



CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

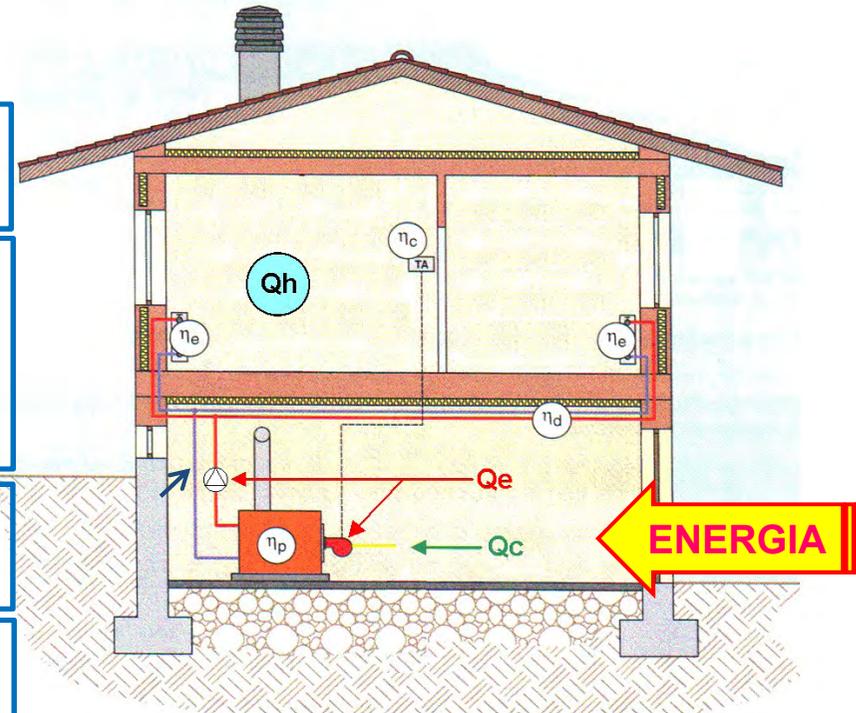
FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI



Ricominciamo a parlare di Termotecnica
Impianti Meccanici
«Sistemi Impiantistici e Regolazione»

I sottosistemi dell'impianto di riscaldamento

- **Generazione:**
Conversione del vettore energetico
- **Accumulo:**
Disaccoppiamento temporale di generazione ed utilizzo del calore (puffer, separatori idraulici)
- **Distribuzione:**
Trasporto del calore nell'edificio
- **Emissione:**
Trasferimento del calore in ambiente
- **Regolazione:**
Decidere quando, dove e quanto calore emettere in ambiente
Non ha nulla a che vedere con la regolazione del generatore





Sistema di generazione

Sistema preposto alla conversione in energia termica di altre forme di energia (chimica del combustibile, elettrica, ecc), nella quota richiesta dal o dai sistemi impiantistici ad esso connessi. Può essere costituito da uno o più generatori termici, anche di diversa tipologia e impiegati vettori energetici diversi, operanti in modo differenziato a seconda delle logiche di gestione adottate.

Caldaie a condensazione

■ Caratteristiche qualificanti

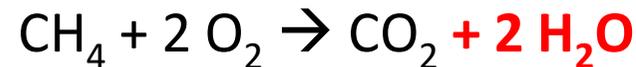
- **DT finale Fumi – Acqua di ritorno impianto ridotto** a tutti i regimi di potenza
- Campo di **modulazione** della potenza
- Stabilità della **regolazione dell'eccesso d'aria**
- **Portata minima d'acqua** di funzionamento espressa come:
 - minima portata richiesta
 - massimo ΔT sopportabile
 - richiesta di installazione di un compensatore idraulico
- Sensibilità alla qualità dell'acqua
- Tipo di circolazione dell'acqua al loro interno
- Livello tecnologico dei sistemi di regolazione

■ Tipologie principali

- Ad elevato contenuto d'acqua
- A basso contenuto d'acqua, fusione di alluminio, corpi di acciaio ed altri
- A basso contenuto d'acqua, tubo alettato

La condensazione

- Nella caldaia, dopo la combustione si deve trasferire il calore all'acqua = **RAFFREDDARE I FUMI**



I fumi contengono vapor acqueo:

- In passato:** non si poteva far condensare l'acqua:
potere calorifico inferiore (34425 kJ/Nm³)
- Oggi:** possiamo far condensare i fumi:
potere calorifico superiore (38162 kJ/Nm³)
- La caldaia a condensazione rende di più
 - perché i fumi escono a temperatura inferiore:
30-70 ° C al posto di 120-160 ° C delle migliori caldaie tradizionali
= + 3-6% sul rendimento di combustione
 - perché condensa parte dell'acqua contenuta nei fumi: fino a \cong 10%
 - perché le perdite a vuoto sono modeste

10/01/2023

Composizione percentuale dei fumi di combustione del metano

	O₂= 0% f.s. Combustione stechiometrica	O₂= 3% f.s. Combustione ben condotta	O₂= 6% f.s. Combustione accettabile	O₂= 9% f.s. Combustione in forte eccesso d'aria
CO₂ [%]	9.46	8.21	6.93	5.62
H₂O [%]	18.92	16.43	13.87	11.23
O₂ [%]	0.00	2.75	5.58	8.49
N₂ [%]	71.62	72.60	73.62	74.66
Punto di rugiada [° C]	59,2	56,2	52,6	48,1

GENERATORI DI CALORE MURALI a basso contenuto d'acqua

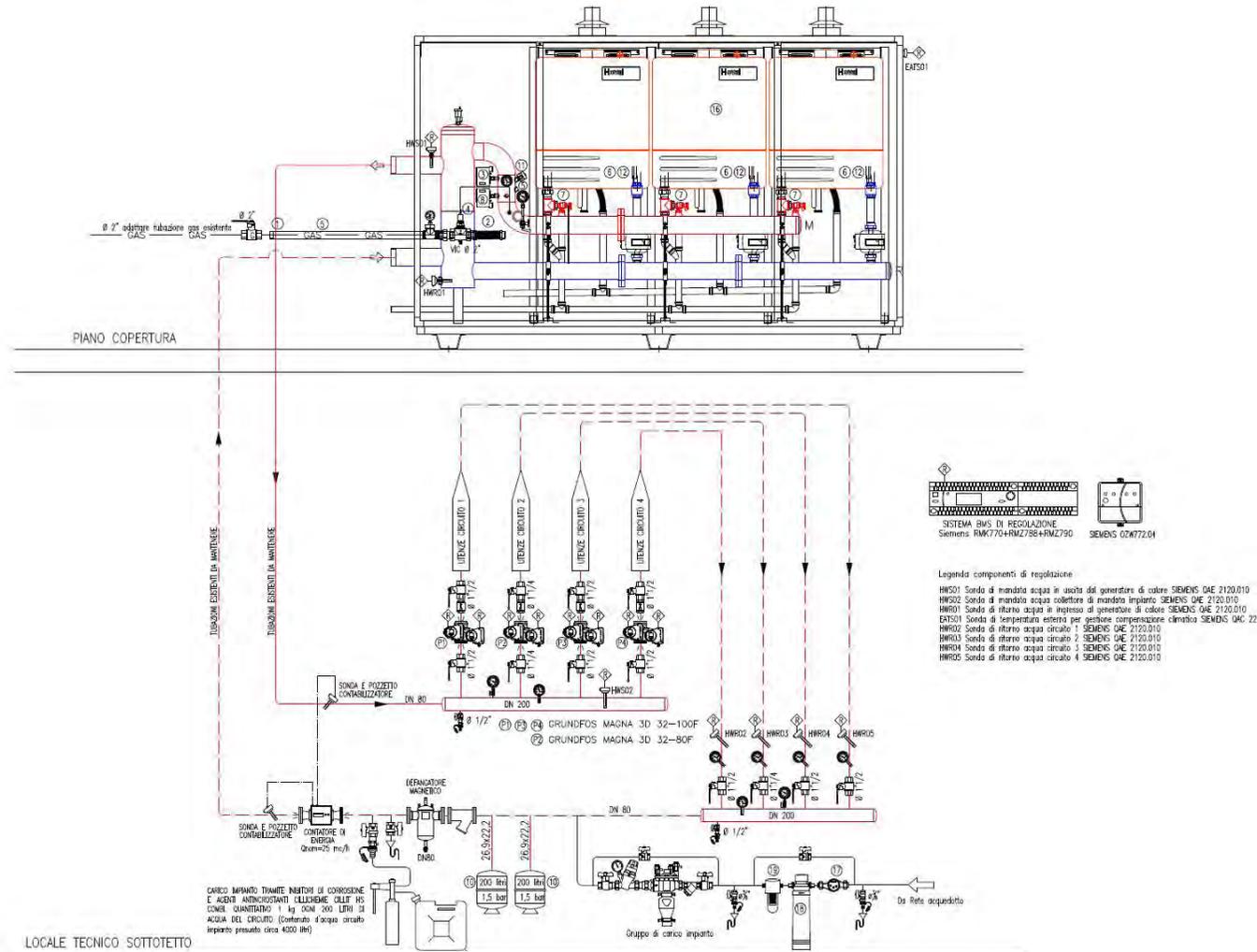
→ Potenze al focolare da 14 kW a 150 kW



- Bassi costi di fornitura (meno di 25 €/kW per alte potenze)
- Semplicità di installazione
- Necessitano sempre di separatore idraulico o scambiatore di calore
- Idonei per installazioni modulari
- Sono sufficienti spazi ridotti per l'installazione
- Ampia scelta di prodotti sul mercato
- Importante la gestione dell'acqua di alimento
- Facile manutenzione

10/01/2023

Esempio di schema di installazione di caldaie murali in configurazione modulare



10/01/2023

Generatori di calore a gas naturale con tecnologia a condensazione

GENERATORI DI CALORE A BASAMENTO a basso contenuto d'acqua

→ Potenze al focolare da 115 kW a 540 kW

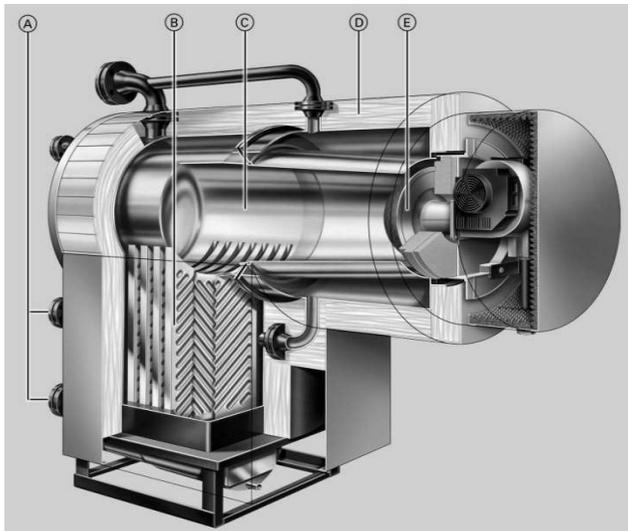


- Elevata potenze termiche per usi condominiali
- Semplicità di installazione per le limitate dimensioni
- Necessitano di separatore idraulico
- Idonei per riqualificazione di impianti esistenti
- Ampia scelta di prodotti sul mercato
- Possibilità di installazione modulare
- Necessità di trattamento dell'acqua di alimento

Generatori di calore a gas naturale con tecnologia a condensazione

GENERATORI DI CALORE A BASAMENTO a alto contenuto d'acqua

→ Potenze al focolare da 24 kW a 920 kW



- Elevate potenze termiche per usi condominiali e applicazioni industriali
- Elevata robustezza e basso carico termico specifico
- Alto contenuto d'acqua, bassi stress termici
- Idonee per riqualificazione di impianti esistenti
- Non necessitano di portate minime d'acqua
- Elevati rendimenti di generazione
- Necessitano di adeguati spazi di installazione
- Necessitano di trattamento dell'acqua di alimento

Generatori di calore ad acqua surriscaldata e vapore

- **Generatori di acqua surriscaldata**
 - Elevati salti termici (di solito 40°C)
 - **Minore energia per pompaggio**
 - Diametri delle condotte inferiori
 - **Semplicità di gestione**

- **Generatori di vapore**
 - Potrebbero necessitare di scambiatori di calore intermedi
 - **Personale esperto per la conduzione**
 - Soggetti a verifiche periodiche
 - Migliore capacità di modulazione della potenza
 - Non necessitano di sistemi di pompaggio

10/01/2023



Generatore di acqua surriscaldata Mingazzini Pot. Termica al Focolare 2,32 MW, temperatura massima di esercizio 191,5 ° C. Contenuto d'acqua 5500 litri

Impianti termici ad aria

Generatori di aria calda a scambio diretto



Per installazione
interna a totale
ricircolo

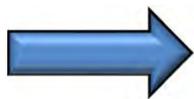
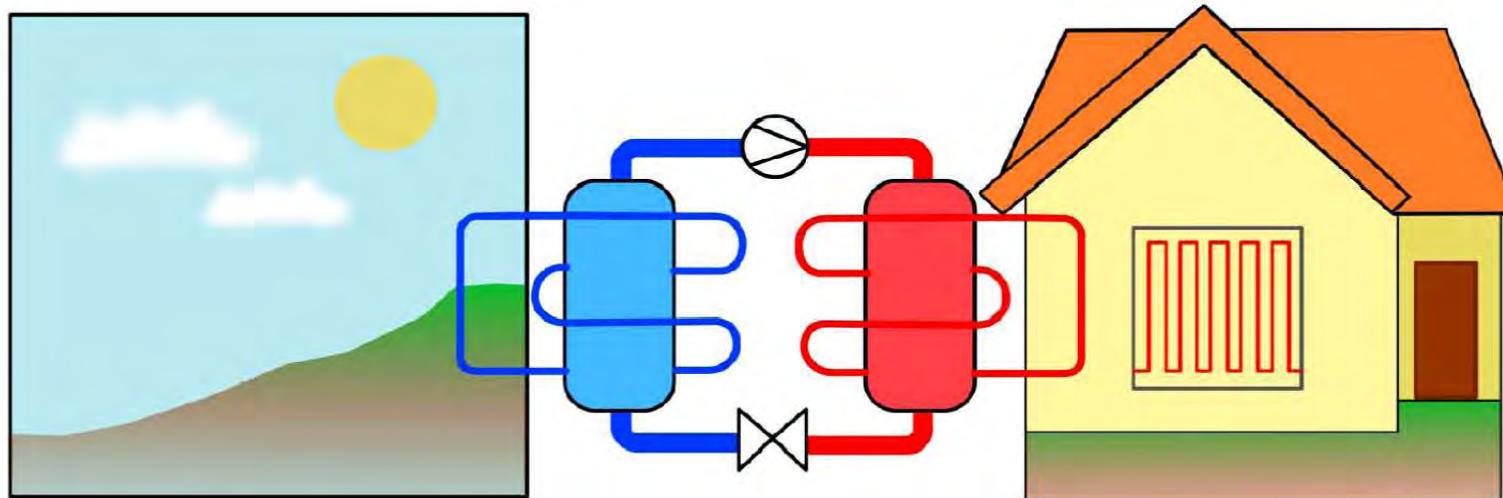


Per installazione
esterna a totale
ricircolo o a tutta aria
esterna

- Bassi costi di installazione
- Elevati costi di gestione in regime continuativo e bassa efficienza energetica, elevati costi di energia elettrica per la movimentazione dell'aria
- Utilizzati in piccole attività produttive o in piccole attività terziarie
- Impossibilità di intervenire sull'efficienza di impianti esistenti
- Il loro dimensionamento è legato al calcolo di impianti aeraulici

Pompa di calore

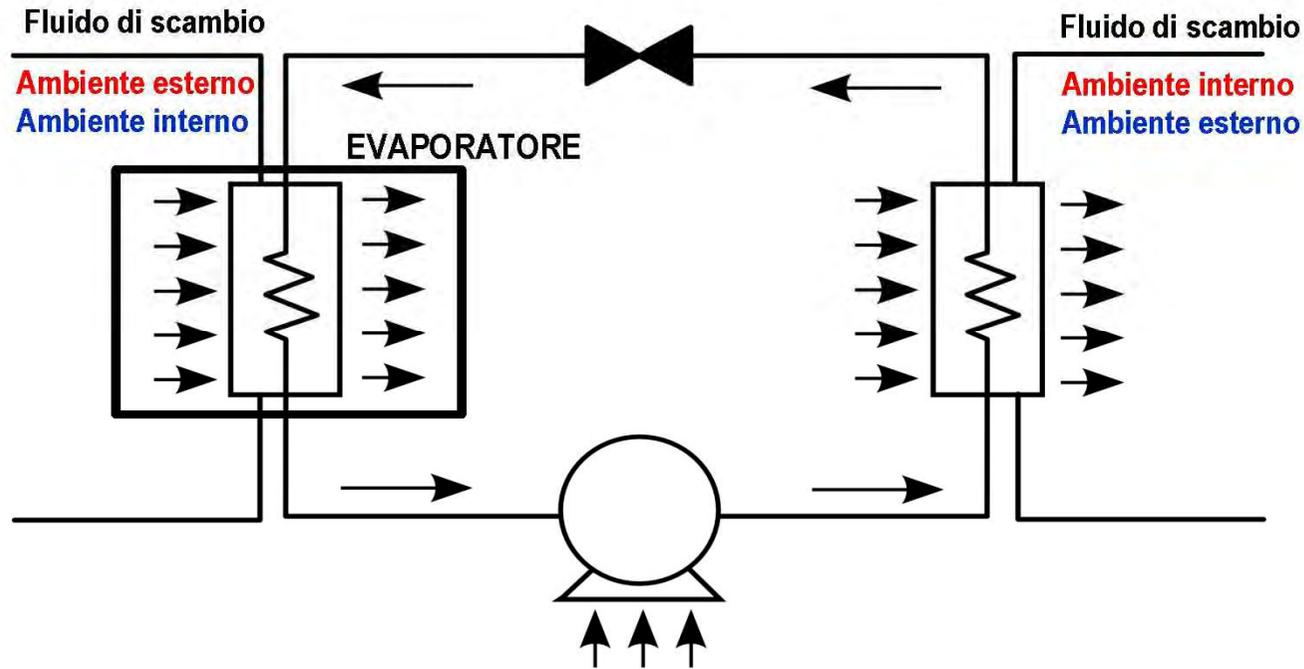
E' una macchina che consente di trasferire del calore da un sistema a bassa temperatura (sorgente fredda) ad un sistema a temperatura maggiore (sorgente calda). Si basa sul principio di applicazione dei cicli termodinamici frigoriferi.



