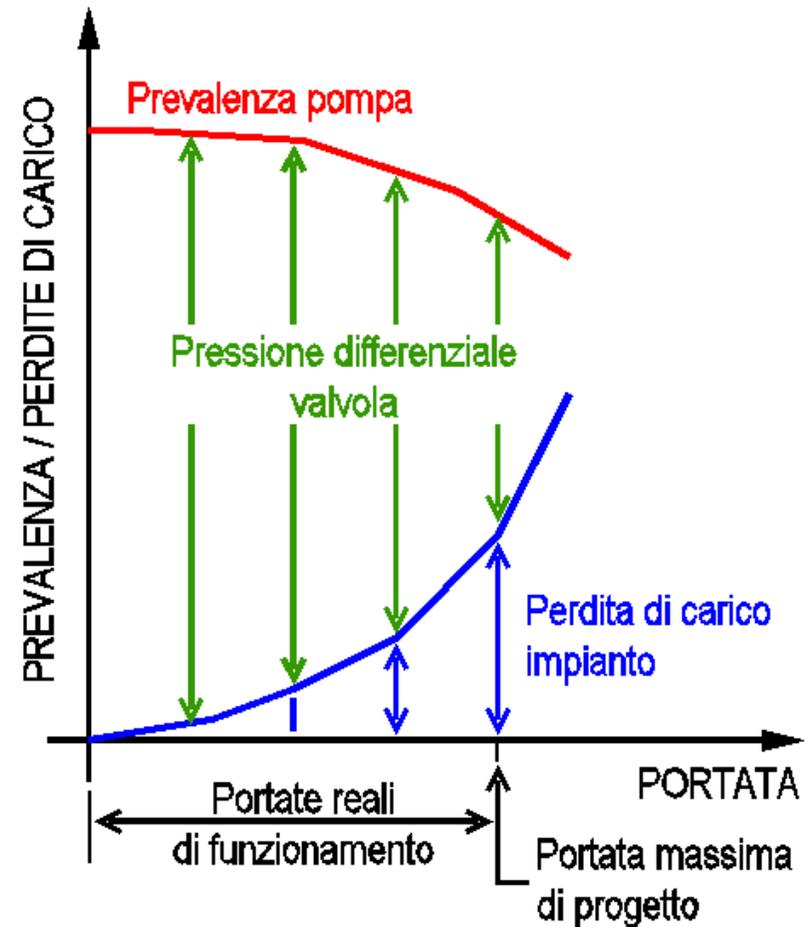
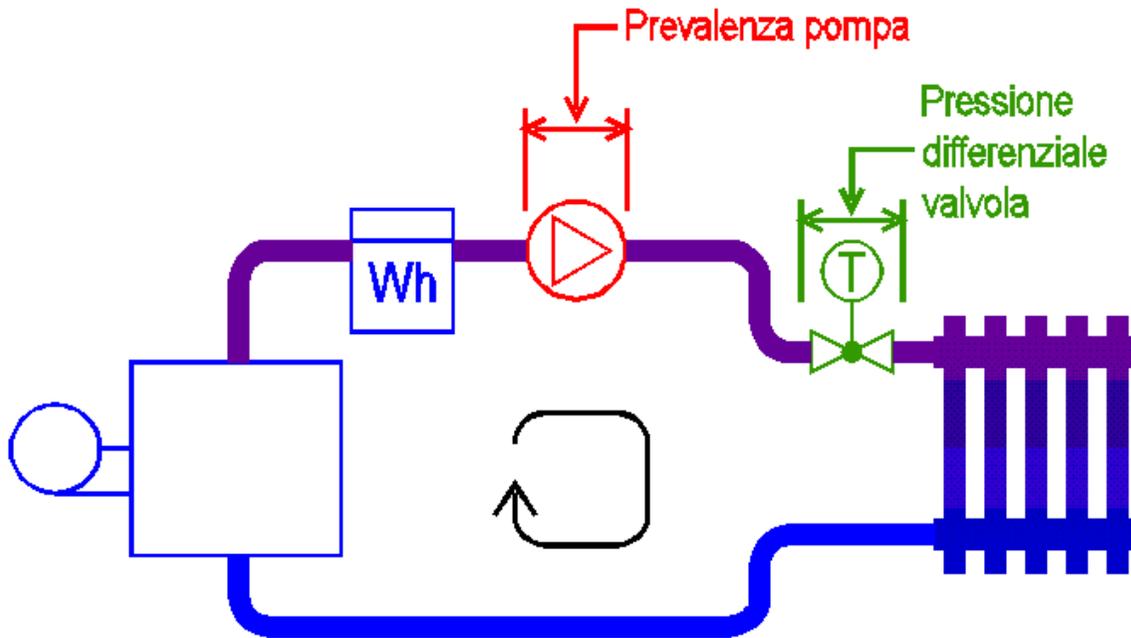
Le perdite di carico dipendono dal quadrato della portata

- **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

Il dito sulla canna dell'acqua...



Scelta della pompa: giri fissi

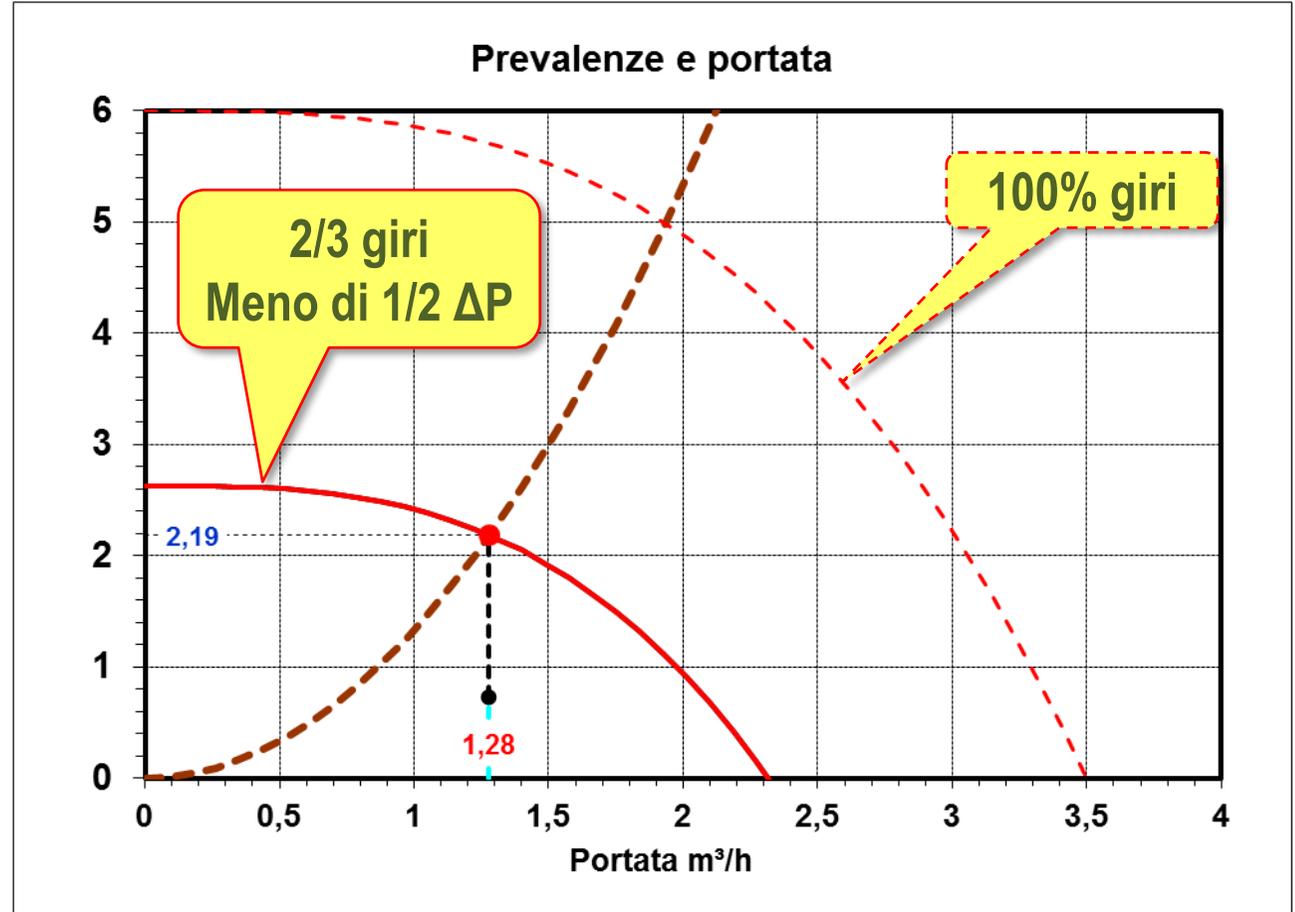


AL RIDURSI DELLA PORTATA CIRCOLANTE AUMENTA LA PRESSIONE DIFERENZIALE A CAVALLO DELLE VALVOLE TERMOSTATICHE...

Leggi delle pompe

Al variare del numero di giri...

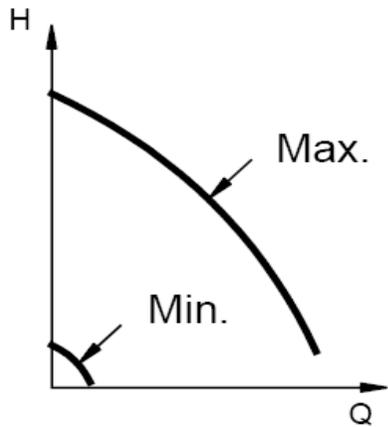
- La prevalenza è proporzionale al quadrato dei giri
- La portata è proporzionale ai giri
- La potenza è proporzionale al cubo dei giri



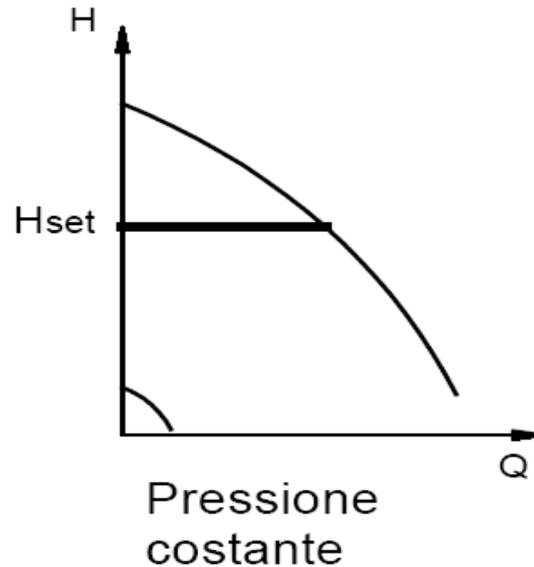
Pompe elettroniche

Dispositivo a controllo elettronico → parametrizzazione

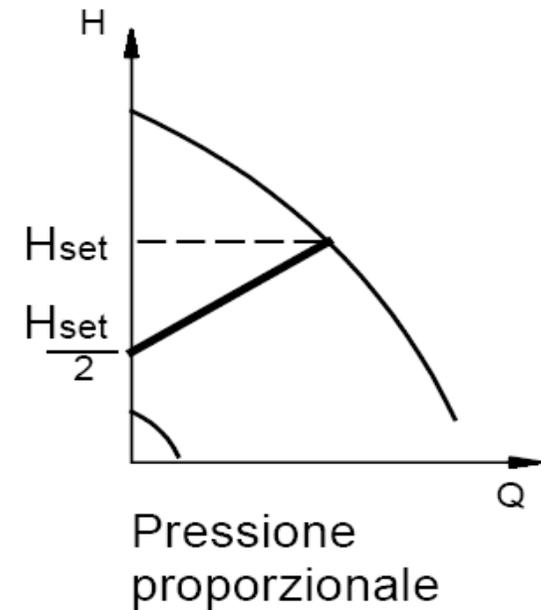
A giri fissi



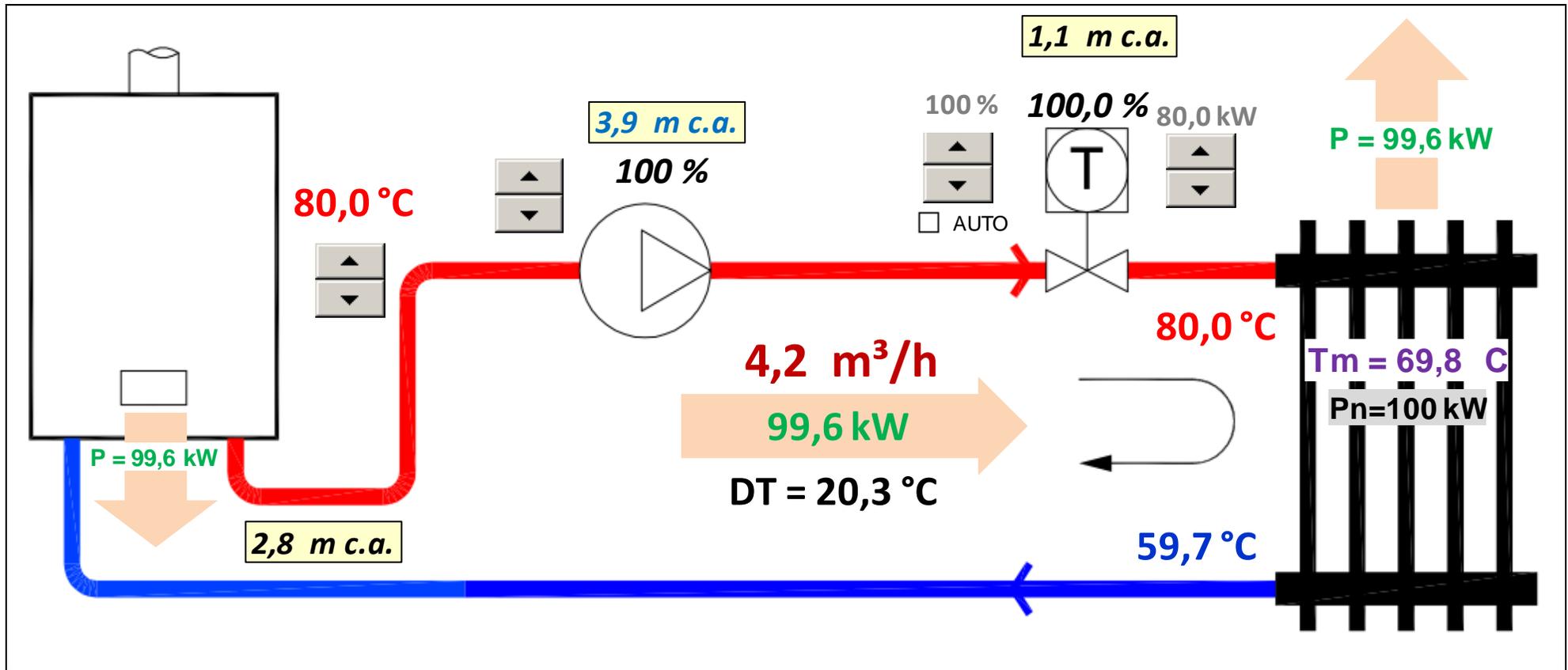
A pressione costante
→ impianti a zone



A pressione proporzionale
→ valvole termostatiche

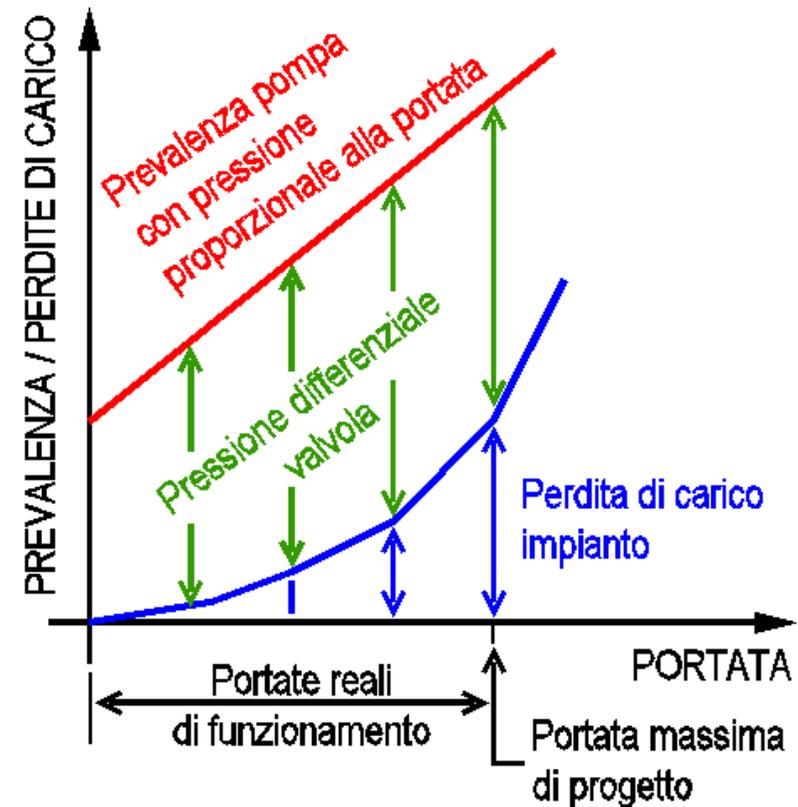
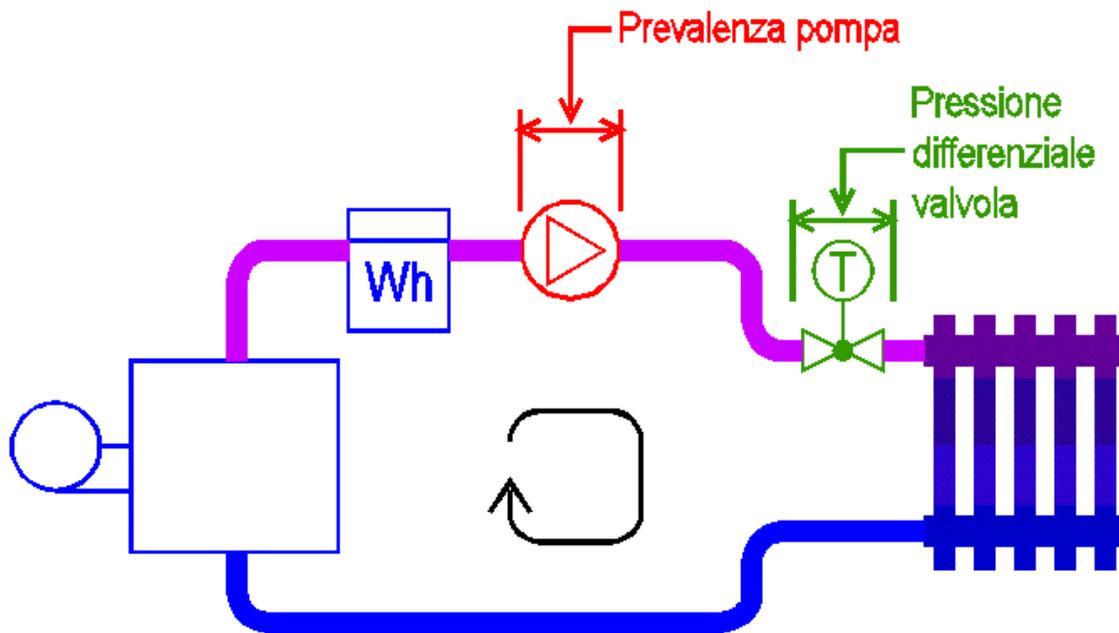


Cosa succede quando le valvole termostatiche lavorano...