Il circuito frigorifero è l'organo che, attraverso cambiamenti di stato dei fluidi, rende possibile il trasferimento di energia termica

Pompa di calore

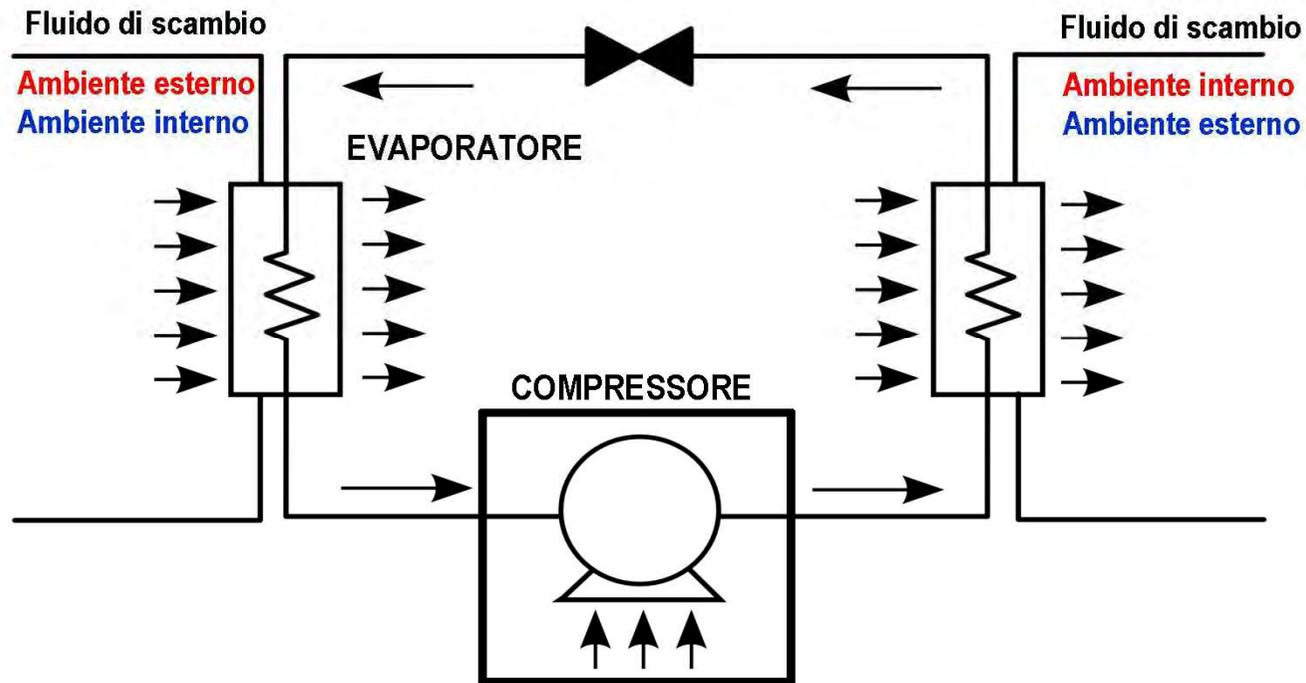
Il Circuito frigorifero si compone di 4 elementi essenziali:



All'EVAPORATORE il fluido refrigerante sottrae calore (al fluido dell'ambiente esterno in modalità pompa di calore, al fluido dell'ambiente da climatizzare in modalità refrigeratore)

Pompa di calore

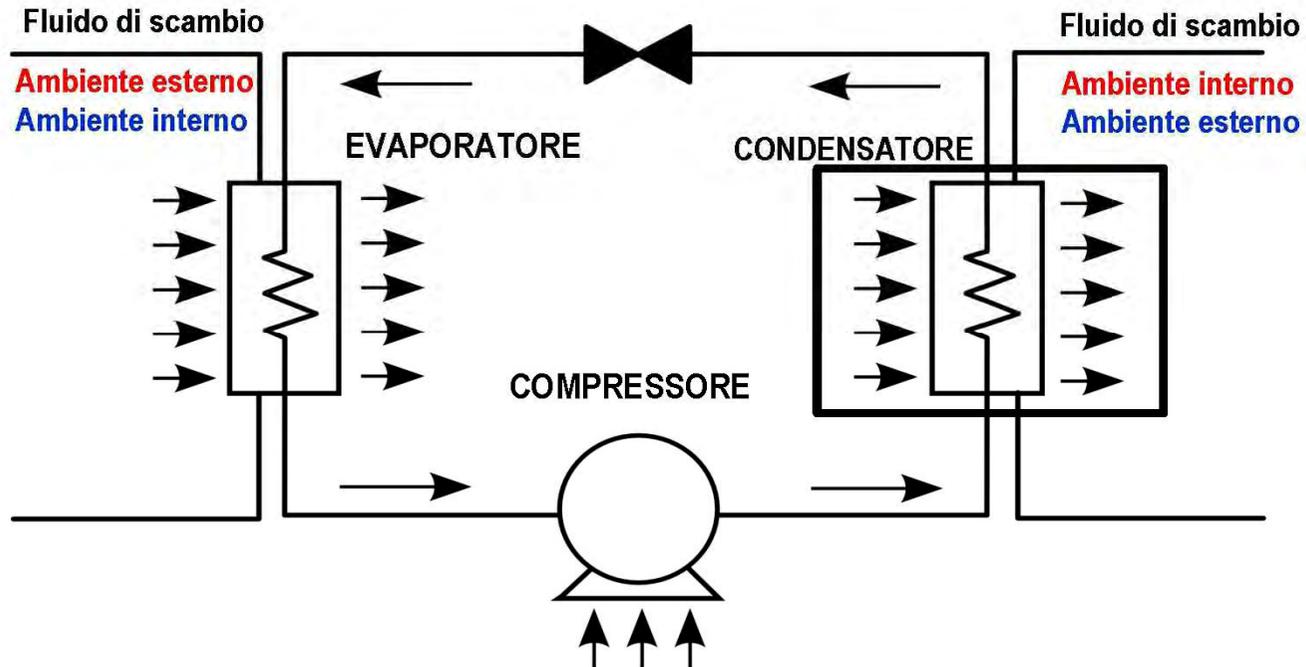
Il Circuito frigorifero si compone di 4 elementi essenziali:



Passando dall'evaporatore al COMPRESSORE (o alla fonte energetica che entra nel sistema) il refrigerante riceve un apporto aggiuntivo di energia sotto forma di pressione e temperatura

Pompa di calore

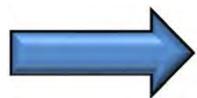
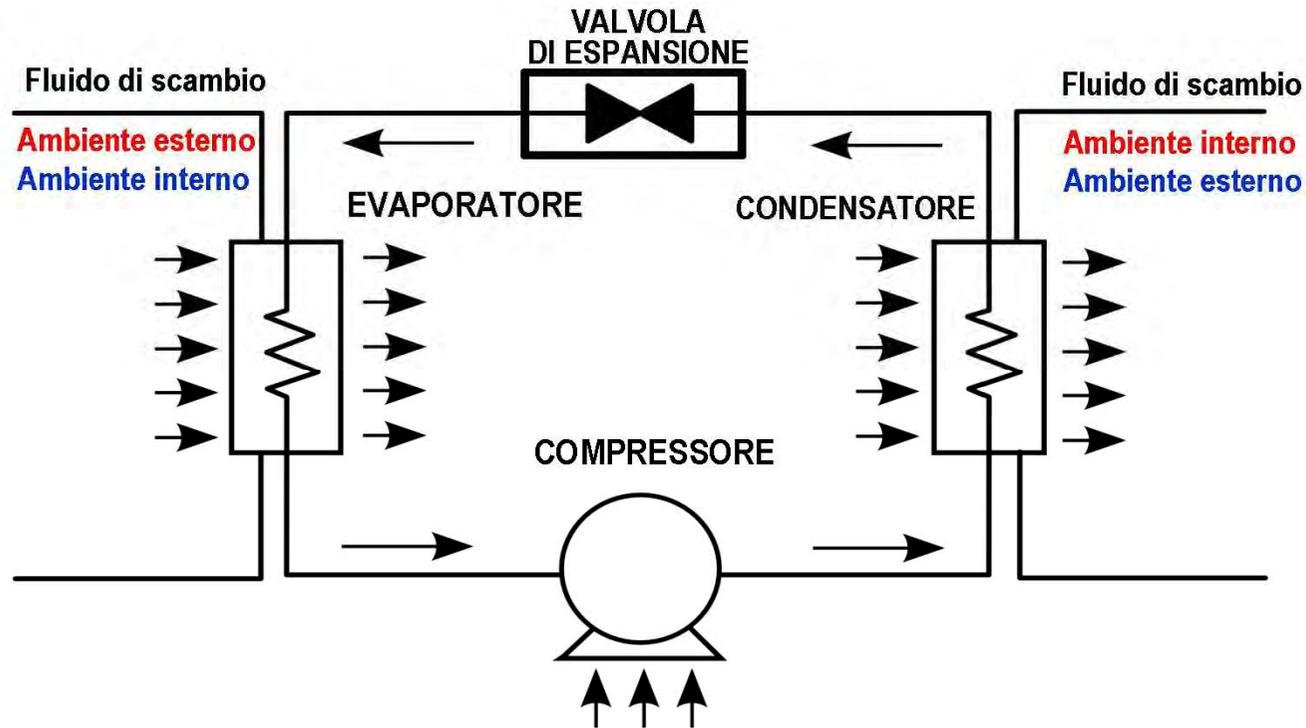
Il Circuito frigorifero si compone di 4 elementi essenziali:



All'arrivo del refrigerante al CONDENSATORE il fluido subisce un cambiamento di stato cedendo il suo calore (al fluido dell'ambiente da climatizzare in modalità PdC, al fluido dell'ambiente esterno in modalità refrigeratore)

Pompa di calore

Il Circuito frigorifero si compone di 4 elementi essenziali:



La presenza di una VALVOLA DI ESPANSIONE E DI REGOLAZIONE dopo il condensatore consente al fluido refrigerante di ritornare all'evaporatore e ricominciare il ciclo frigorifero

Pompa di calore

Il calore sottratto viene ricaricato sul gas per effetto dell'evaporazione e successivamente scaricato per effetto della condensazione.

La quantità di calore trasferita è proporzionale alla massa di gas che viene fatta evaporare compressa e fatta liquefare.

.....In sintesi

All'aumentare del salto di temperatura, il salto di pressione e quindi il lavoro (energia) di compressione aumentano.



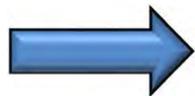
Il COP diminuisce

Al diminuire della temperatura di evaporazione diminuisce la massa di gas trasferito (la densità del gas diminuisce)



Diminuisce la potenza utile

All'aumentare della temperatura di condensazione, la pressione e quindi il lavoro (energia) di compressione aumentano



Aumenta la potenza assorbita dal compressore

Pompa di calore

...attualmente esistono 3 grandi categorie di pompa di calore

ELETTRICHE, funzionanti per mezzo di un compressore alimentato elettricamente



COP/EER (per riscaldamento COP di una pompa di calore è il rapporto fra energia termica fornita alla sorgente calda rapportato all'energia elettrica complessiva spesa)

AD ASSORBIMENTO, funzionanti per mezzo di un bruciatore alimentato a metano o a GPL



GUE/EER (Gas Utilization Efficiency, per riscaldamento il GUE di una pompa di calore ad assorbimento è il rapporto fra energia termica fornita alla sorgente calda rapportato all'energia primaria del combustibile utilizzato calcolato al PCI)

MOTORE ENDOTERMICO, il compressore viene alimentato da un motore a combustione interna a ciclo Otto. Tale sistema è in grado di produrre contemporaneamente 2 forme di energia (meccanica e termica) da una unica sorgente primaria



GUE/EER

Pompa di calore

In funzione dei mezzi di scambio con gli ambienti, esterno ed interno, si ha poi una seconda classificazione delle pompe di calore, distinte in:



ARIA-ACQUA (sorgente fredda aria, sorgente calda acqua)



ARIA-ARIA (sorgente fredda aria, sorgente calda aria)



ACQUA-ACQUA (sorgente fredda acqua, sorgente calda acqua)



TERRA-ACQUA (sorgente fredda sottosuolo, sorgente calda acqua)

.... Occorre pertanto definire il tipo di sorgente fredda/calda da utilizzare

10/01/2023

Pompa di calore

Scelta della sorgente FREDDA



UNI/TS 11300-4

Fonte di energia	Tipologia fonte di energia sfruttata	Modalità di estrazione
Acqua di falda, di mare, di lago o di fiume	Rinnovabile "idrotermica"	Raffreddamento acque superficiali
Aria esterna	Rinnovabile "aerothermica"	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria esterna
Aria interna, aria interna (da espulsione)	Non rinnovabile se proveniente da sistemi impieganti energie fossili, ad esclusione dell'aria di espulsione	Raffreddamento e deumidificazione dell'aria interna di espulsione in sistemi di recupero
Terreno climaticamente perturbato	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Terreno non climaticamente perturbato	Rinnovabile "geotermica"	Raffreddamento del sottosuolo
Acqua di risulta e liquami da processi biologici	Non rinnovabile	Raffreddamento acque e/o liquami di processo
Liquami urbani	Assimilabile a rinnovabile	Raffreddamento liquami urbani

.... Deve essere la temperatura più alta possibile

Pompa di calore

Scelta della sorgente CALDA



UNI/TS 11300-4 e UNI/TS 11300-2

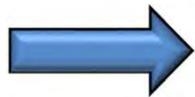
Tipo sorgente	Temp. in gioco	Pro e contro
Aria interna: con sistemi ad espansione diretta oppure impianto canalizzato	Basse	Costo elettrico elevato per la movimentazione dell'aria
Acqua: pannelli radianti	Basse/Molto basse	Temperature molto basse sovradimensionando i pannelli Utilizzabili parzialmente in raffrescamento (carico sensibile)
Acqua: ventilconvettori	Medie/Alte	Utilizzabili anche in raffrescamento e deumidificazione Rumorosi e inducono a consumi elettrici
Acqua: radiatori	Alte	Utilizzabili solamente con forte sovradimensionamento Non utilizzabili in raffrescamento

.... Deve avere la temperatura più **BASSA** possibile, necessario quindi il calcolo della temperatura dell'impianto

Pompa di calore

.....Rinnovabile o non rinnovabile

In base all'art. 2 punto 1 del D.Lgs n. 28 del 3 Marzo 2011



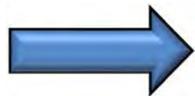
Energia da fonte rinnovabile, energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di scarico, gas residuati dai processi di depurazione e biogas



Energia aerotermica, energia accumulata nell'aria ambiente sotto forma di calore



Energia geotermica, energia immagazzinata sotto forma di calore nella crosta terrestre



Energia idrotermica, energia immagazzinata nelle acque superficiali sotto forma di calore

Pompa di calore – I dati caratteristici

Le TEMPERATURE delle sorgenti calda e fredda



Ridurre la temperatura di mandata dell'impianto



Utilizzare sorgenti esterne a temperatura più alta possibile

I limiti di funzionamento, TEMPERATURE DI CUT-OFF, della PdC



Definiscono il campo di funzionamento

Il FATTORE DI CARICO, delle sorgenti calda e fredda



A carico parziale il COP cambia (di norma peggiora)