Esempio XLS → circuito semplice

Scelta della pompa: pressione proporzionale



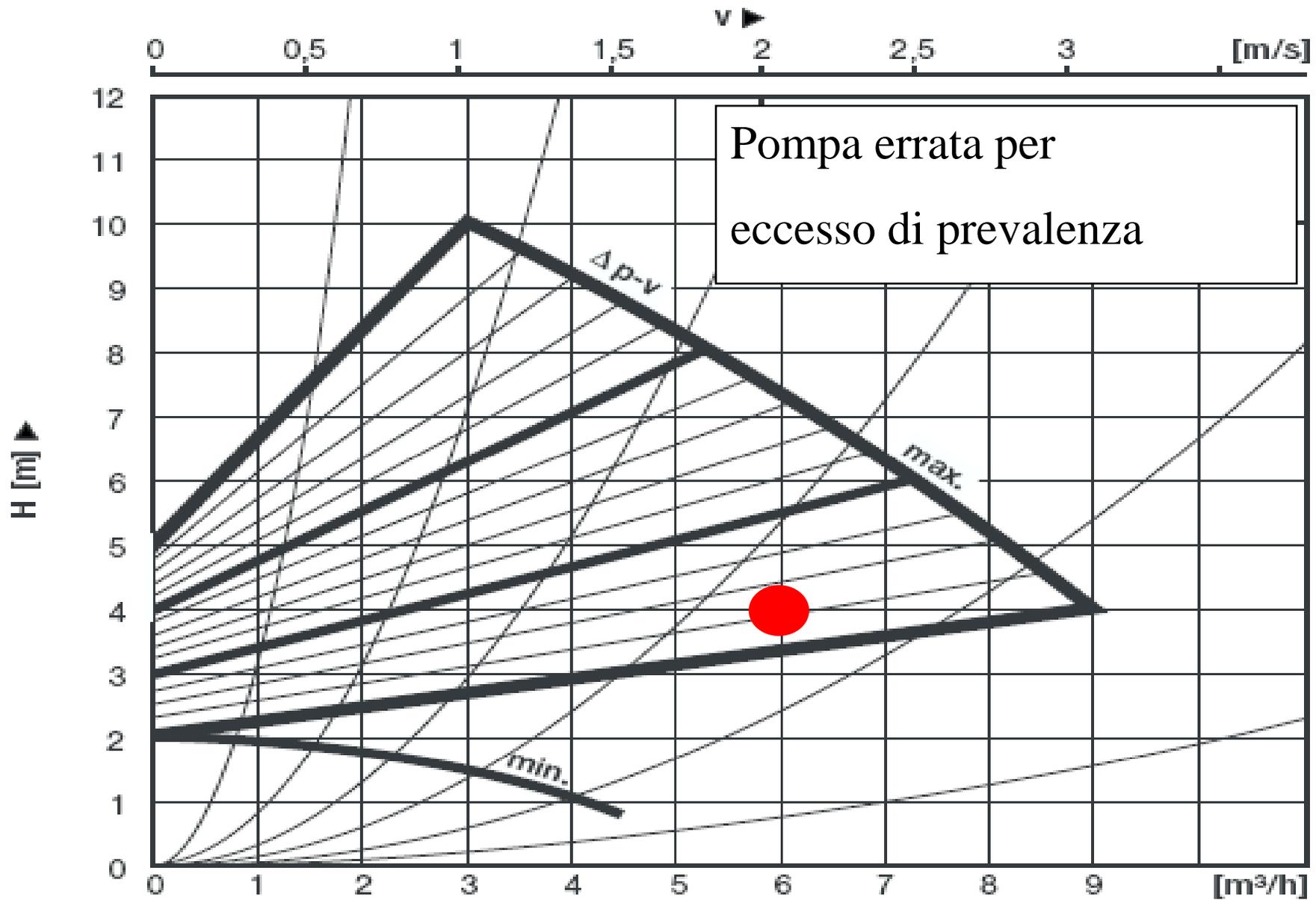
SCEGLIENDO LA REGOLAZIONE A PRESSIONE PROPORZIONALE (ALLA PORTATA), LA PRESSIONE DIFFERENZIALE A CAVALLO DELLE VALVOLE TERMOSTATICHE E' APPROSSIMATIVAMENTE COSTANTE.

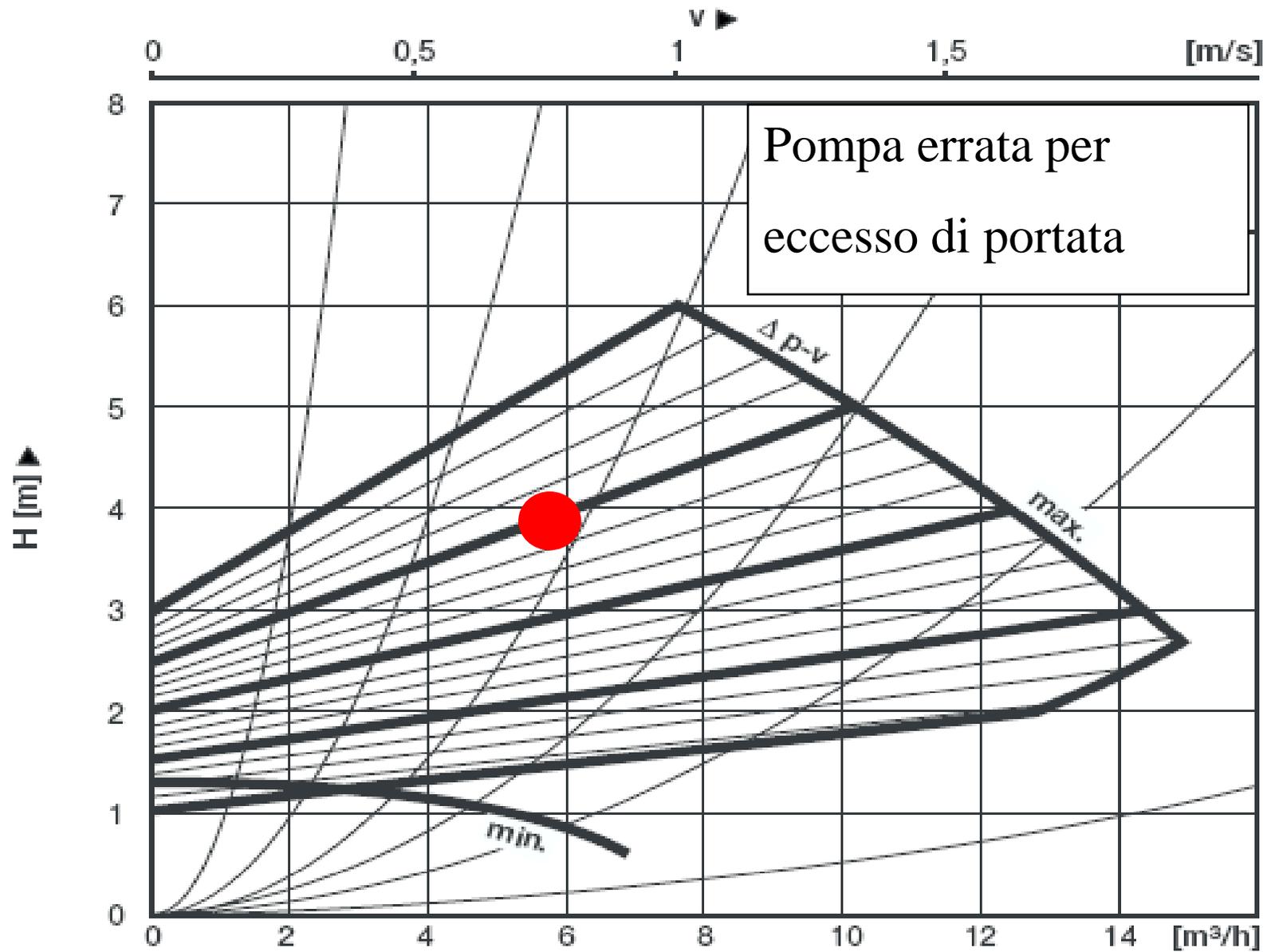
Dimensionamento della pompa

- Portata: potenze corpi scaldanti, $\Delta T 20\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 100\text{ kW} \rightarrow 4,3\text{ m}^3/\text{h}$
accettabile $\text{m}^3/\text{h} = \text{kW}/20$
- **Prevalenza** (valori indicativi):
 - **0,5 ... 1,0 m c.a per le valvole**
 - **0,2 ... 0,5 m c.a. per le tubazioni**
 - **Perdita di carico in caldaia + accessori**