La temperatura di BRINAMENTO della Pompa di Calore



Per Pompe di Calore con sorgente fredda aria esterna

MODALITA' DI FUNZIONAMENTO della Pompa di Calore

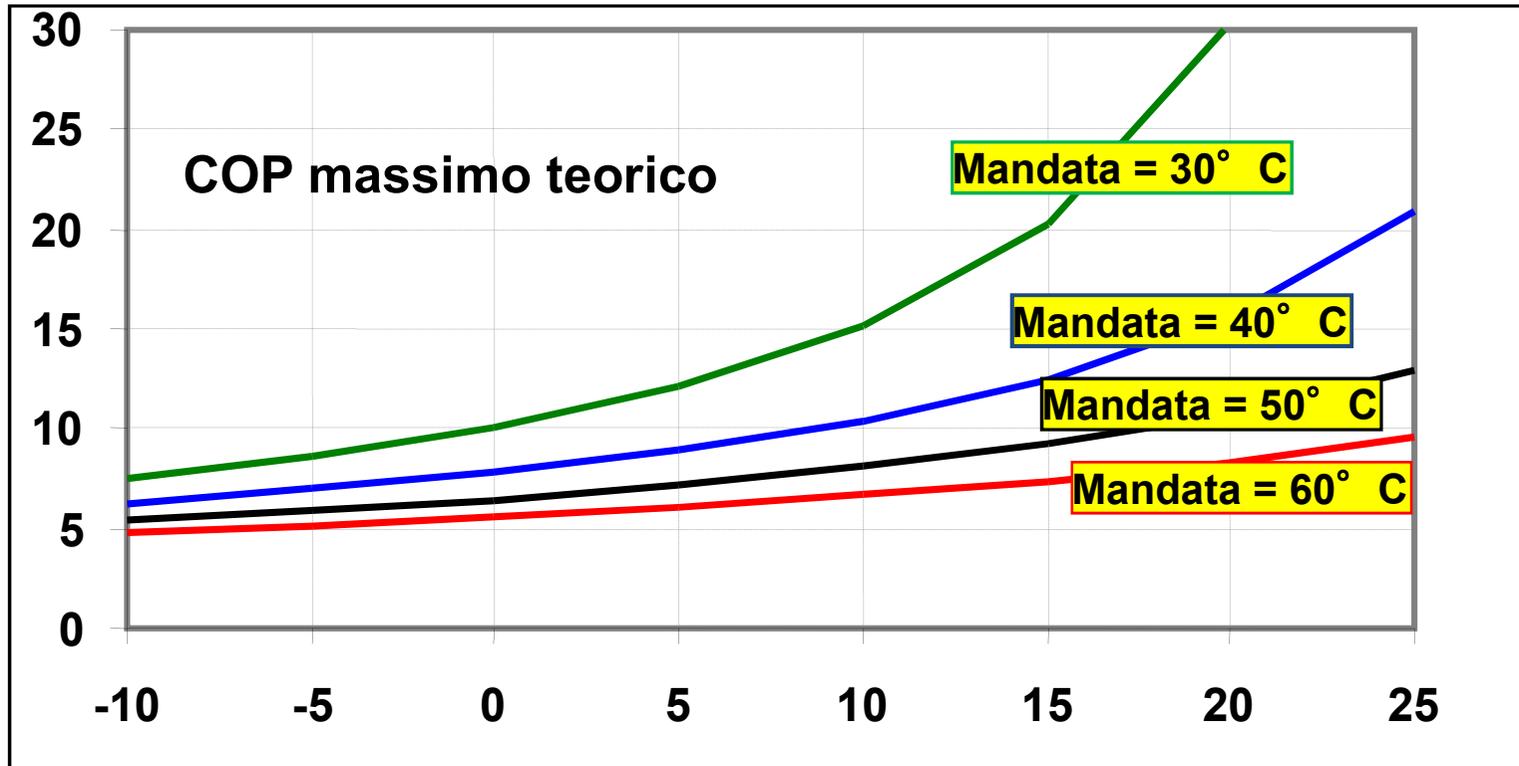


Unità con funzionamento On-Off



Unità a potenza variabile (modulante)

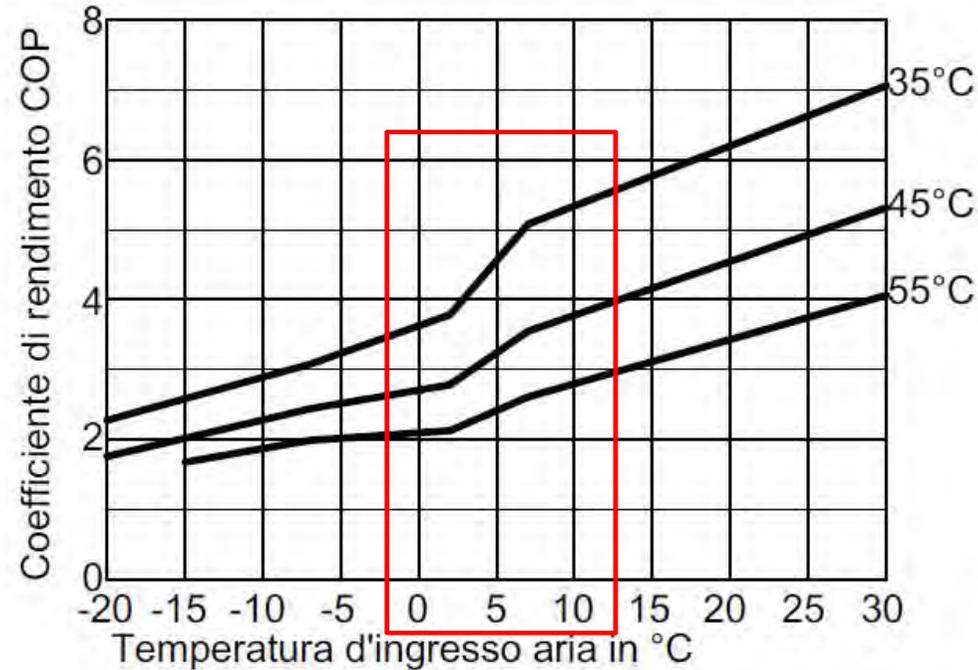
10/01/2023



Temperatura della sorgente fredda ° C

$$\text{COP}_{\text{MAX}} = \frac{T_{\text{abs,HOT}}}{T_{\text{abs,HOT}} - T_{\text{abs,COLD}}} = \frac{T_{\text{°C,HOT}} + 273,15}{\Delta T}$$

Pompa di calore – I dati caratteristici



Curve caratteristiche in funzione della temperatura di mandata:

- (A) Potenzialità con temperature di mandata 35 °C, 45 °C, 55 °C
- (B) Potenza elettrica assorbita riscaldamento a temperature di mandata 35 °C, 45 °C, 55 °C

Avvertenza

- I dati del coefficiente di rendimento COP delle tabelle e dei grafici seguenti sono stati calcolati in base alla norma EN 14511.
- Le indicazioni di rendimento si riferiscono ad apparecchi nuovi con scambiatori di calore a piastre puliti.

Pompa di calore – I dati caratteristici

...E la potenza utile erogabile



Dipende fortemente dalle temperature delle sorgenti fredda e calda



Diminuisce al ridursi della temperatura della sorgente fredda



Le prestazioni sono minime in condizioni di esigente progettuali massime

...Non esiste UNA POTENZA UTILE



Esiste solamente una potenza massima nominale



Generalmente le macchine sono identificate con sigle che riferiscono la potenza utile e il COP con aria esterna a 7 ° C, che non è la condizione di progetto

Esempio: A7/W25, identifica una pompa di calore Aria-Acqua e significa che i dati prestazionali indicati (Pu e COP) si riferiscono ad una temperatura di 7 ° C e ad una temperatura di mandata pari a 35 ° C

10/01/2023

Pompa di calore – I dati caratteristici

...Esempio PdC aria acqua rendimenti macchina

Tw out [°C]	30			35			40			45			50			55		
Tao [°Obs]	Cap [kW]	Input [kW]	COP															
-25	10,50	5,36	1,96	10,50	5,71	1,84	10,50	6,10	1,72	10,50	6,56	1,60						
-20	13,25	5,34	2,48	13,25	5,71	2,32	13,25	6,16	2,15	13,25	6,69	1,98	12,59	6,92	1,82			
-7	16,00	4,62	3,46	16,00	4,89	3,27	16,00	5,11	3,13	16,00	5,37	2,98	16,00	5,93	2,70	16,00	6,64	2,41
-4	16,00	4,27	3,75	16,00	4,47	3,58	16,00	4,71	3,40	16,00	4,97	3,22	16,00	5,52	2,90	16,00	6,20	2,58
-2	16,00	3,85	4,16	16,00	4,23	3,78	16,00	4,47	3,58	16,00	4,73	3,38	16,00	5,25	3,05	16,00	5,88	2,72
2	16,00	3,50	4,57	16,00	3,82	4,19	16,00	4,05	3,95	16,00	4,31	3,71	16,00	4,78	3,35	16,00	5,37	2,98
7	16,00	3,15	5,08	16,00	3,40	4,70	16,00	3,63	4,41	16,00	3,87	4,13	16,00	4,30	3,72	16,00	4,83	3,31
10	16,00	2,82	5,67	16,00	3,05	5,24	16,00	3,33	4,80	16,00	3,66	4,37	16,00	4,06	3,94	16,00	4,56	3,51
15	16,00	2,58	6,20	16,00	2,79	5,73	16,00	3,04	5,26	16,00	3,34	4,79	16,00	3,70	4,32	16,00	4,17	3,84

BASSA TEMPERATURA: 35°C

Temperatura aria esterna [°C]	CARICO PARZIALE (W35)		
	Fattore di carico CR	Potenza termica erogata [kW]	COP
-7	88%	10,90	3,09
2	54%	6,60	4,33
7	35%	5,00	5,90
12	15%	5,30	8,15

MEDIA TEMPERATURA: 55°C

Temperatura aria esterna [°C]	CARICO PARZIALE (W55)		
	Fattore di carico CR	Potenza termica erogata [kW]	COP
-7	88%	10,70	2,13
2	54%	6,50	3,34
7	35%	5,20	4,65
12	15%	4,60	6,58

Confronto tra sistemi di generazione



Caldaia a condensazione

Basse portate correlate ad elevati valori di salto termico tra mandata e ritorno, generalmente 20°C (portata e salto termico sono tra di loro inversamente proporzionali)

Livello termico in mandata ai massimi carichi superiore a 60°C salvo rare eccezioni



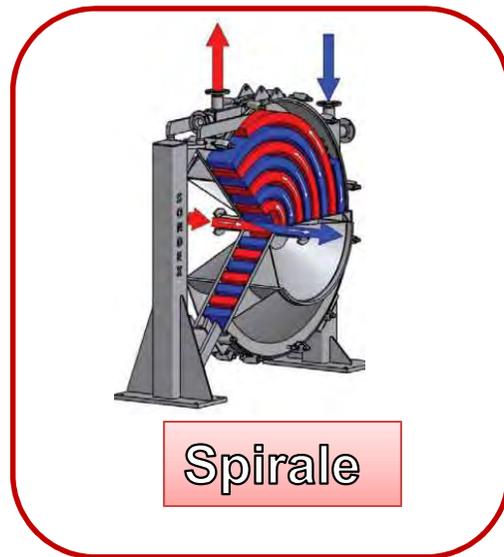
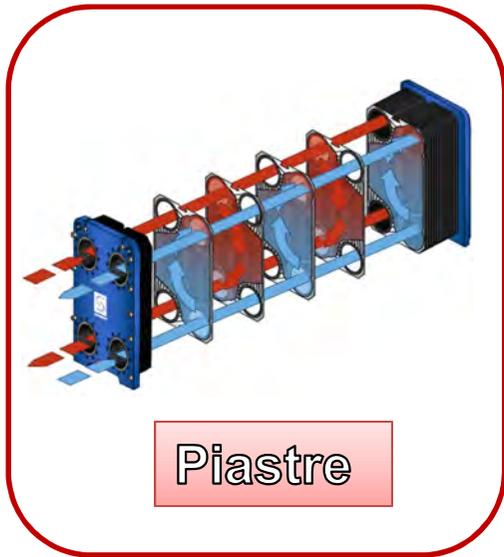
Pompa di calore

Alte portate correlate a bassi valori di salto termico tra mandata e ritorno, generalmente 5°C (portata e salto termico sono tra di loro inversamente proporzionali)

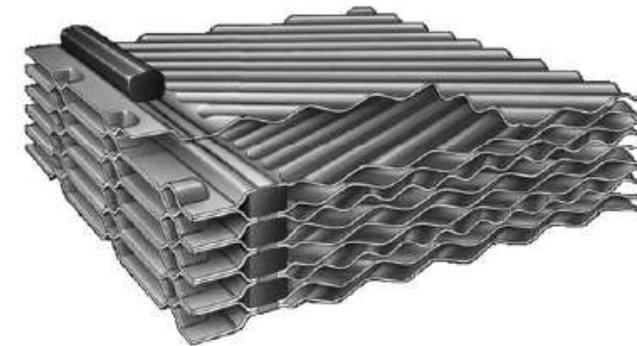
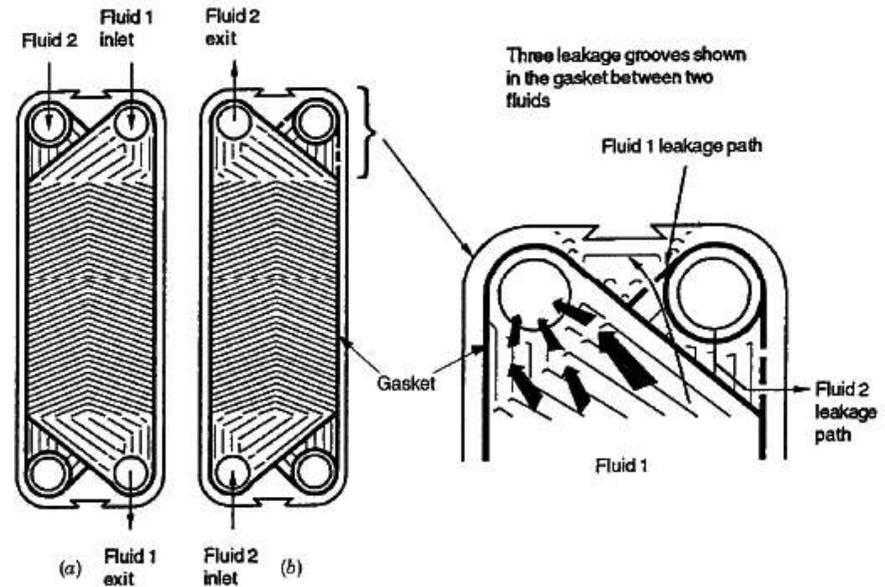
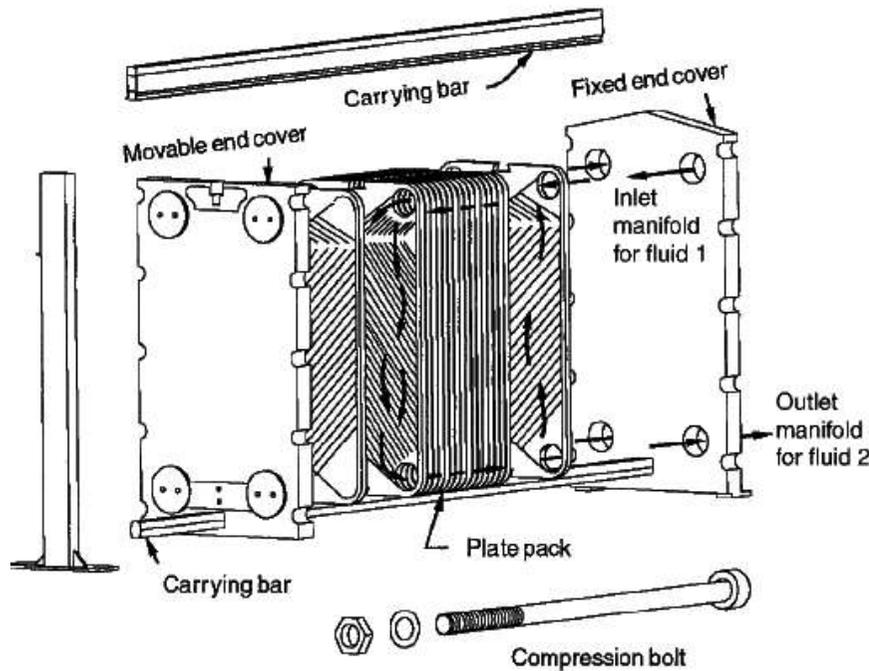
Livello termico in mandata ai massimi carichi mai superiore a 35°C salvo nei casi di produzione acqua calda sanitaria