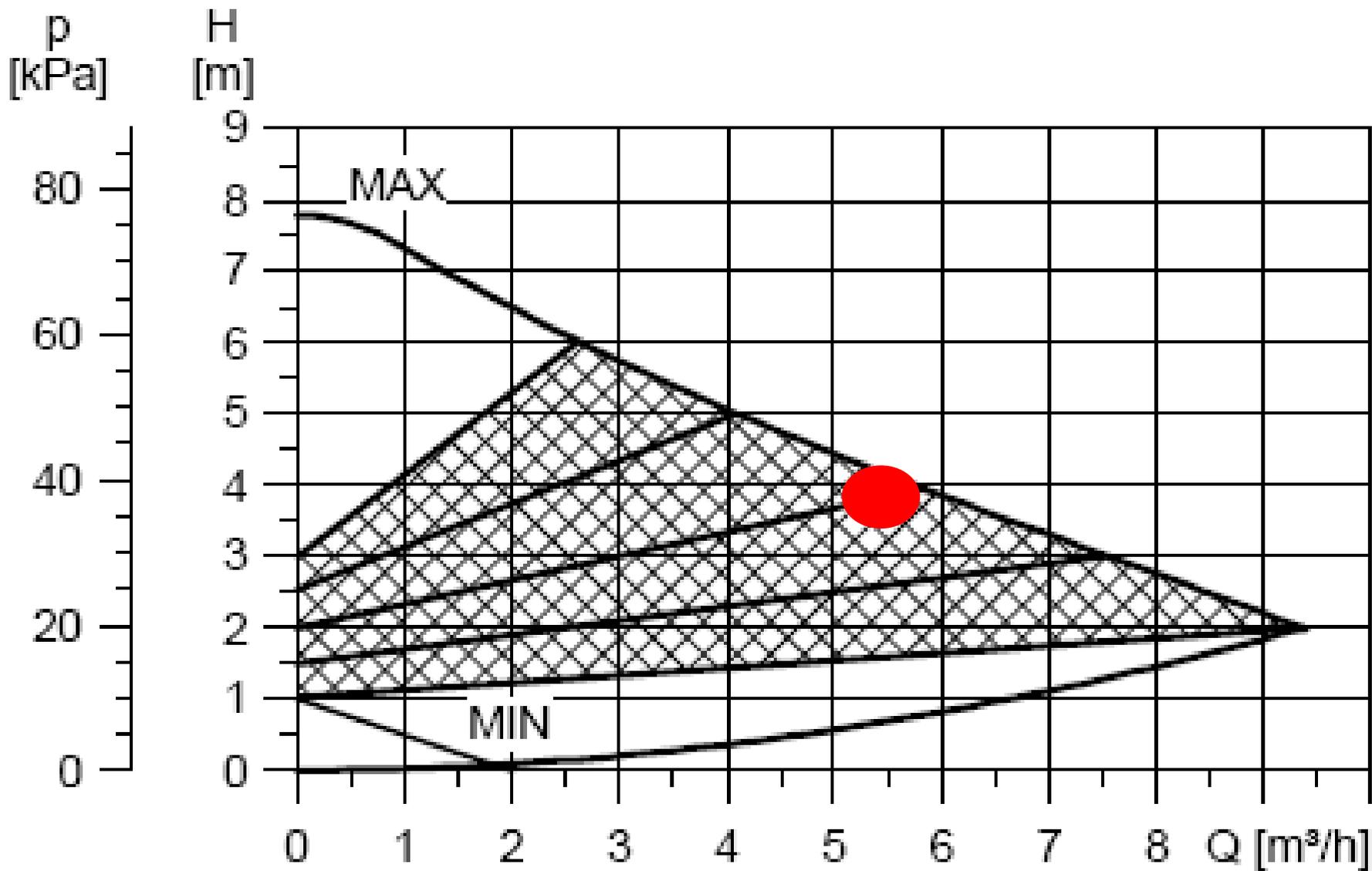
... totale 2 ... 6,5 m c.a.
(mai oltre 5 m perché altrimenti si superano i 2,5 m c.a. a portata nulla)
- Impostazione a pressione proporzionale
- Indicare l'estremo della curva che passa per il punto di lavoro
- Verificare che la pompa sia adatta per portata nulla

Tratto di impianto	Perdite di carico m c.a.
Valvole termostatiche	0,5...1,0
Montanti e distribuzione	0,5...1,0
Contatore di calore	1,0...2,0
Generatore Scambiatore Compensatore	0...2,5
TOTALE	2,0...6,5





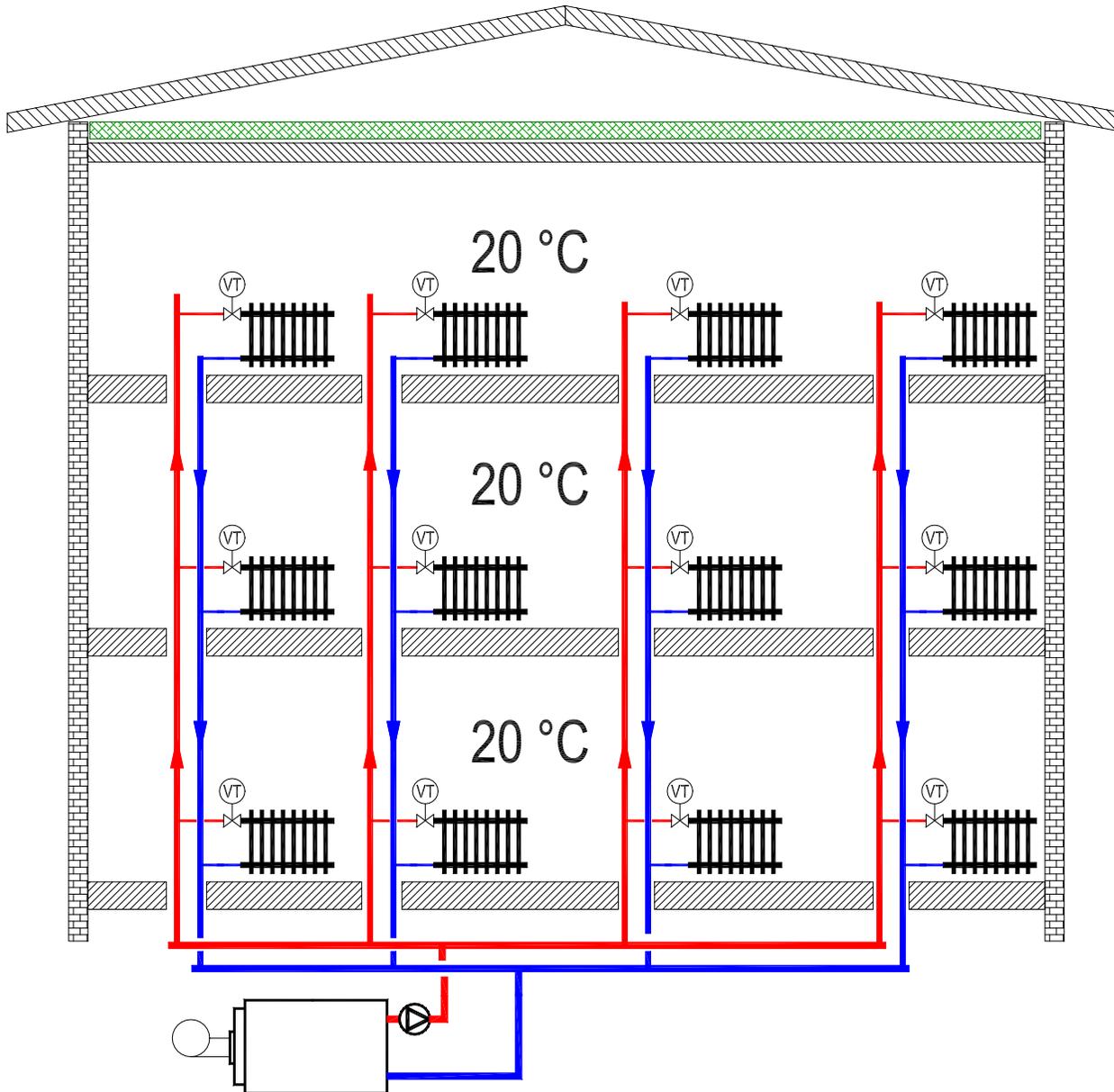
POMPA CORRETTAMENTE DIMENSIONATA



Procedura di dimensionamento valvole termostatiche

- **Potenze corpi scaldanti** (progetto o UNI 10200) + ΔT di progetto
→ portata di progetto, portata totale Q
- Scelta della **banda proporzionale** e della p.d.c. della valvola termostatica
→ verifica del punto di lavoro e dimensionamento della valvola
- Calcolo della preregolazione
- Calcolo delle perdite di carico ΔP della rete con la nuova portata
- Scelta della pompa
→ dimensionamento della pompa in base a Q e ΔP
→ verifica del punto di lavoro a portata nulla (max 2...3 m c.a.)
→ determinazione della parametrizzazione della pompa
- Ricordarsi che
 - L'installazione di valvole termostatiche richiede una pompa elettronica **correttamente parametrizzata**.
 - **Corpi scaldanti con e senza valvole termostatiche: da EVITARE**
Convivono con difficoltà (corto circuito idraulico)
Usare valvole termostatiche senza testa e con preregolazione