Scambiatori di calore a piastre

Principali tipologie di scambiatori di calore

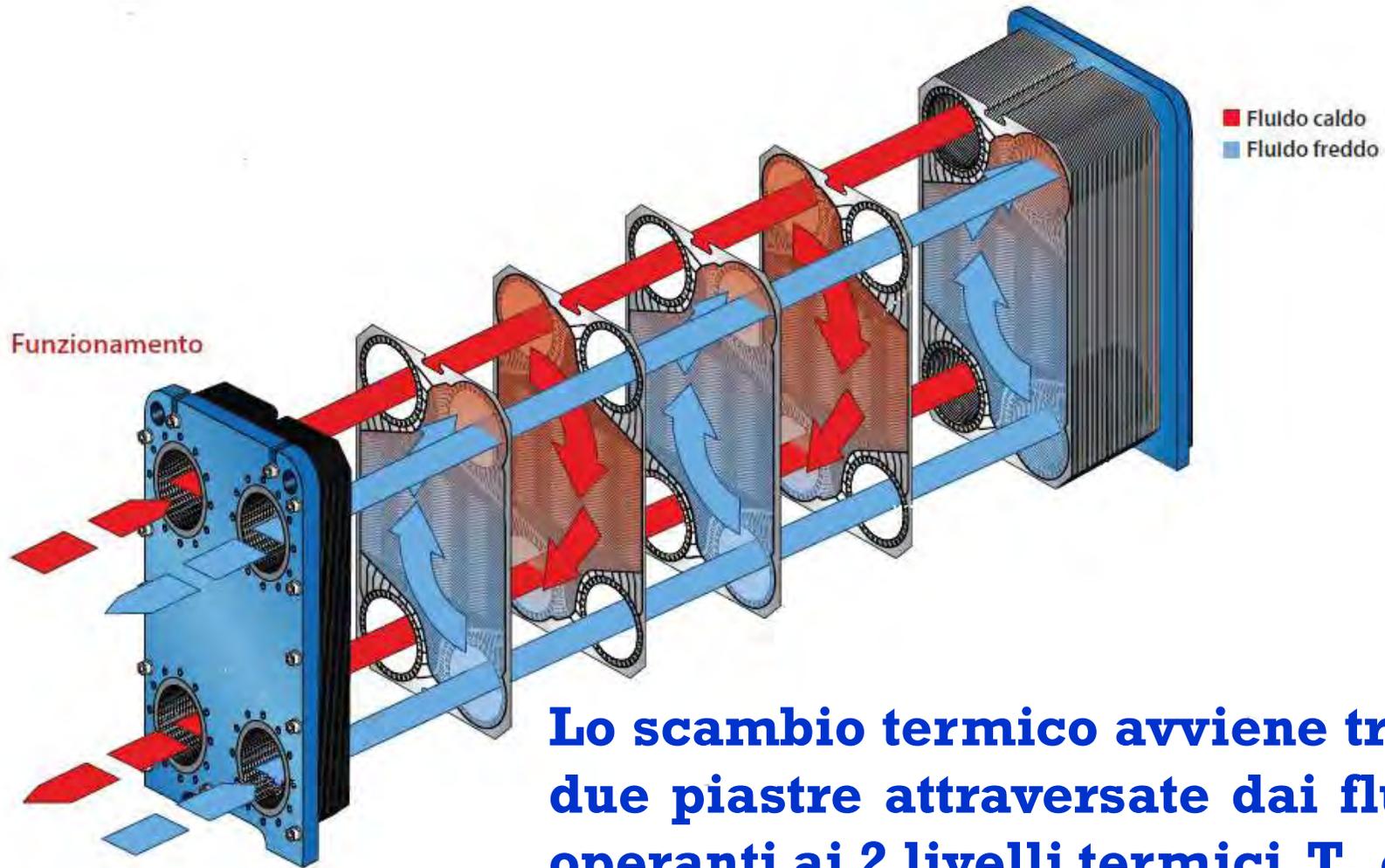


Principi di funzionamento scambiatori a piastre



I due flussi, in genere in controcorrente, entrano dal lato del coperchio fisso. Le guarnizioni sono disposte in modo tale che i 2 fluidi possano scorrere solo su lati alterni.

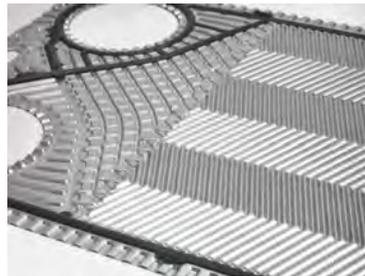
Principi di funzionamento scambiatori a piastre



Lo scambio termico avviene tra le due piastre attraversate dai fluidi operanti ai 2 livelli termici T_1 e T_2

Caratteristiche costruttive

CONFIGURAZIONE



- ✓ Ispezionabile
- ✓ Ampliabile
- ✓ Elevate potenze
- ✓ (DN32 – DN600)



- ✓ Non Ispezionabile
- ✓ Non Ampliabile
- ✓ Compatto e leggero
- ✓ Dimensioni ridotte

**A piastre intercambiabili
guarnizionati**

**A piastre fisse
saldobrasate**

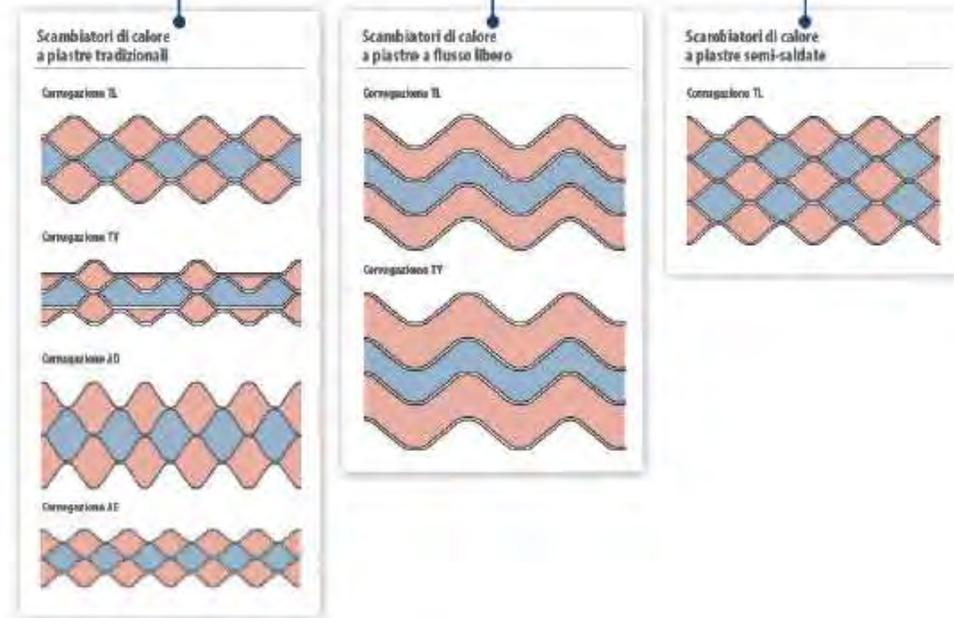
Caratteristiche costruttive

TIPOLOGIA CORRUGAZIONE PIASTRE



Corrugazione piastre

- ✓ In funzione delle perdite di carico
- ✓ In funzione della tipologia di fluido
- ✓ In funzione dell'area di scambia termico



Caratteristiche costruttive

MATERIALI

TELAIO E TIRANTI

- ✓ Acciaio al carbonio
- ✓ Acciaio inox (settore alimentare)

Compatibilità materiali

Concentrazione di Cloruri per applicazioni con acqua o glicole				
	60° C	80° C	100° C	120° C
10 ppm	AISI 304	AISI 304	AISI 304	AISI 316
25 ppm				
50 ppm		AISI 316	AISI 316	
80 ppm	AISI 316			Titanio
150 ppm		Titanio	Titanio	
300 ppm	Titanio			

Materiale Guarnizione	Temperatura Massima	Compatibilità Acqua	Compatibilità Vapore	Compatibilità Olio
Nitrile	140°C	○	○	○
EPDM	160°C (180 su richiesta)	○	○	-

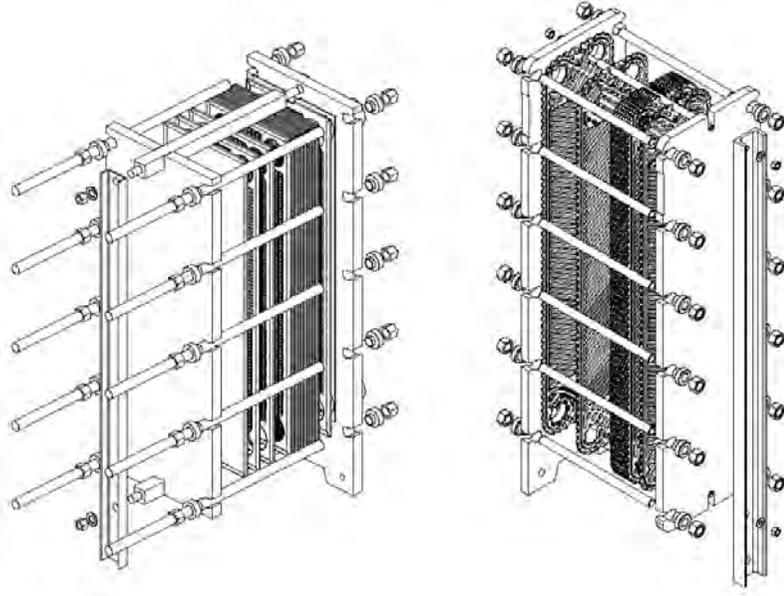
GUARNIZIONI

- ✓ Nitrile (120 ° C)
- ✓ Butile (110 ° C)
- ✓ EPDM (150 ° C)
- ✓ EPM (165 ° C)
- ✓ Silicone (210 ° C)
- ✓ FMK Viton (210 ° C)

PIASTRE

- ✓ Acciaio inox austenitici (AISI 304, AISI 316)
- ✓ Titanio
- ✓ Titanio/Palladio
- ✓ Avesta 254 SMO (inox austenitico per fluidi aggressivi)
- ✓ Leghe nickel (Monel, Inconel, Incoloy, Hastelloy)

Teoria dello scambio termico



In ogni condizione di richiesta calore dal sottosistema di emissione

$$NUT_s \geq NUT_p$$

La condizione però è verificata solo nelle originarie condizioni di progetto (a portata costante)

$$NUT_s = \frac{K S}{G c}$$

Numero Unità di Trasferimento o lunghezza termica dello scambiatore (caratteristica di progetto indipendente dal regime termico)

K = Coeff. Globale di scambio termico $W/m^2 \cdot ^\circ C$
 S = superficie di scambio termico m^2
 G = Portata massica Kg/h
 c = Calore specifico $Wh/Kg \cdot ^\circ C$

$$NUT_p = \frac{T_i - T_u}{\Delta T_{mLog}}$$

Numero Unità di Trasferimento o lunghezza termica di processo (caratteristica termodinamica in funzione delle prestazioni termiche)

T_i = Temperatura di ingresso circuito primario
 T_u = Temperatura di uscita circuito primario
 ΔT_{mLog} = salto termico medio logaritmico

$$\Delta T_{mLog} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}} \quad (\forall \Delta t_1 \neq \Delta t_2)$$

$\Delta t_1 = T_1 - t_2$ differenza tra fluido caldo e freddo ad una estremità
 $\Delta t_2 = T_2 - t_1$ differenza tra fluido caldo e freddo all'altra estremità

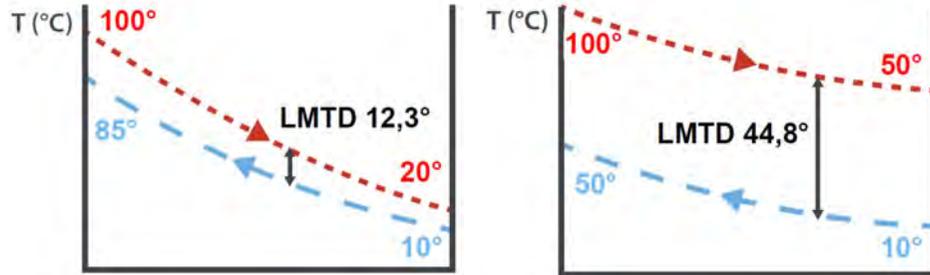
Se $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$
$$NUT_p = \frac{T_i - T_u}{\Delta t}$$

Teoria dello scambio termico

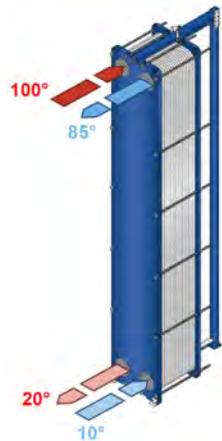
se $NUT_s = NUT_p$ $\frac{K S}{G c} = \frac{T_i - T_u}{\Delta T_{mLog}}$ \rightarrow $KS\Delta T_{mLog} = (T_i - T_u)G c$

Significato di NUT_p

POTENZA TERMICA DELLO SCAMBIATORE



Funzionamento in controcorrente

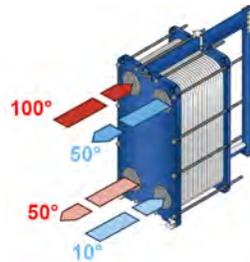


$$\Delta t_1 = 100 - 85 = 15$$

$$\Delta t_2 = 20 - 10 = 10$$

$$\Delta T_{mLog} = \frac{15 - 10}{\ln \frac{15}{10}} = 12,3$$

$$NUT_p = \frac{100 - 20}{12,3} = 6,49$$



$$\Delta t_1 = 100 - 50 = 50$$

$$\Delta t_2 = 50 - 10 = 40$$

$$\Delta T_{mLog} = \frac{50 - 40}{\ln \frac{50}{40}} = 44,8$$

$$NUT_p = \frac{100 - 50}{44,8} = 1,12$$

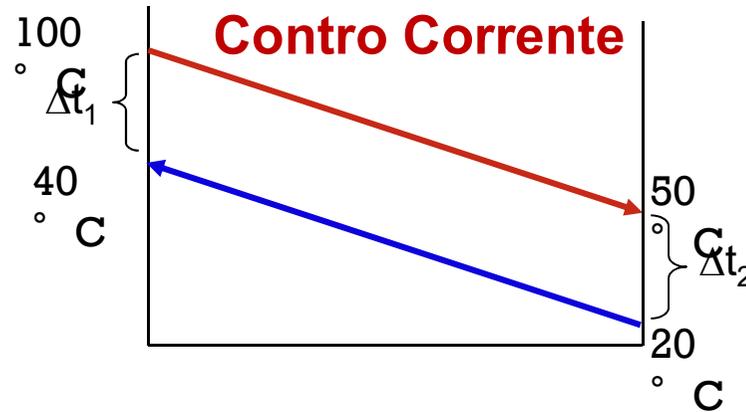
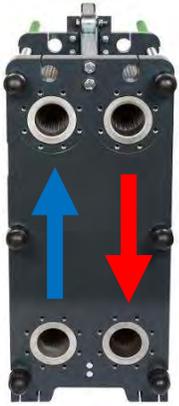
$NUT_p =$ Impegno necessario allo scambiatore per garantire la prestazione termica richiesta

Più le temperature dei fluidi sono ravvicinate, tanto più efficiente deve risultare lo scambiatore di calore. L'efficienza dello scambiatore è quindi funzione del valore NTU.

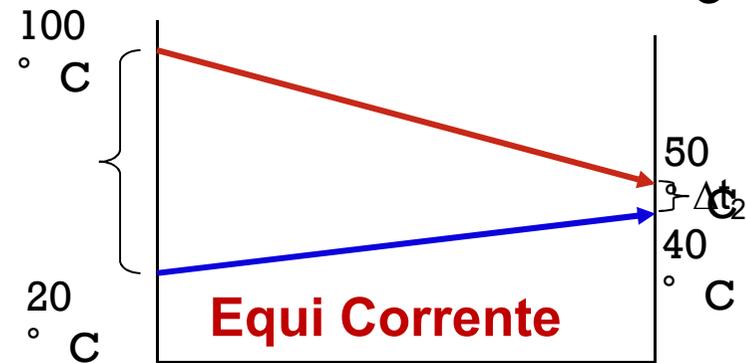
Fabbisogni termici maggiori necessitano di piastre più lunghe, fabbisogni termici minori necessitano di piastre più basse.