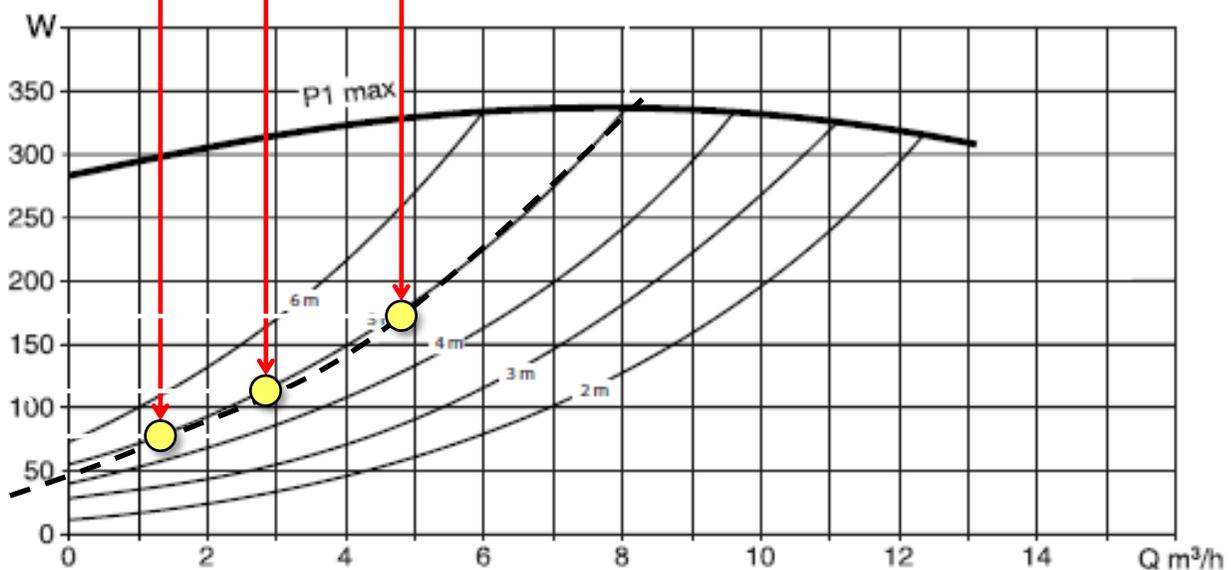
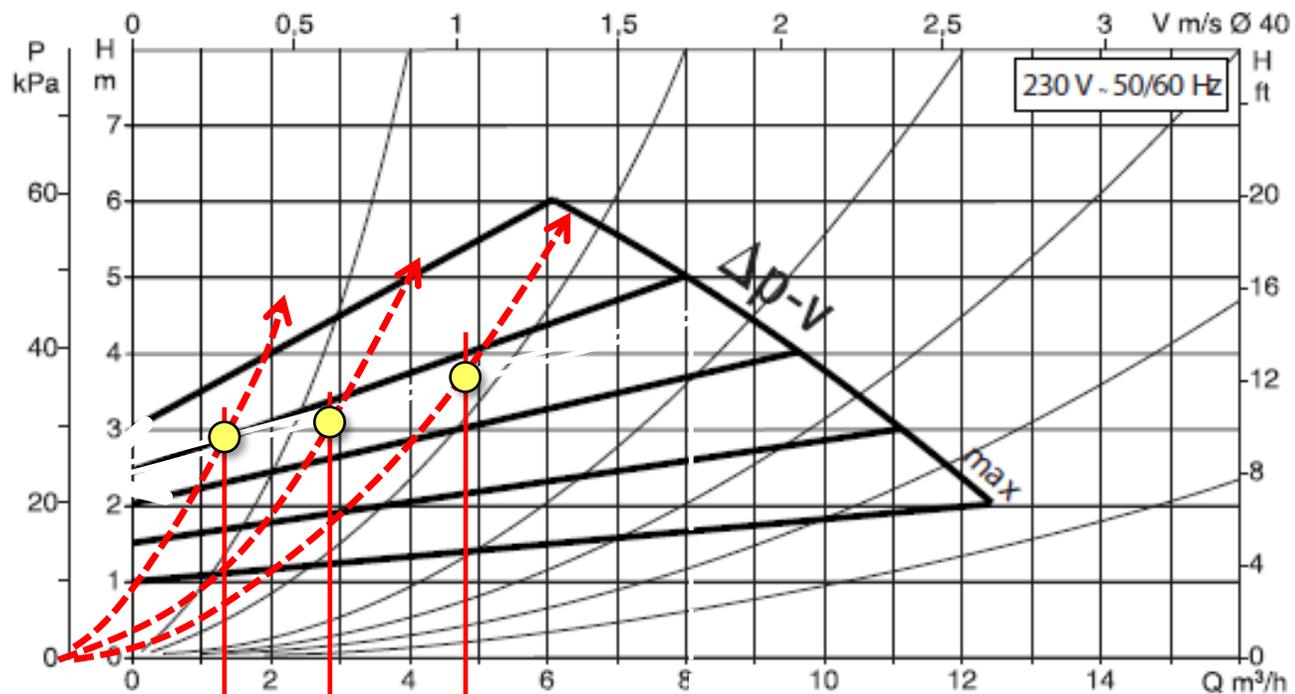
Nome	LOCALE	RADIATORE						Valvole: Danfoss RA-N				Potenza W	Portata kg/h
		Tipo	largh	Alt	Prof	Elem	L/M/V	Diam.	Tipo	Sens.	Preset		
			mm	mm	mm	n		DN					
												71.245	5.009
ROSSI	CUCINA	AL_M	630	600	70	7	Vicino	3/8	A		4	948	85,0
ROSSI	SOGGIORNO	AL_M	810	600	100	9	Vicino	3/8	A		5	1599	111,9
ROSSI	SOGGIORNO	AL_M	450	900	70	5	Vicino	3/8	A		4	1017	85,0
ROSSI	CAMERETTA	AL_M	450	600	70	5	Vicino	3/8	A		3	684	53,7
ROSSI	CAMERA	AL_M	900	600	100	10	Vicino	3/8	A		5	1773	111,9
ROSSI	BAGNO	AL_M	360	600	100	4	Vicino	3/8	A		3	732	53,7
BIANCHI	INGRESSO	AL_M	270	700	70	3	Vicino	3/8	A		2	489	35,8
BIANCHI	CUCINA	AL_M	630	600	70	7	Vicino	3/8	A		4	948	85,0
BIANCHI	SOGGIORNO	AL_M	810	900	100	9	Vicino	3/8	A		6	2373	147,7
BIANCHI	SOGGIORNO	AL_M	900	600	100	10	Vicino	3/8	A		5	1773	111,9
BIANCHI	CAMERETTA 1	AL_M	360	900	100	4	Vicino	3/8	A		4	1086	85,0
BIANCHI	CAMERETTA 2	AL_M	540	600	100	6	Vicino	3/8	A		4	1079	85,0
BIANCHI	CAMERA	AL_M	810	600	100	9	Vicino	3/8	A		5	1599	111,9
BIANCHI	BAGNO 1	AL_M	450	600	70	5	Vicino	3/8	A		3	684	53,7



**Potenza totale
130 kW termici**

**Portata 5,7 m³/h
con Δt 20 °C**

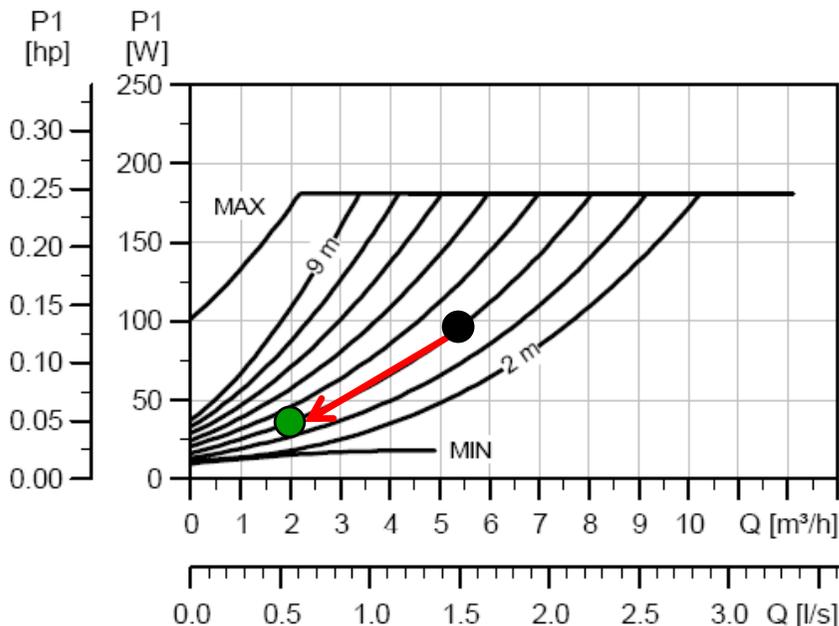
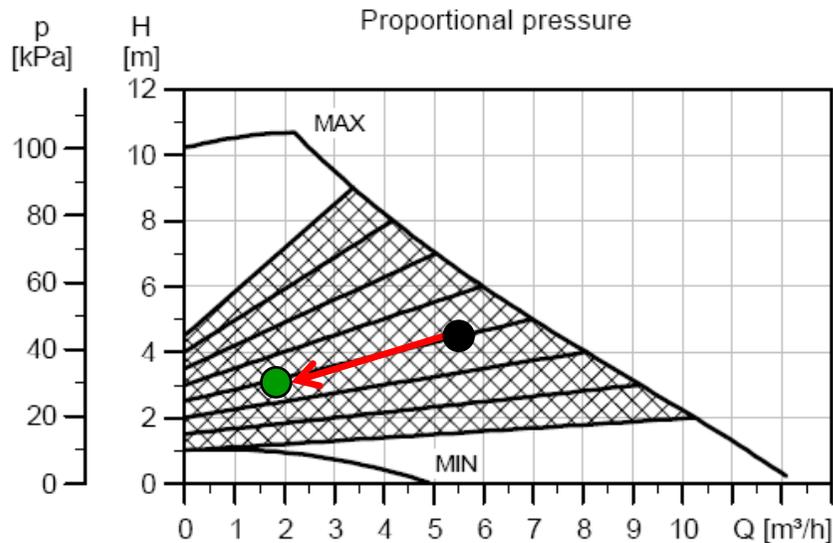
**Perdite di carico:
Radiatori: 0,2 m c.a.
Termostatiche: 1 m c.a.
Tubazioni: 0,4 m c.a.
3vie/caldaia: 2,0 m c.a.
TOTALE 3,6 m c.a.**



Con la pompa a
giri variabili
impostata a
pressione
proporzionale

Si riduce la
potenza assorbita
in con la riduzione
della portata:
≈ 180 → 80 W

La prevalenza non
aumenta
inutilmente



Effetto tipico dell'installazione delle valvole termostatiche (condominio 16 appartamenti, Padova)

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

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

Uso delle valvole termostatiche

Le valvole termostatiche si dovrebbero utilizzare in tutti gli impianti perché

- Si bilancia automaticamente l'impianto
- Gli apporti gratuiti, le perdite recuperabili e **gli effetti degli interventi di isolamento dell'involucro edilizio** si valorizzano solo con una regolazione per singolo ambiente
- **Permettono di utilizzare liberamente radiatori sovradimensionati**
- **Permettono di abbassare la temperatura di ritorno dell'impianto**
- Il costo si ammortizza tipicamente in 3-5 anni

La regolazione per singolo ambiente in TUTTI i nuovi impianti è obbligatoria sin dal DPR 412/93 del 1993

**Richiedono attenzione nel loro utilizzo
e nel dimensionamento della pompa di circolazione**

Note sull'uso delle valvole termostatiche

Dispositivo efficace ma che richiede una riprogettazione dell'impianto e del suo utilizzo

Alcune **semplici** regole da rispettare per evitare problemi

- **Installare su tutti i corpi scaldanti**
- **Cambiare la pompa e parametrizzarla correttamente**
- **Preregolazione** necessaria negli impianti centralizzati che funzionano ad intermittenza
- **Sonde a distanza / comando a distanza** in caso di mensole e nicchie
- **Compatibile con cronotermostato**
(tarato a 25 °C di giorno, temperatura desiderata in attenuazione)

- INFORMAZIONE ALL'UTENTE

- CONTABILIZZAZIONE PER MOTIVARE L'UTENTE

... e collaborazione amministratore/progettista/installatore

Messa a punto del sistema con valvole termostatiche

- Finora sono stati espressi criteri di dimensionamento = scelta dei componenti.
 - **L'impianto deve essere messo a punto nel primo periodo di utilizzo: curva climatica +5...8 °C rispetto a prima**
 - **Fa freddo: su cosa occorre agire?**
 - **Radiatore caldo anche in basso:**
circolazione elevata di acqua → alzare temperatura
 - **Radiatore freddo in basso:**
bassa circolazione di acqua → alzare la preregolazione e la temperatura
- Agire sulla pompa non ha quasi nessun effetto

Possibili problemi?

- **Sifoni**: non si possono riempire sfruttando la velocità dell'acqua → sfiati
- **Sporcamento valvole** → lavaggio impianto (a caldo e senza acidi) e poi evitare trascinarsi con salti termici elevati e portate molto basse
- **Bloccaggio valvole in estate**
→ scegliere prodotto di buona qualità

Le solite osservazioni...

- Il radiatore non funziona: è freddo sotto...
- Il radiatore è freddo sotto: è pieno d'aria (!!)
- Prima tutti i radiatori erano caldi, adesso mi tocca regolare le valvole altrimenti quello dell'atrio rimane freddo...

La termostatica taglia gli sprechi

E' un "termostato":

trovata la posizione giusta non va più toccato

Istruzioni all'utente

- **E' normale** che non tutti i radiatori siano caldi
 - si scalda solo dove serve: risparmio
 - l'impianto deve scaldare la casa non i radiatori
- **E' normale** che il radiatore sia freddo in basso
 - L'acqua deve cedere il calore all'ambiente
- **Trovare la posizione giusta e non toccare più**
 - La valvola è un regolatore di temperatura ambiente
- **Abbassare solo in caso di assenza prolungata**

Termostatiche e contabilizzazione

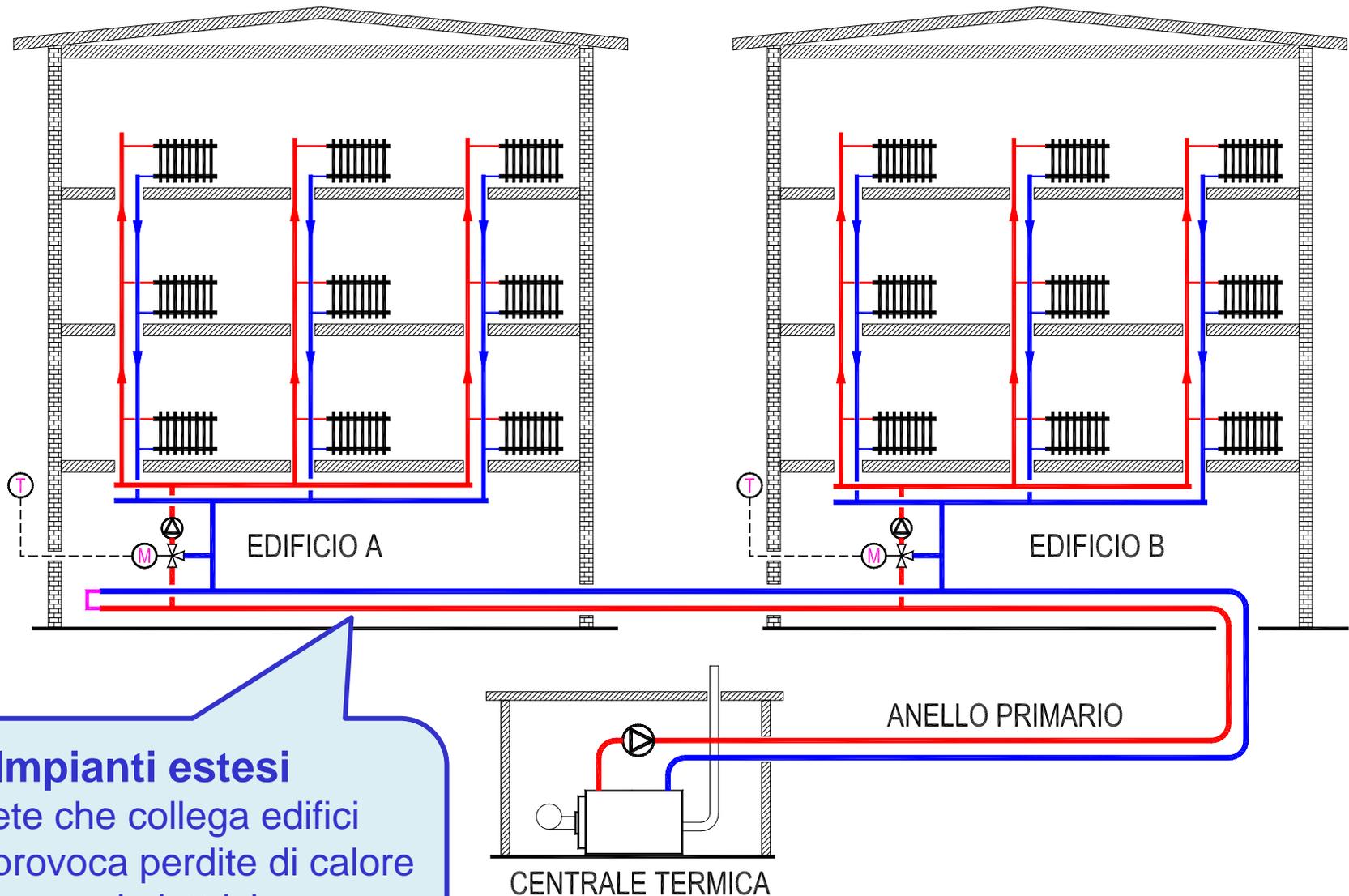
Impianto autonomo: scelgo quando consumare e pago in base al consumo

- **Contabilizzazione senza regolazione:**
inutile perché non posso decidere il consumo
- **Regolazione senza contabilizzazione:**
poco utile perché non sono motivato ad impiegarla