Teoria dello scambio termico

ATTENZIONE AI COLLEGAMENTI



$$\Delta T_{mLog} = \frac{60 - 30}{\ln \frac{60}{30}} = 43,3$$



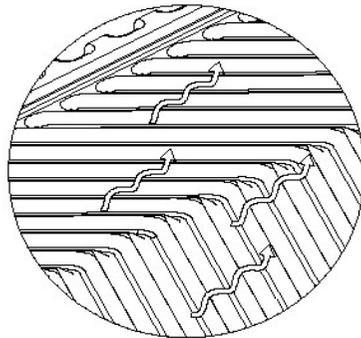
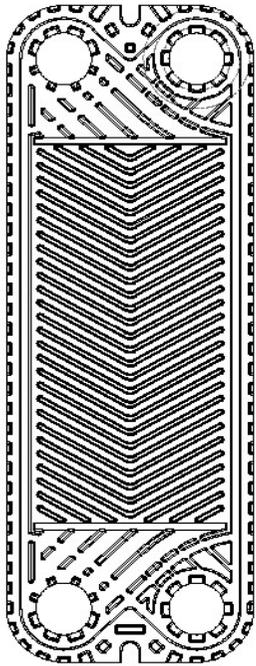
$$\Delta T_{mLog} = \frac{80 - 10}{\ln \frac{80}{10}} = 33,7$$

$$Q_T = KS \Delta T_{mLog}$$

A parità di coefficiente di scambio termico K e di superficie di scambio termico S la potenza termica con flussi in controcorrente sarà maggiore

Teoria dello scambio termico

PIASTRA CORRUGATA



(Distribuzione del flusso e turbolenza)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda} + f}$$

α_1, α_2 = coefficiente limite di parete 1, 2
 s = spessore della parete
 λ = Conducibilità della parete
 f = Coefficiente totale di sporcamento

$$\alpha = \frac{N_U \lambda_f}{D_e} \quad D_e = \frac{4S}{P}$$

N_U = Numero di Nusselt
 λ_f = Conducibilità del fluido
 D_e = Diametro equivalente
 S = Sezione del canale
 P = perimetro bagnato

$$N_U = A \text{Re}^a \text{Pr}^b \text{Vi}^c$$

A, a, b, c = coeff. sperimentali
 Re = Numero di Reynold
 Pr = Numero di Prandl
 Vi = Rapporto viscosità di massa a viscosità del film
 P = perimetro bagnato
 ρ = Densità
 V = Velocità
 μ = Viscosità dinamica
 c = Calore specifico

$$\text{Re} = \frac{\rho V D_e}{\mu}$$

$$\text{Pr} = \frac{\mu c}{\lambda_f}$$

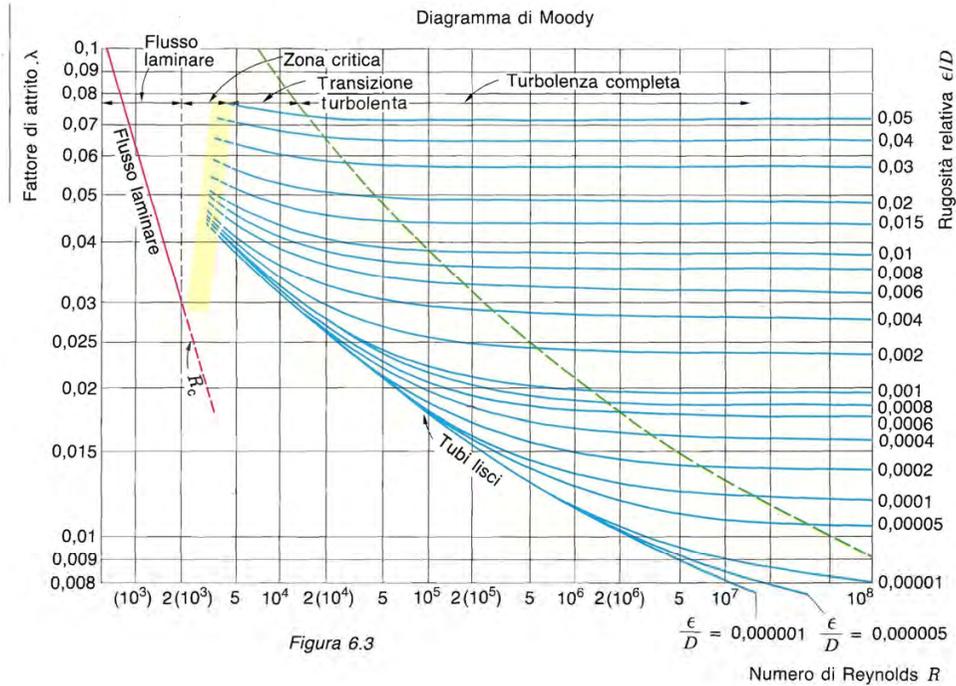
Al diminuire della portata il regime del fluido nei canali può passare da turbolento a laminare

Teoria dello scambio termico

$$NUT_s = \frac{K S}{G c} \quad K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{s}{\lambda} + f} \quad \alpha = \frac{N_U \lambda_f}{D_e}$$

$$N_U = A Re^a Pr^b Vi^c \quad Pr = \frac{\mu c}{\lambda_f}$$

Dipende solo dalle caratteristiche fisiche del fluido



$$Re = \frac{\rho V D e}{\mu} \quad \Delta P_c = \rho g \left(\lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \right)$$

Temp. (°C)	Massa Vol. (kg/m³)	Viscosità (Pa*s)	ρ/μ
0	1000	0,00179	$5,6 \cdot 10^5$
20	998	0,001	$9,98 \cdot 10^5$
100	958	0,00028	$3,42 \cdot 10^6$

Velocità nei canali 0,15...0,28 m/s al 100% della portata nominale in funzione del sovradimensionamento

Teoria dello scambio termico

Efficienza di scambio termico
=

alta turbolenza = alta velocità nei canali = alte perdite di carico

- ✓ La perdita di carico è il prezzo che si deve pagare per lo scambio termico
- ✓ Se si può accettare una maggior perdita di carico l'efficienza dello scambiatore ne trarrà vantaggio e si otterrà uno scambiatore di dimensioni più ridotte

Esempio di stima variazione prezzo	Potenzialità					
	100 kW		500 kW		1000 kW	
	Perdita di Carico					
Applicazione	10 kPa	30 kPa	10 kPa	30 kPa	30 kPa	50 Kpa
Riscaldamento	Indice Prezzo 100	Circa -20%	Indice Prezzo 100	Circa -20%	Indice Prezzo 100	Circa -10%
Raffrescamento		Circa -25%		Circa -30%		Circa -15%
Acqua Calda Sanitaria		Circa -12%		Circa -12%		Circa -20%

Teoria dello scambio termico

FATTORE DI SPORCAMENTO & MARGINI DI SOVRADIMENSIONAMENTO

Il fattore di sporcamento viene anche espresso in margine di sovradimensionamento %
 Peculiarità dello scambiatore a piastre ai fini dell'efficienza è l'elevata turbolenza
 E' consigliabile non applicare un extra margine di sovradimensionamento o al massimo un valore pari al 10%

Aumentare di molto il margine di sovradimensionamento comporta :

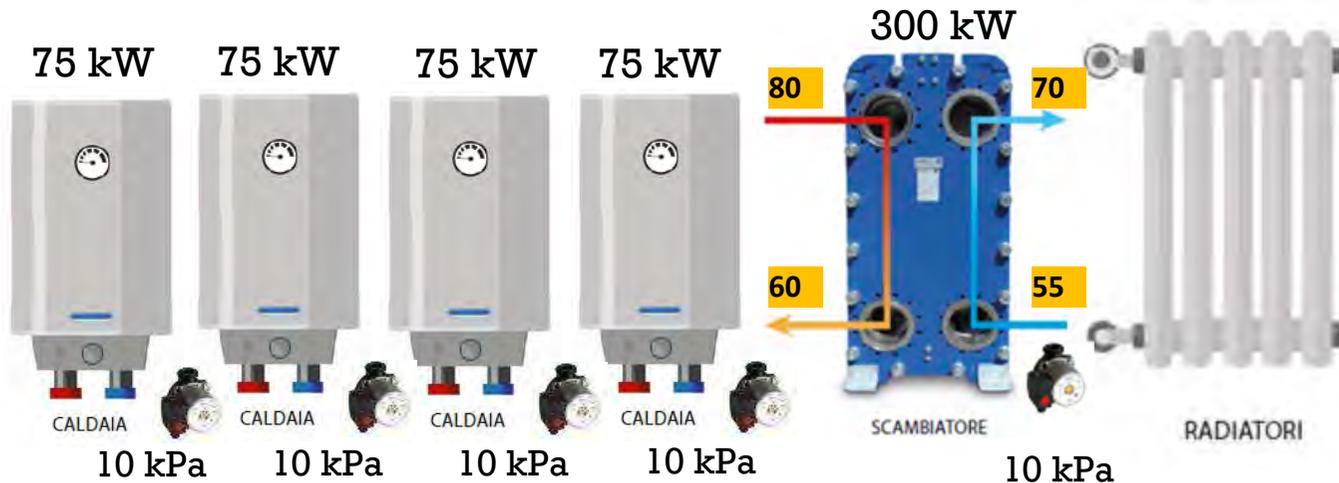
- ✓ una maggior superficie di scambio
- ✓ diminuzione della velocità di attraversamento nei canali
- ✓ Minor turbolenza
- ✓ Minor effetto autopulente dello scambiatore dovuto all'abbassamento della velocità

Sovradimensionamento	Coefficiente di Scambio Termico	Velocità nei canali m/s	
	W / m ² °C	Primario	Secondario
0%	5500	0,21	0,28
10%	4400	0,17	0,22
20%	3500	0,13	0,18
30%	2800	0,11	0,15

100/2023 Teoria dello scambio termico



**Scambiatore
superficie 7,57 m²
Δp Primario 16 kPa
Δp Secondario 27 kPa**

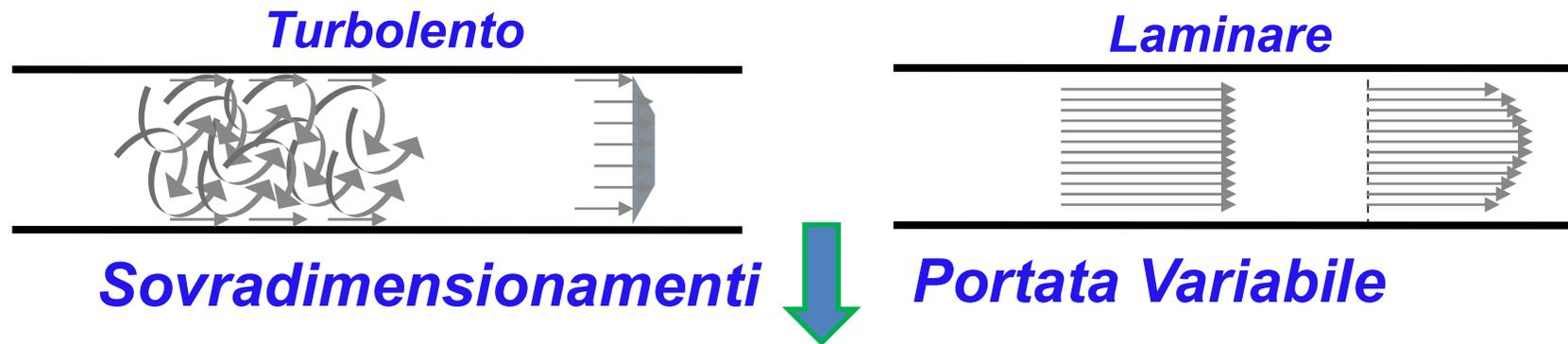


**Scambiatore
superficie 9,9 m²
Δp Primario 6 kPa
Δp Secondario 10 kPa
Δ superficie +30%**

Teoria dello scambio termico

Al diminuire della portata diminuisce il numero di Nusselt, diminuisce di conseguenza il coefficiente di scambio termico

Al di sotto di un determinato valore di portata c'è un esponenziale decadimento di K che peggiora all'aumentare del fattore di sporcamento



**INSTABILITA' DELLO SCAMBIO TERMICO
ANOMALIE FUNZIONALI – BASSA EFFICIENZA**

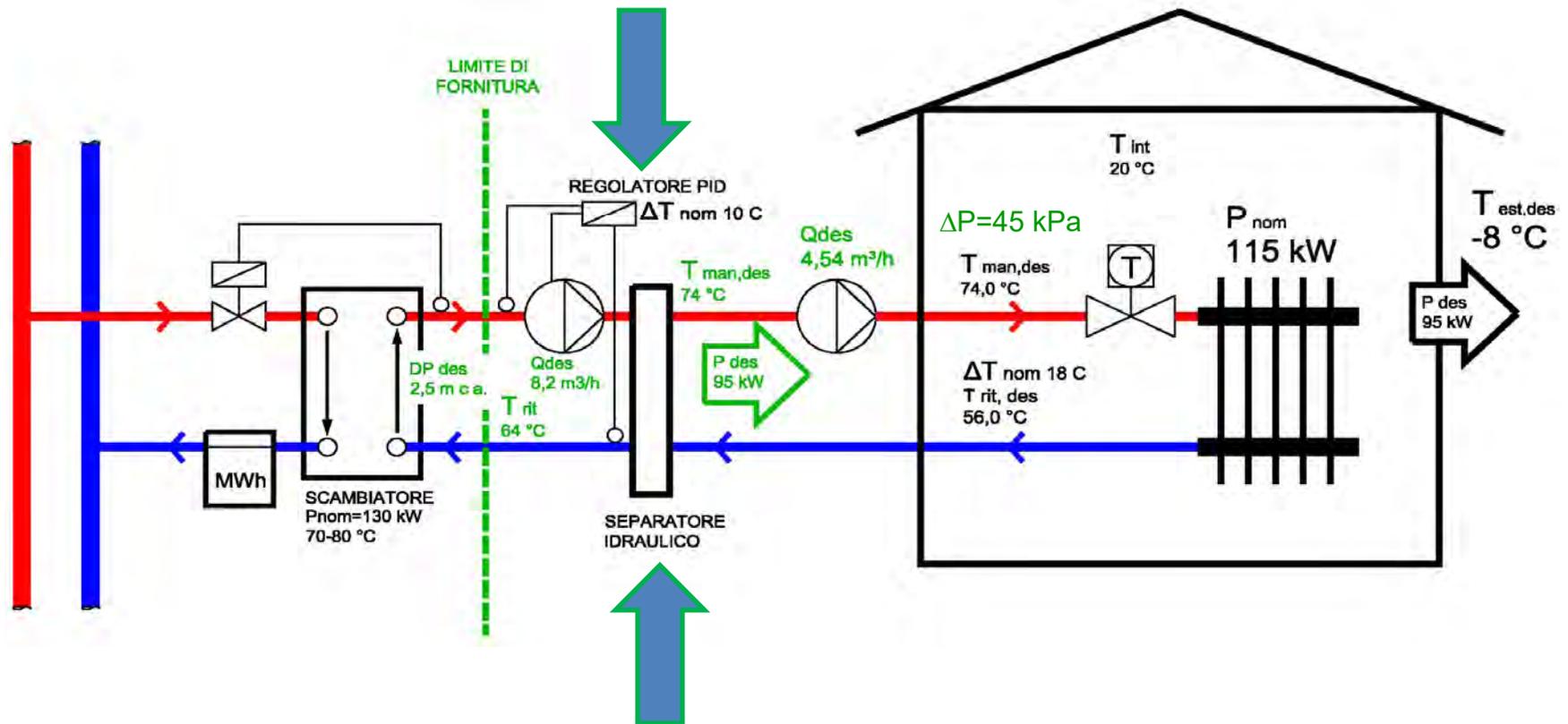
BISOGNA GARANTIRE UNA PORTATA MINIMA E FLUSSO TURBOLENTO

Considerando velocità di nei canali e numero di Reynolds

Possiamo parzializzare fino al 20% della portata / potenza

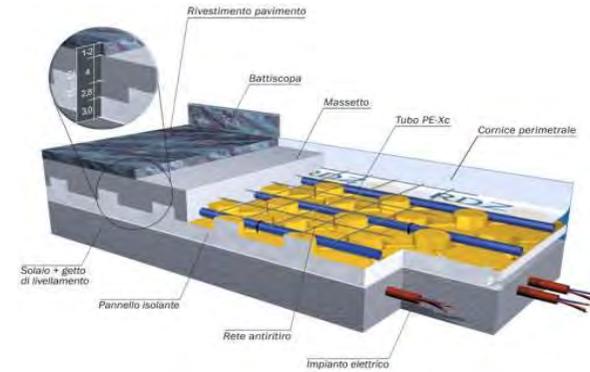
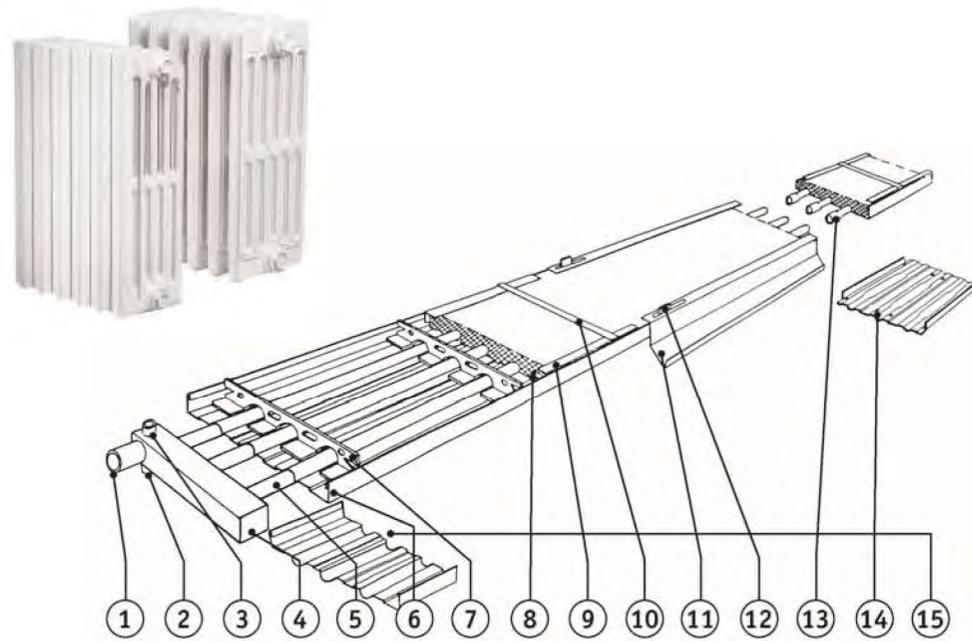
Garanzia di scambio termico

Regolatore PID per controllo ΔT



Inserimento separatore idraulico

10/01/2023



Sistema di emissione

Sistema preposto all'immissione dell'energia termica al fine di contrastare la quantità di energia in uscita dall'involucro edilizio.