→ **termostatiche + contabilizzazione**

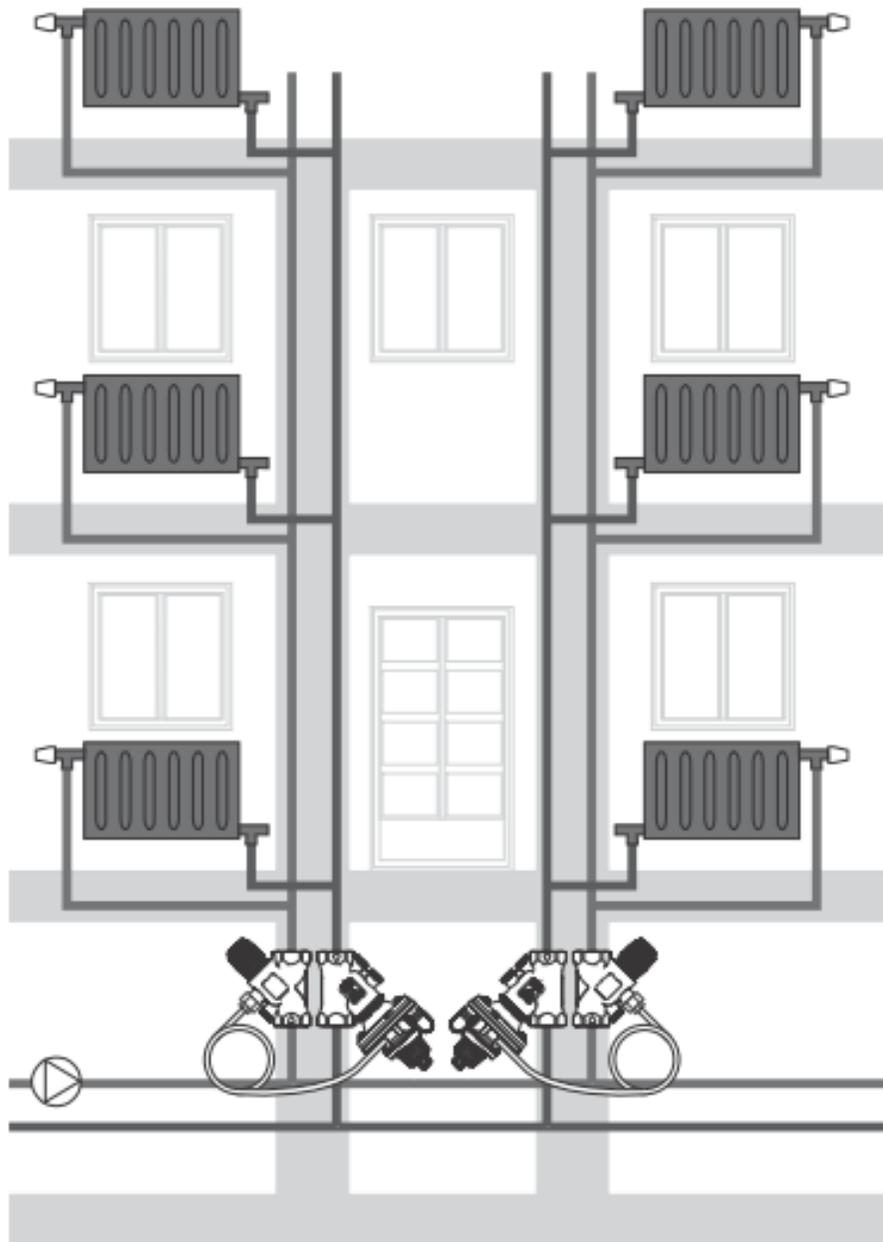
Chi cerca guai li trova pure





Impianti estesi

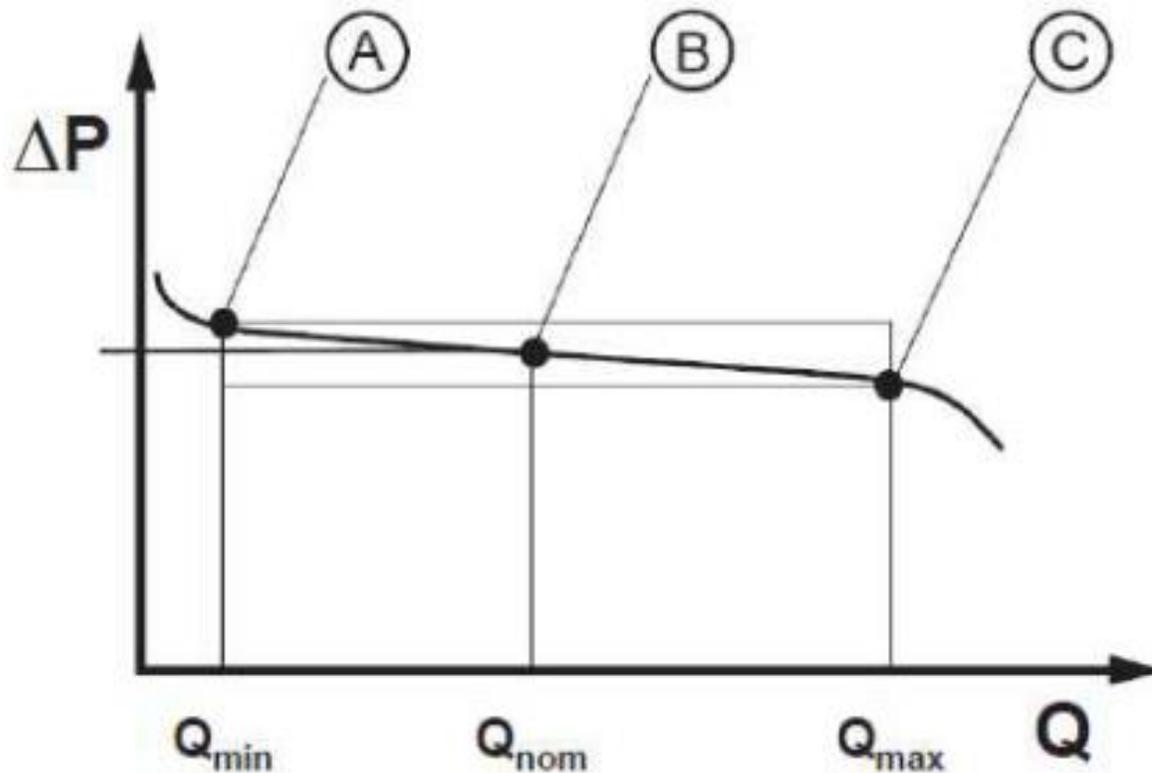
La rete che collega edifici diversi provoca perdite di calore e consumi elettrici non recuperati.



La portata è decisa dalle valvole termostatiche

La pressione differenziale alla base delle colonne è decisa dalle valvole di regolazione

La pompa deve erogare una pressione costante sufficiente ad assorbire le perdite di carico dell'anello primario (pompa a pressione costante o proporzionale)

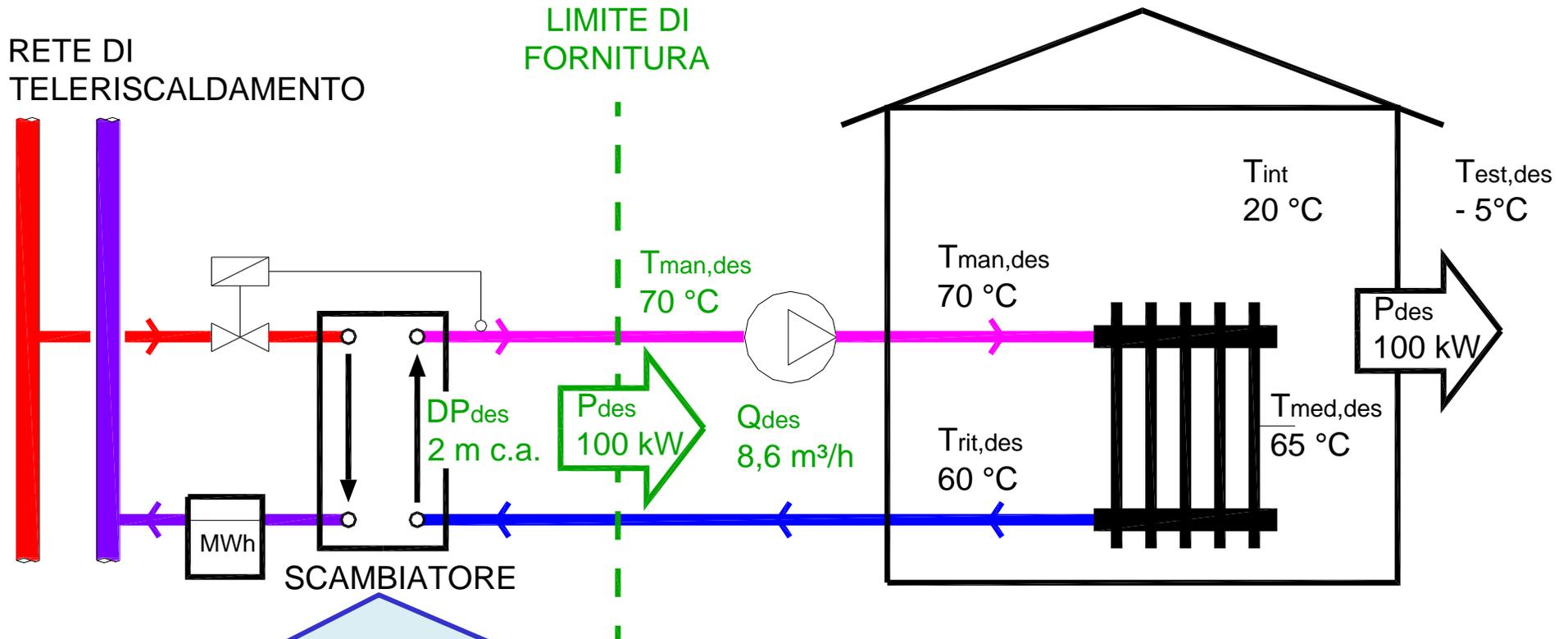


Le curve rappresentano la pressione differenziale effettiva al variare della portata.

Corrisponde al valore impostato solo a metà della portata

Aumentando la pressione a monte, diminuisce la pendenza delle curve

A sinistra (basse portate) la pressione differenziale sale (la valvola non chiude del tutto)

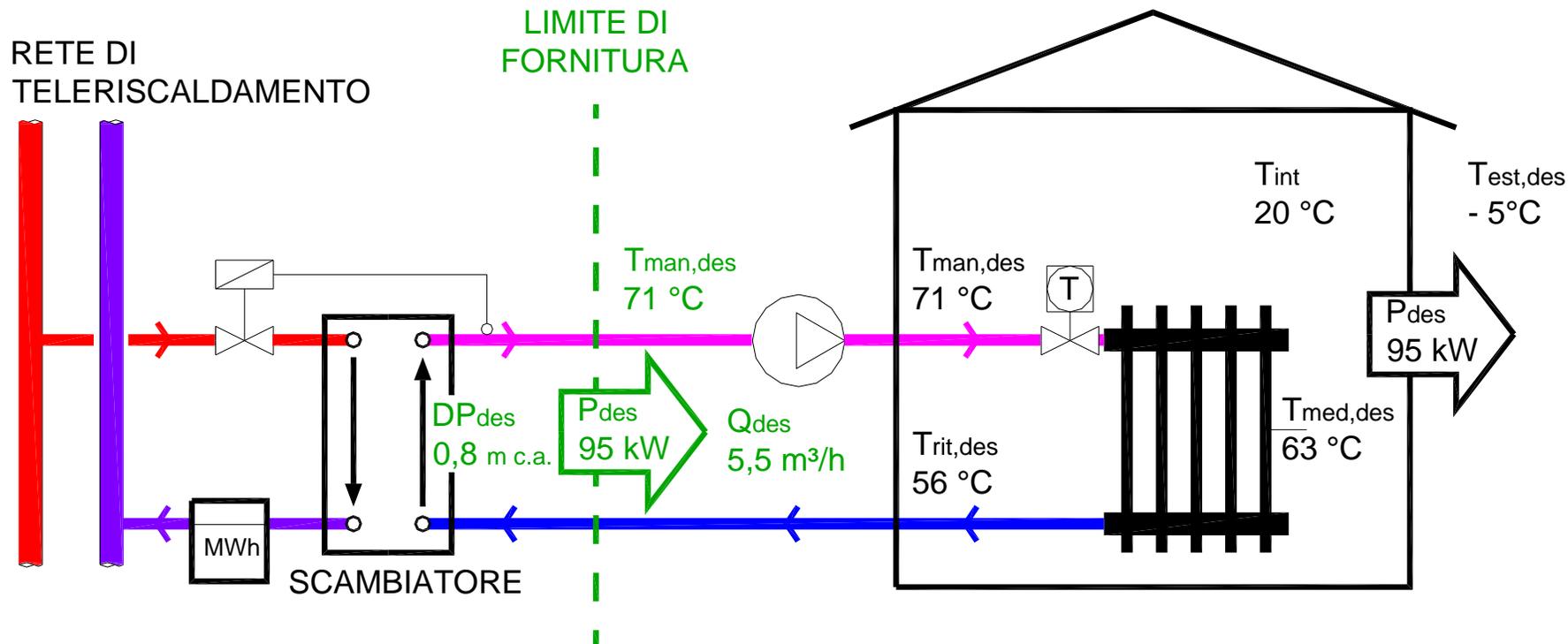


Scambiatore da teleriscaldamento

Lo scambiatore sostituisce in tutto e per tutto la caldaia.

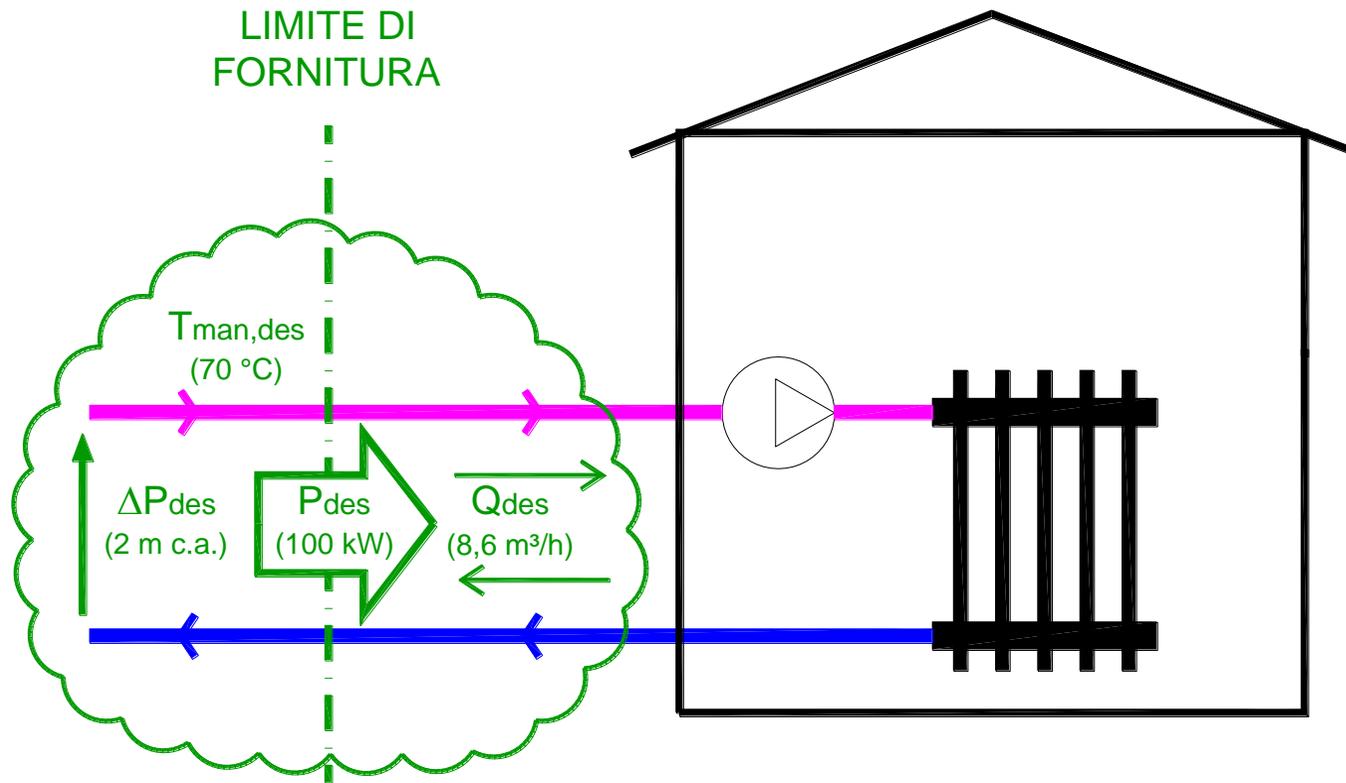
Chi progetta lo scambiatore deve dimensionarlo, cioè sceglierlo in funzione delle caratteristiche del carico da alimentare.

E' facile dimensionare una caldaia, lo è molto meno dimensionare uno scambiatore



Scambiatore da teleriscaldamento e termostatiche

Chi sceglie lo scambiatore per alimentare un impianto con valvole termostatiche deve tener conto delle esigenze specifiche del sistema servito. Deve anche tenere conto del fatto che le prestazioni dello scambiatore dipendono dalla potenza disponibile nella rete a monte.



Punto di consegna dell'energia

La fornitura di energia non è solo una questione di potenza contrattuale (e di €/kWh). Nelle condizioni di fornitura devono essere specificate anche la temperatura e la portata.

Allo stesso modo, la fornitura di gas o di energia elettrica comprende nelle condizioni contrattuali anche la pressione e rispettivamente la tensione di fornitura.

Teleriscaldamento e termostatiche

- Il punto critico sta nel dimensionamento dello scambiatore
 - L'uso delle termostatiche richiede circa 5°C in più in mandata: può mettere in crisi lo scambiatore
 - L'uso delle termostatiche non consente perdite di carico elevate
- Nelle condizioni contrattuali occorre tenere conto non solo della potenza massima ma anche delle «condizioni di fornitura» temperatura di mandata e portata.
- Attenzione al prezzo per kWh.

Perché abbandonare gli impianti centralizzati esistenti?

- Costa molto meno installare un sistema di termoregolazione e contabilizzazione che dover rifare tutti gli impianti interni nelle unità immobiliari
- La contabilizzazione induce l'utente ad utilizzare correttamente la termoregolazione
→ ciò permette recuperi energetici consistenti