Terminali per emissione del calore



Radiatori

- Ghisa
- Acciaio
- Alluminio

- I valori di emissione sono normati ai sensi della EN 442 e dipendono dalla differenza tra il valore medio di temperatura dell'acqua nel radiatore e la temperatura ambiente
- La maggior parte dei costruttori fornisce il valore di resa termica al parametro standardizzato della differenza di cui sopra pari a 50 ° C. Nei cataloghi tecnici tale valore di resa è espresso per $\Delta T = 50$ ° C

La legge che regola la potenza termica emessa da un radiatore è la seguente:

$$P = P_{\Delta T 50^{\circ}C} \left(\frac{\Delta T_{acqua - aria}}{50} \right)^n \quad \text{Dove} \quad \Delta T_{acqua - aria} = \left(\frac{T_{in} - T_{out}}{2} \right) - T_{amb}$$

La temperatura ambiente di norma è pari a 20 ° C. Dire per un radiatore $\Delta T = 50$ ° C significa ad esempio acqua in ingresso al radiatore pari a 80 ° C, acqua in uscita pari a 60 ° C e aria ambiente a 20 ° C. Pertanto la media della temperatura dell'acqua nel radiatore è pari a 70 ° C ed il $\Delta T = 70 - 20 = 50$ ° C. Nel caso in cui si abbia un salto dell'acqua tra 70 e 50 ° C con aria a 20 ° C il corrispondente $\Delta T = 60 - 20 = 40$ ° C e la potenza del relativo radiatore andrà calcolata con $\Delta T = 40$ ° C

Esempio di tabella di resa fornita da un produttore di radiatori

Dati Tecnici

Modello	Codice	Profondità P mm	Altezza H mm	Interasse L mm	Peso Kg	Capacità Lit	Kcal/h 50°C	Watt 250°C	Watt 240°C	Watt 230°C	Watt 220°C	Espon. n
200	RT40200 yy 01 IR no	139	200	133	0,70	0,55	22,3	26,0	19,3	13,2	7,7	1,326
300	RT40300 yy 01 IR no	139	302	235	0,99	0,71	36,2	42,1	31,8	22,1	13,3	1,258
400	RT40400 yy 01 IR no	139	402	335	1,27	0,87	47,0	54,6	41,1	28,5	17,0	1,272
500	RT40500 yy 01 IR no	139	502	435	1,55	1,03	57,5	66,9	50,2	34,7	20,6	1,286
600	RT40600 yy 01 IR no	139	602	535	1,83	1,20	67,9	79,0	59,1	40,6	24,0	1,300
750	RT40750 yy 01 IR no	139	752	685	2,25	1,44	83,2	96,8	72,1	49,3	28,8	1,322
900	RT40900 yy 01 IR no	139	902	835	2,68	1,68	98,3	114,3	84,7	57,6	33,4	1,343
1000	RT41000 yy 01 IR no	139	1002	935	2,96	1,84	108,3	125,9	93,4	63,5	36,9	1,340
1200	RT41200 yy 01 IR no	139	1202	1135	3,18	2,25	128,0	148,8	110,5	75,2	43,8	1,335
1500	RT41500 yy 01 IR no	139	1502	1435	4,37	2,64	157,1	182,6	135,8	92,7	54,1	1,328
1800	RT41800 yy 01 IR no	139	1802	1735	5,21	3,12	185,8	216,0	160,9	110,0	64,4	1,321
2000	RT42000 yy 01 IR no	139	2002	1935	5,77	3,44	204,8	238,1	177,5	121,5	71,3	1,317
2200	RT42200 yy 01 IR no	139	2202	2135	6,34	3,76	223,6	260,0	194,0	133,0	78,1	1,312
2500	RT42500 yy 01 IR no	139	2502	2435	7,18	4,24	251,8	292,8	218,8	150,2	88,5	1,306

Per ΔT diversi applicare la relazione con il corrispondente coefficiente "n"

Ad esempio per il modello 900 con $\Delta T = 35^\circ C$, la resa sarà:

$$P_{\Delta T 35^\circ C} = 114,3 \left(\frac{35}{50} \right)^{1,343} = 70,8W$$

Noto quindi il fabbisogno di potenza del corpo scaldato il progettista stabilisce la temperatura media di funzionamento alle massime condizioni richieste al radiatore, impone il salto termico tra ingresso ed uscita dal radiatore e sulla base di questi dati dimensiona il radiatore e la relativa portata d'acqua.

Esempio:

Fabbisogno di potenza calcolato 1500 Watt

Temperatura media dell'acqua 60 ° C

Salto termico acqua 25 ° C (pertanto $T_M=72,5$ ° C $T_R=47,5$ ° C)

Temperatura ambiente da mantenere 20 ° C

$\Delta T_{\text{acq-aria}}=40$ ° C

Nell'ipotesi di utilizzare i radiatori modello 900 con $\Delta T=40$ ° C la resa di ogni elemento è pari a 84,7 W e pertanto per ottenere una potenza installata pari a 1500 W saranno necessari 18 elementi i quali renderanno effettivamente $18 \times 84,7 = 1524$ W.

La portata d'acqua necessaria al radiatore sarà: $Q = \frac{1524}{1,163 \cdot 25} = 52,4$ litri/ora



Ventilconvettori

Per i ventilconvettori di qualsiasi marca sarà il produttore a fornire al progettista le caratteristiche di resa termica ed i fabbisogni di portata in funzione della temperatura in ingresso alla batteria di scambio termico. Di norma vanno dimensionati alla velocità media del ventilatore.

Dati tecnici

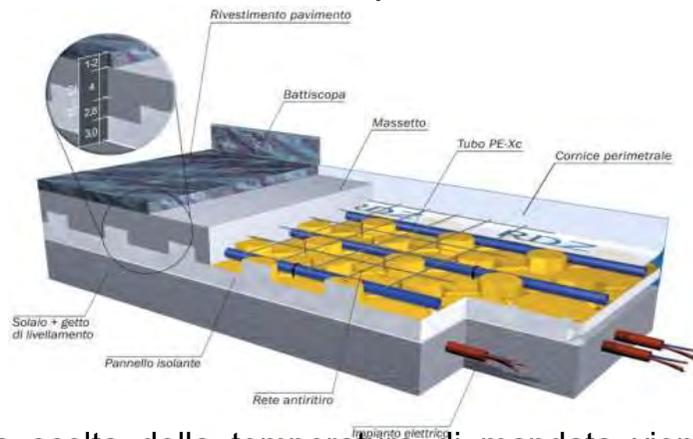
Mod.		17	22	24	32	34	42	44	50
Potenza termica	W (max.)	2490	3400	3950	4975	5850	7400	8600	8620
	W (med.)	2070	2700	3200	4085	4850	6415	6930	7530
	W (min.)	1610	1915	2200	3380	3850	5115	5200	5420
Potenza termica* (acqua ingresso 50°C)	W (E)	1360	2100	2320	3160	3550	4240	5250	4900
Potenza termica (resistenza elettrica) W		700	950	-	1300	-	1650	-	1950
Portata acqua	l/h	214	292	340	427	503	636	740	741
Perdite di carico acqua	kPa	2,8	6,3	4,0	14,2	8,0	14,1	21,0	14,2
Potenza frigorifera totale	W (max.) (E)	1000	1500	1730	2210	2800	3400	4450	4190
	W (med.)	890	1330	1500	2055	2450	2800	3780	3640
	W (min.)	720	1055	1150	1570	2050	2310	2970	2840
Potenza frigorifera sensibile	W (max.) (E)	830	1240	1380	1750	2130	2760	3300	3000
	W (med.)	710	1055	1140	1540	1789	2115	2722	2750
	W (min.)	540	755	828	1100	1441	1635	2079	2040
Portata acqua	l/h	172	258	297	380	482	585	765	721
Perdite di carico acqua	kPa (E)	2,6	5,8	3,0	16,6	9,0	14,3	19,2	19,3

- Riscaldamento:
 - temperatura aria ambiente 20°C B.S.
 - velocità massima
 - temperatura acqua in ingresso 70°C ; Δt acqua 10°C
 - media e minima velocità
 - temperatura acqua in ingresso 70°C
 - portata acqua come alla massima velocità
- Riscaldamento*:
 - temperatura aria ambiente 20°C B.S.
 - velocità massima
 - temperatura acqua in ingresso 50°C
 - portata acqua come nel funzionamento a freddo



**MAL SI PRESTANO PER
APPLICAZIONI
CON POMPE DI CALORE**

Riscaldamento a pavimento



- Il riscaldamento a pavimento segue i criteri di dimensionamento ai sensi della norma UNI EN 1264
- Essendo una norma di carattere volontario non è cogente ed è compito del progettista stabilire se seguirla o meno ricordando che ai sensi del DM 22 gennaio 2008 n. 37 si intendono progettati a regola d'arte gli impianti che rispettano le norme UNI in vigore.

La scelta della temperatura di mandata viene effettuata in funzione del locale sfavorito per il quale le norme forniscono la seguente definizione:

Il locale sfavorito è l'ambiente in cui il rapporto tra la potenza richiesta e la superficie riscaldante è massimo [W/mq]; questo rapporto è detto densità di flusso.

L'ambiente sfavorito deve soddisfare due condizioni:

1. **La differenza tra le temperature di andata e di ritorno non può superare i 5 ° C.**
2. Non può essere un locale adibito a bagno o servizio. Per tali locali si assume una resistenza termica del materiale di rivestimento pari a 0 mq° C/W. Per tutti gli altri va considerato un valore pari a 0.1 mq° C/W (o superiore se un ambiente ha un valore superiore).

In tutti gli ambienti la temperatura superficiale del pavimento non può superare la temperatura di 29 ° C. Ciò naturalmente pone un vincolo alla densità di flusso prodotta dal pannello radiante che non può superare una certa soglia. Per ovviare a questo vincolo è stato introdotto il concetto di superficie marginale definita come porzione di superficie ambiente compresa fino ad un metro dalle pareti esterne. All'interno di tale superficie la temperatura del pavimento non deve superare i 35 ° C: ne consegue che, se necessario, in questa area i tubi possono infittirsi.

10/01/2023

ATTENZIONE : Per il riscaldamento a pavimento i fabbisogni di potenza devono essere valutati solo per la componente verso l'alto. Nel caso di solai attestati verso piani interrati o verso l'esterno (piloties) al calcolo del fabbisogno di potenza dovrà essere detratta la quota parte verso il basso al fine di evitare sovradimensionamenti.

IL PROGETTISTA, scelta la casa produttrice del riscaldamento a pavimento, invia i disegni di progetto con i valori di fabbisogno di potenza all'ufficio tecnico preposto al dimensionamento unitamente alla definizione dell'area utile per il passaggio delle serpentine.

L'UFFICIO TECNICO della casa produttrice restituisce al progettista il disegno esecutivo per la posa dei serpentini con adeguata relazione tecnica in cui vengono definite le emissioni termiche, i fabbisogni di portata d'acqua e le perdite di carico dei circuiti.

VARIANDO il numero di circuiti ed i passi di posa è possibile utilizzare temperature di mandate estremamente basse, unitamente a salti termici dell'acqua minori o uguali a 5 ° C, che fanno del riscaldamento a pavimento un ottimo sistema emissivo per operare con le pompe di calore ma ideale anche per utilizzo con caldaie a condensazione a causa delle basse temperature di ritorno.

10/01/2023

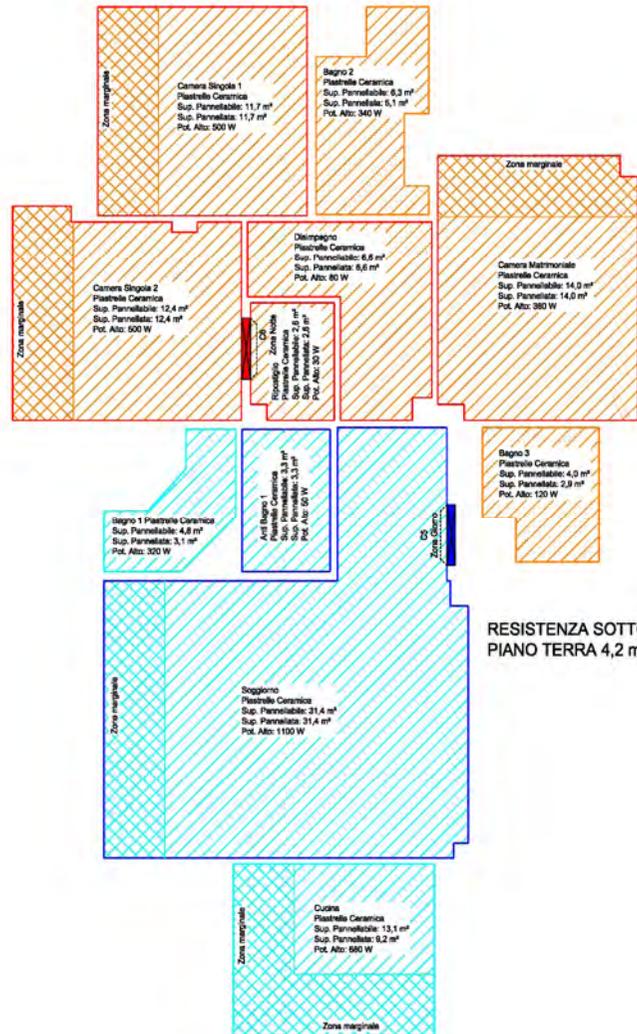


Per ogni locale devono essere definite le aree pannellate, le aree pannellabili, il tipo di pavimento e il fabbisogno di potenza di progetto.

Area pannellata=area su cui vengono posati i supporti del serpentino

Area pannellabile=area su cui insiste il serpentino

Il riscaldamento a pavimento è molto sensibile all'architettura e all'arredamento



RESISTENZA SOTTO PIANO TERRA 4,2 m²/Kw

Visualizzazione grafica Delle zone oggetto di installazione di serpentine e dei fabbisogni di potenza verso l'alto richiesti



RESISTENZA SOTTO PIANO TERRA 4,2 m²/Kw

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	Bagno	5.1	8.3		82	2	40	A0dx-notte
2	camera matrimoniale	14.0	16.6		88	2	40	A0dx-notte
3	camera matrimoniale		8.3		52	2	40	A0dx-notte
4	Bagno	6.3	8.3		83	10	132	A0dx-notte
5	Camera 1	11.6	16.6	8.3	100	3	59	A0dx-notte
6	Camera 2 rip dia.	2.6	16.6	8.3	100	2	47	A0dx-notte
		6.6						Solo passaggi
Totali		58.1			466		358	

C2

Collettore N. attacchi	A0dx-notte	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
6			
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
34	358	1004	2694

T_{max} di progetto

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	Cucina	13.1	8.3		88	10	133	A0dx-giorno
2	Cucina		8.3		88	10	133	A0dx-giorno
3	Soggiorno	31.4	16.6		83	2	40	A0dx-giorno
4	Soggiorno		16.6		89	2	40	A0dx-giorno
5	Soggiorno		8.3		64	2	40	A0dx-giorno
6	Bagno anti	4.7	8.3		55	8	119	A0dx-giorno
		3.4						Solo passaggi
Totali		52.6			386		606	

C1

Collettore N. attacchi	A0dx-giorno	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
8			
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
34	504	988	2576

T_{max} di progetto

Totale portata
Alloggio 862 litri/h a 34 ° C

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	cabina	4.7	16.6		48	4	40	A0dx-notte
2	camera matrimoniale	12.9	16.6	8.3	99	5	40	A0dx-notte
3	Bagno	5.8	8.3		61	10	70	A0dx-notte
4	camera doppia dia.	14.3	16.6	8.3	88	5	40	A0dx-notte
Totali		37.8			296		190	

C4

Collettore N. attacchi	A0dx-notte	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
4			
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
36	190	311	1895

T_{max} di progetto

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	Cucina	11.7	8.3		51	10	130	A0dx-giorno
2	Cucina		8.3		54	10	130	A0dx-giorno
3	Soggiorno	23.7	8.3		42	2	40	A0dx-giorno
4	Soggiorno		16.6		111	3	52	A0dx-giorno
5	Bagno	4.8	8.3		65	2	40	A0dx-giorno
6	lavanderia dia.	5.4	16.6		33	2	40	A0dx-giorno
		6.1						Solo passaggi
Totali		61.6			366		432	

C3

Collettore N. attacchi	A0dx-giorno	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
6			
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
36	431	829	2506

T_{max} di progetto

Totale portata
Alloggio 621 litri/h a 36 ° C

Utilizzo dei dati di portata alla temperatura di progetto per il calcolo delle portate in partenza dalla centrale di produzione calore

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	Bagno	4,0	8,3		49	2	40	A1dx-notte
2	cabina	6,4	16,6		57	2	40	A1dx-notte
3	camera matrimoniale	14,1	16,6		58	2	40	A1dx-notte
4	camera matrimoniale		8,3		49	2	40	A1dx-notte
5	Bagno	6,3	8,3		62	10	170	A1dx-notte
6	Camera 1	11,7	16,6	8,3	99	2	55	A1dx-notte
7	Camera 2	12,1	16,6	8,3	99	3	69	A1dx-notte
	dis.	6,6						Solo passaggi
	rip.	2,6						Solo passaggi
Totali		63,6			493		464	

Collettore N. attacchi	A1dx-notte 7	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
36	455	1675	3793

T_{max} di progetto

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	Cucina	13,1	8,3		68	10	185	A1dx-giorno
2	Cucina		8,3		58	10	165	A1dx-giorno
3	Soggiorno	31,2	16,6		63	2	40	A1dx-giorno
4	Soggiorno		16,6		69	2	40	A1dx-giorno
5	Soggiorno		8,3		54	2	40	A1dx-giorno
6	Bagno anti	4,8	8,3		58	8	151	A1dx-giorno
		5,4						Solo passaggi
Totali		52,3			390		601	

Collettore N. attacchi	A1dx-giorno 6	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
36	802	1442	3174

T_{max} di progetto

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	camera matrimoniale	14,4	16,6		80	6	75	A1dx-notte
2	camera matrimoniale		8,3		52	2	42	A1dx-notte
3	Bagno	5,3	8,3		58	10	122	A1dx-notte
4	camera	13,8	8,3		47	2	40	A1dx-notte
5	camera		16,6		71	2	40	A1dx-notte
	rip.	2,5						Solo passaggi
	dis.	5,8						Solo passaggi
Totali		41,8			308		319	

Collettore N. attacchi	A1dx-notte 5	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
35	318	758	2356

T_{max} di progetto

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	Bagno	6,3	8,3		58	8	124	A1dx-giorno
2	Soggiorno	24,4	16,6	8,3	79	2	44	A1dx-giorno
3	Cucina	11,7	8,3		57	10	166	A1dx-giorno
4	Cucina		8,3		58	10	155	A1dx-giorno
5	Soggiorno dis.		16,6	8,3	79	2	44	A1dx-giorno
								Solo passaggi
Totali		42,5			331		522	

Collettore N. attacchi	A1dx-giorno 5	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
35	821	1231	2661

T_{max} di progetto

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	Ingresso	7,1	16,6		67	5	40	A2-giorno
2	Soggiorno	25,1	16,6		101	10	56	A2-giorno
3	Soggiorno		8,3		67	5	40	A2-giorno
4	Cucina	14,6	16,6	8,3	59	8	60	A2-giorno
5	sciti cucina setimo	8,2	8,3		97	5	40	A2-giorno
6	Bagno	5,4	8,3		69	5	40	A2-giorno
Totali		60,4			471		276	

Collettore N. attacchi	A2-giorno 6	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
30	276	302	3220

T_{max} di progetto

N° circuito	Nome locale	Superficie (m²) Posata	Passo Int.	posa Ext.	Lunghezza (m)	Posizione valvola	Portata (l/h)	Nome collettore
1	camera	11,9	8,3		61	6	111	A2-notte
2	camera		8,3		58	6	111	A2-notte
3	Bagno	7,6	8,3		69	2	66	A2-notte
4	camera matrimoniale	14,1	16,6	8,3	104	2	54	A2-notte
5	soff. en	6,2	8,3		60	10	166	A2-notte
6	Bagno	5,6	8,3		56	2	40	A2-notte
7	soff. ad	2,6	8,3		46	2	40	A2-notte
8	camera doppia dis. Ingresso	12,6	16,6		63	2	40	A2-notte
		7,8						Solo passaggi
								Solo passaggi
Totali		67,2			529		617	

Collettore N. attacchi	A2-notte 8	Tipo	"KIT VJ CONTROL 17"
Temperatura (°C)	Portata (l/h)	PDC (mmH2O)	Potenza erogata (w)
35	617	1563	3921

T_{max} di progetto

10/01/2023



Aerotermini

Per gli aerotermini di qualsiasi marca sarà il produttore a fornire al progettista le caratteristiche di resa termica ed i fabbisogni di portata in funzione del salto di temperatura in ingresso e uscita alla batteria di scambio termico. Sono dotati di ventilatori elicoidali. Non hanno la possibilità di modificare la portata d'aria



Acqua calda
Acqua Surriscaldata
Vapore

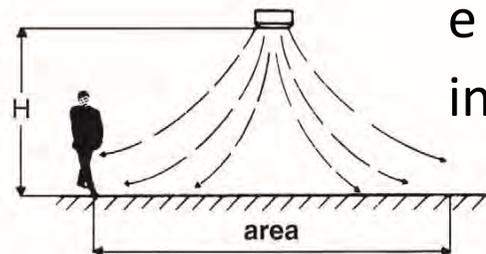
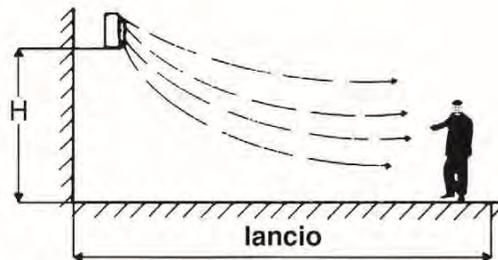
10/01/2023

ALIMENTAZIONE ACQUA 85-70 °C

Caduta di temperatura 15°C - Δ tm 62,5°C - Temperatura entrata aria 15°C

GRANDEZZA	VELOCITÀ DI ROTAZIONE MODELLO	PORTATA ARIA m³/h	LIVELLO SONORO A 5 mt. dB(A)	EMISSIONI TERMICHE		TEMP. USCITA ARIA °C	ZONA INFLUENZA PER INSTALLAZIONE A				
				KCal/h	W		PARETE		SOFFITTO		
							ALTEZZA m	LANCIO m	ALTEZZA max m	AREA m²	
1	900	6 A11	1140	48	-	-	-	-	-	-	-
		6 A12	1040	48	6670	7760	39	2,5+3	5,5	3	36
		6 A13	960	48	7690	8940	45	-	-	-	-
2	900	6 A21	1560	51	-	-	-	-	-	-	-
		6 A22	1440	51	9330	10850	39	2,5+3,5	7,5	3,5	45
		6 A23	1380	51	10510	12230	44	-	-	-	-

ZONA D'INFLUENZA



Rese termiche
e modalità di
installazione

10/01/2023

Fattori correttivi in funzione delle condizioni ambiente e delle temperature di alimetazione

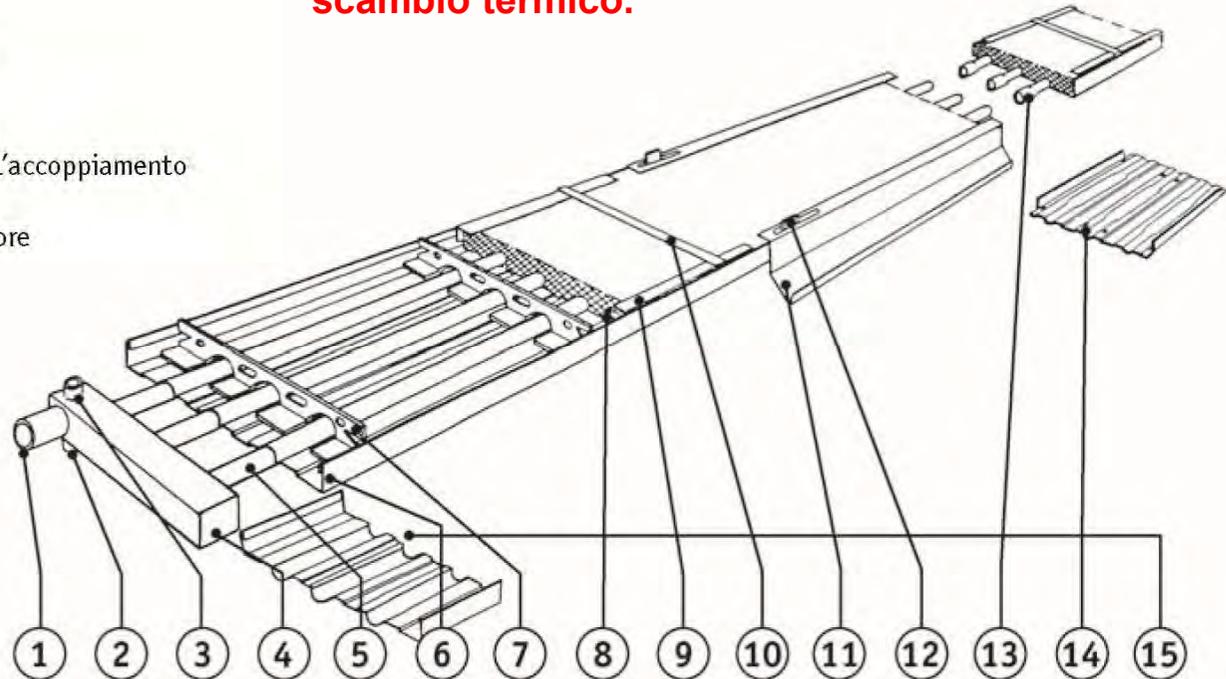
Temp. aria	50/35	55/40	60/45	65/50	70/55	75/60	80/65	85/70	90/75
-10	0,84	0,92	1,00	1,08	1,16	1,24	1,32	1,40	1,48
-5	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08	1,16	1,24	1,32	1,40
0	0,67	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08	1,16	1,24	1,32
+5	0,60	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08	1,16	1,24
+10	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08	1,16
+15	0,44	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00	1,08
+20	0,36	0,44	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00
+25	0,28	0,36	0,44	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,92

10/01/2023

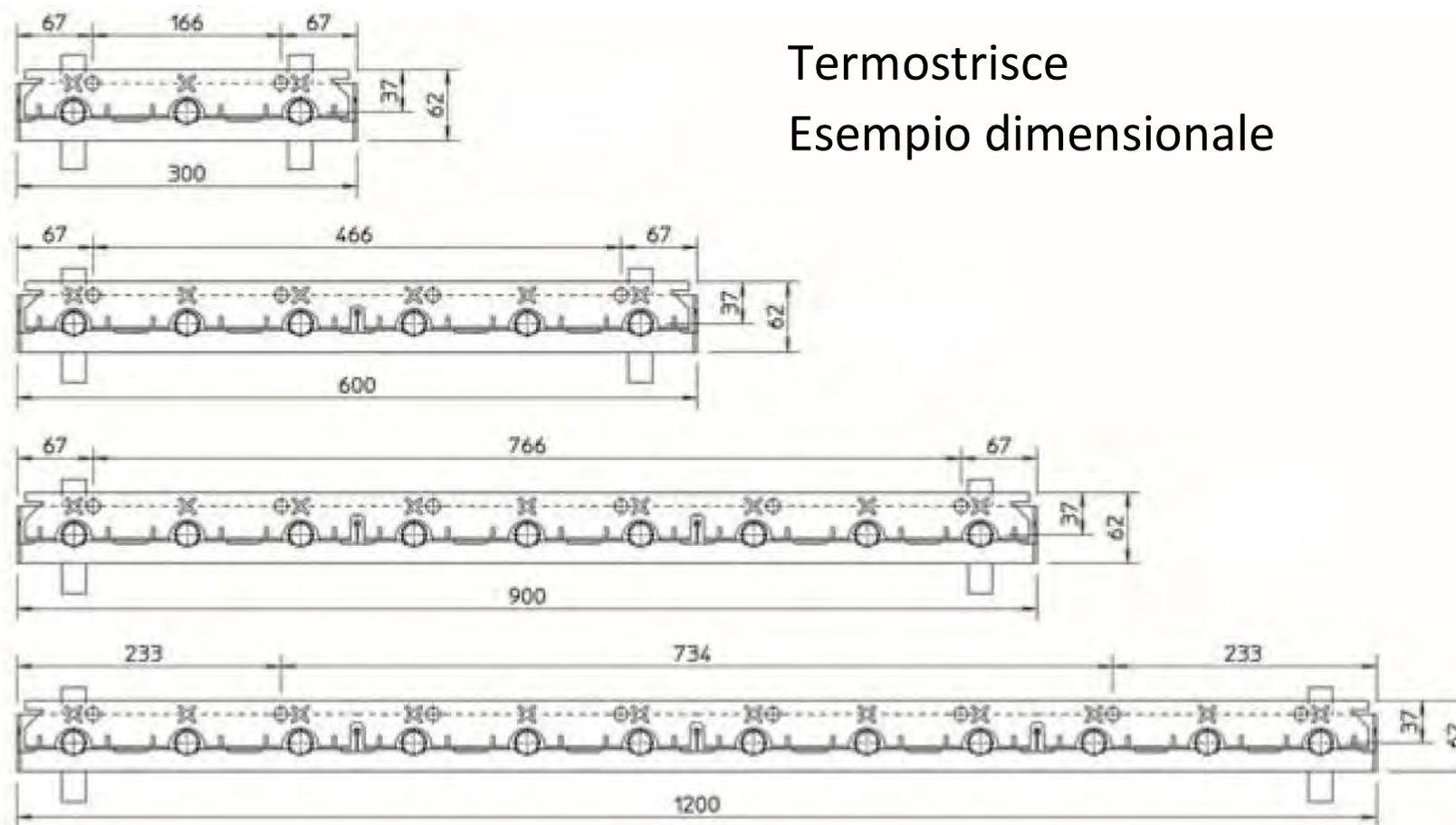
- 1 - Attacco filettato maschio (\varnothing 1/2" - 3/4" - 1" - 1.1/4")
- 2 - Attacco scarico acqua \varnothing 3/8"
- 3 - Attacco sfiato aria \varnothing 3/8"
- 4 - Collettore di testata, iniziale o finale
- 5 - Tubo acciaio \varnothing 1/2"
- 6 - Piastra radiante in acciaio
- 7 - Traversa di sospensione
- 8 - Materassino isolante
- 9 - Bordatura laterale
- 10 - Reggette fissaggio materassino
- 11 - Scossalina anticonvettiva
- 12 - Squadretta sostegno scossalina
- 13 - Bicchieratura tubi per facilitare l'accoppiamento
- 14 - Coprigiunto
- 15 - Copri-tubi tra pannello e collettore

Per le termostricce di qualsiasi marca sarà il produttore a fornire al progettista le caratteristiche di resa termica ed i fabbisogni di portata in funzione del salto di temperatura in ingresso e uscita alla batteria di scambio termico.

Termostricce



10/01/2023

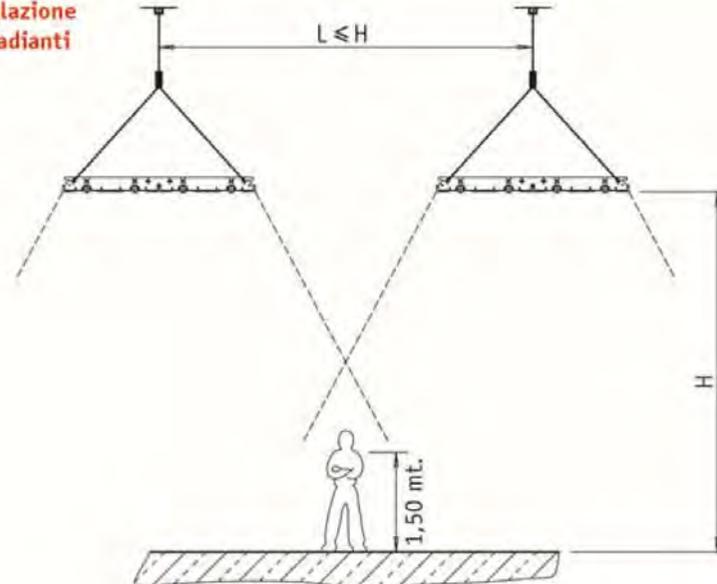


Termostricce
Esempio dimensionale

10/01/2023

Δt_m (K)	DS3-03 W	DS3-06 W	DS3-09 W	DS3-12 W
20	32	57	91	115
22	35	64	101	129
24	39	71	113	144
26	44	78	124	158
28	48	86	135	173
30	52	93	147	189
32	56	101	158	204
34	60	109	170	220
36	65	116	182	236
38	69	124	194	252
40	74	132	206	268
42	78	140	218	285
44	83	149	231	301
46	87	157	243	318
48	92	165	256	335
50	97	174	268	353
52	101	182	281	370
54	106	191	294	387
55	109	195	301	396
56	111	199	307	405
58	116	208	320	423

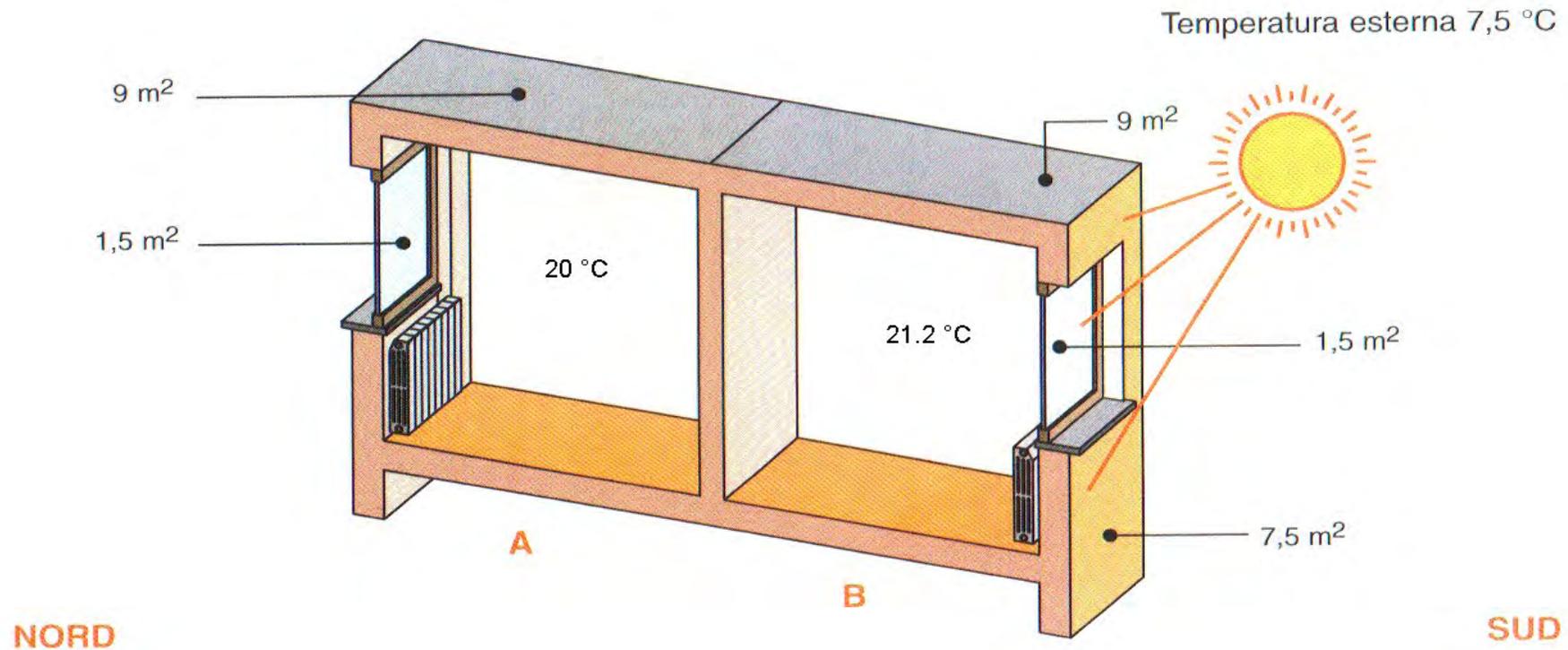
Corretta installazione
termostrisce radianti



Altezza minima di montaggio consigliata (in m rispetto al pavimento)

Temperatura media acqua °C	DS2-03	DS2-06 DS2-09	DS2-12	DS3-03	DS3-06 DS3-09	DS3-12
60°	3.00	3.10	3.20	3.10	3.20	3.30
70°	3.10	3.20	3.30	3.20	3.30	3.40
80°	3.20	3.30	3.40	3.30	3.50	3.60
90°	3.30	3.50	3.70	3.40	3.70	3.90
100°	3.40	3.70	3.90	3.50	4.00	4.20
110°	3.50	4.00	4.30	3.60	4.20	4.40
120°	3.60	4.20	4.50	3.70	4.40	4.70
130°	3.70	4.40	4.70	3.80	4.60	4.90
140°	3.80	4.60	5.00	3.90	4.80	5.20

■ Perdite di regolazione



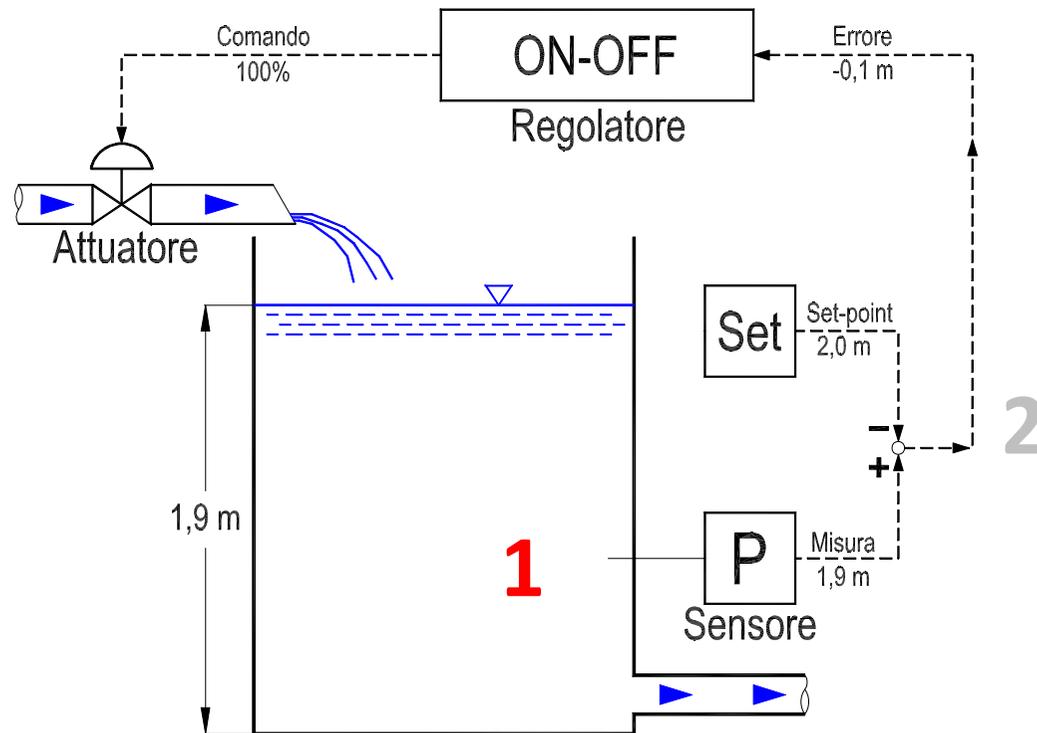
In assenza di una regolazione locale per locale, nel locale B la temperatura supera i 20 ° C e le perdite attraverso le pareti aumentano in proporzione al ΔT rispetto all'esterno.

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

- Perdite di regolazione
- Ipotesi di partenza:
in tutti i locali deve essere garantito il servizio (20 ° C)
- Cause di maggior perdita: il calore non viene immesso
SOLO dove serve e quando serve
ma ANCHE anche dove e quando non serve.
- Esempi:
 - Se non viene fatto il bilanciamento dell'impianto vengono surriscaldati i locali favoriti
 - Anche se viene eseguito il bilanciamento ma questo è fisso, il bilanciamento ottimale dipende dall'andamento climatico e dagli apporti gratuiti.

Che cos'è un regolatore?

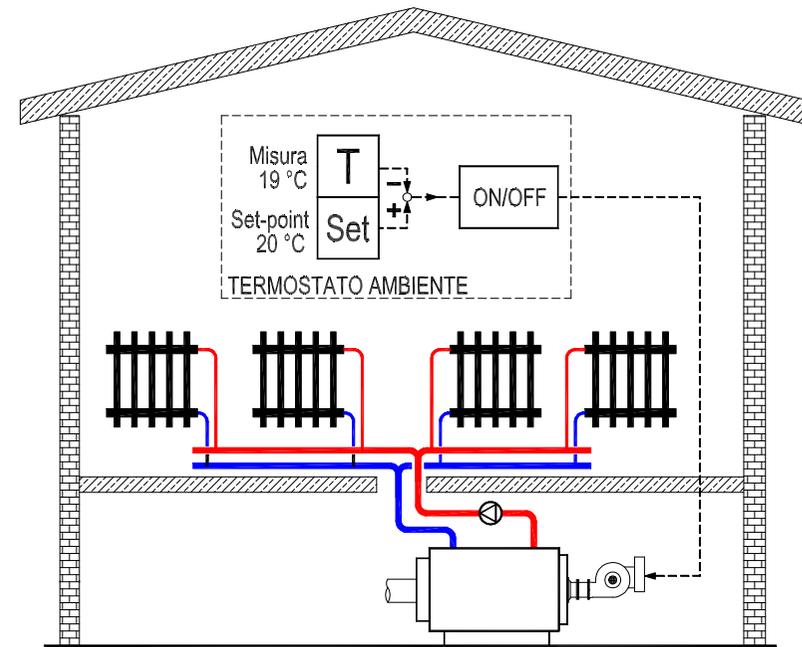
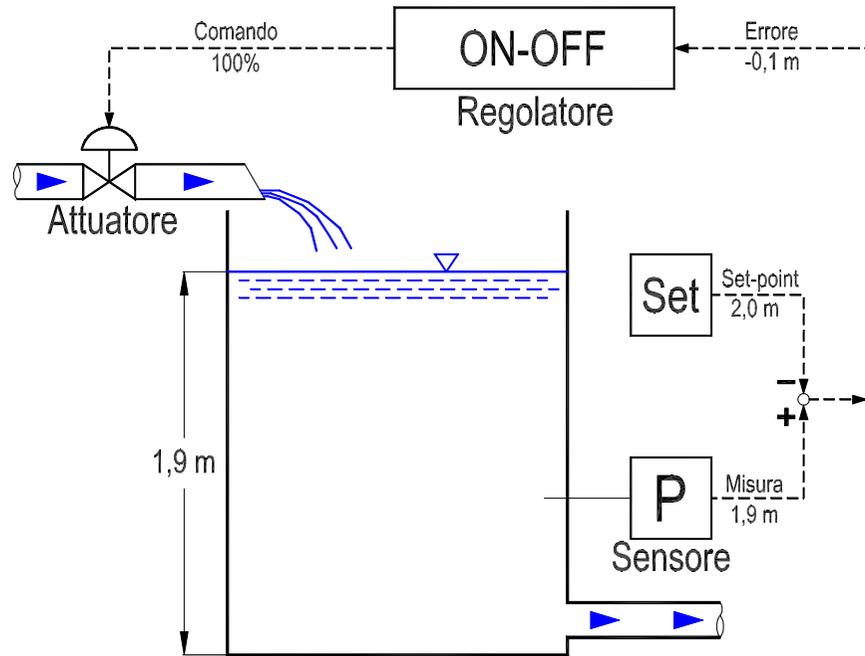


Regolare...

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 ...

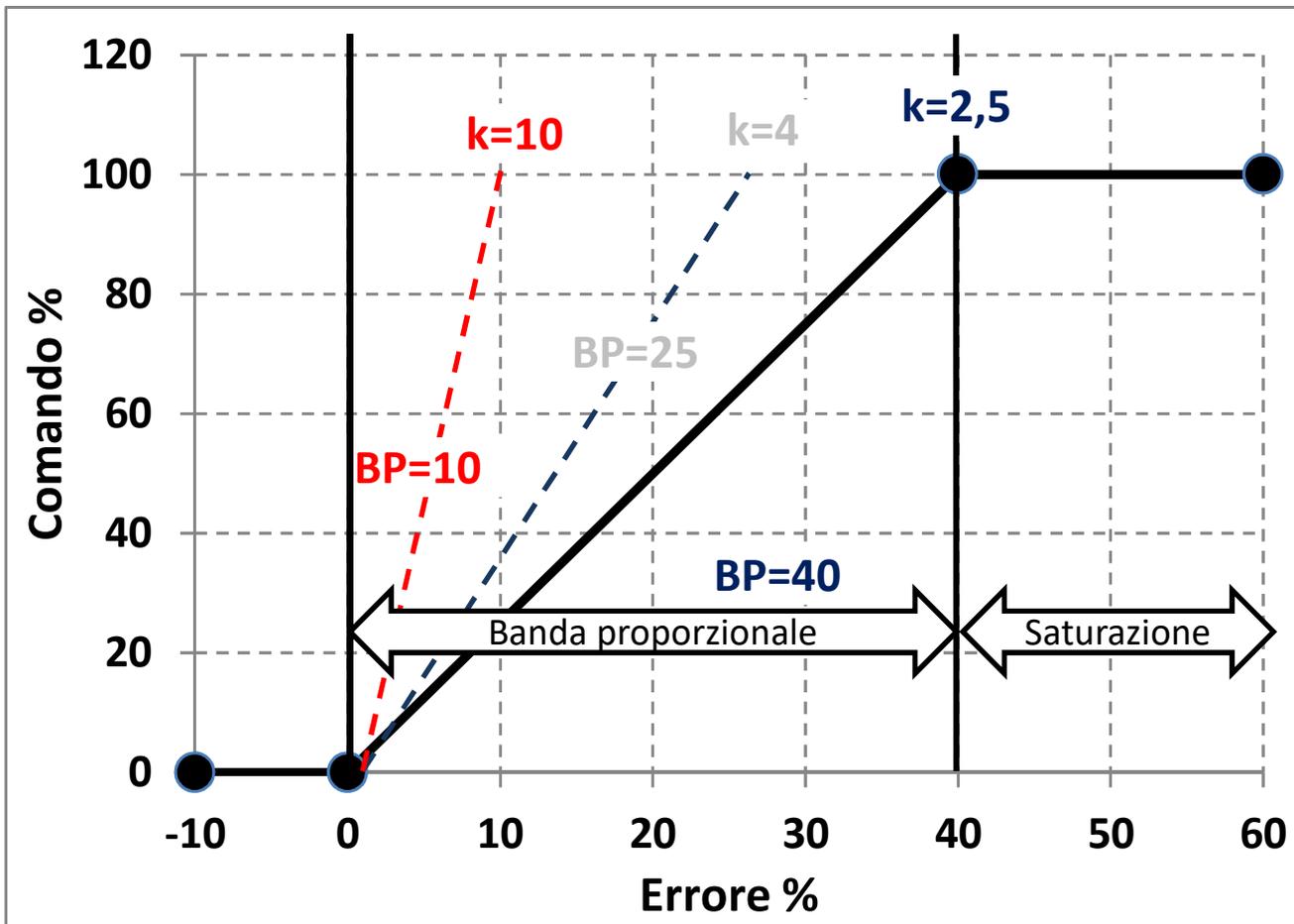


**APPORTI GRATUITI = PIOVE NEL SECCHIO
= SOLE E PERSONE
= ALMENO 30% DELLE DISPERSIONI**

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

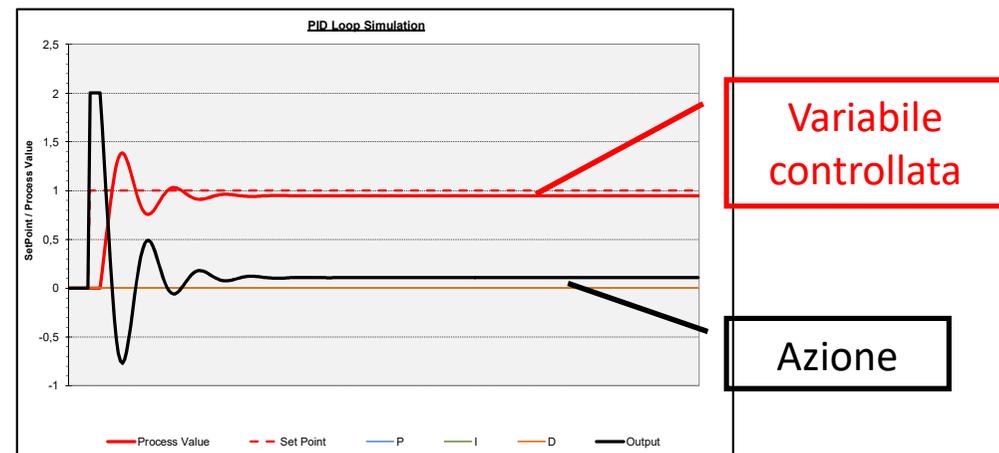
Grafico regolatore proporzionale



Come indicare
la caratteristica
di un
regolatore
proporzionale

Alcune proprietà di un regolatore P

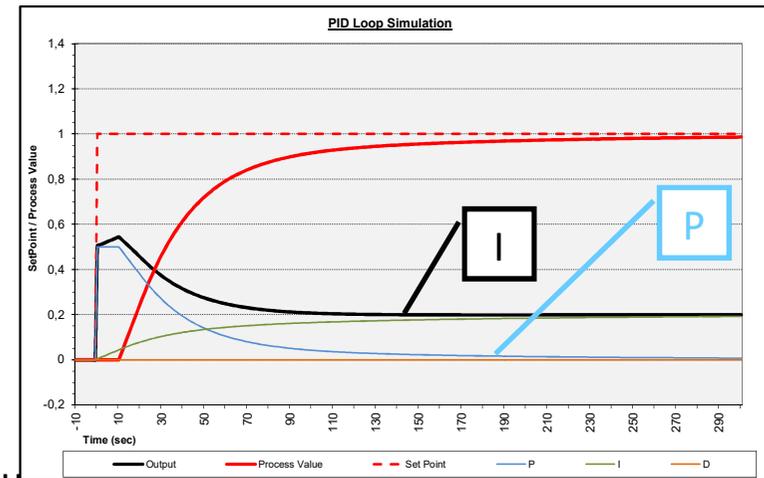
- **Il regolatore P non arriva mai «a segno»:**
→ a regime rimane sempre un errore...
- Riducendo la banda proporzionale si riduce l'errore
- Se si riduce troppo la banda proporzionale il regolatore comincia ad oscillare
- I ritardi e le inerzie della catena di misura ed attuazione aumentano i rischi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



- **Regolatore PI: si elimina l'errore a regime**
- **Regolatore PID: si smorzano le oscillazioni**

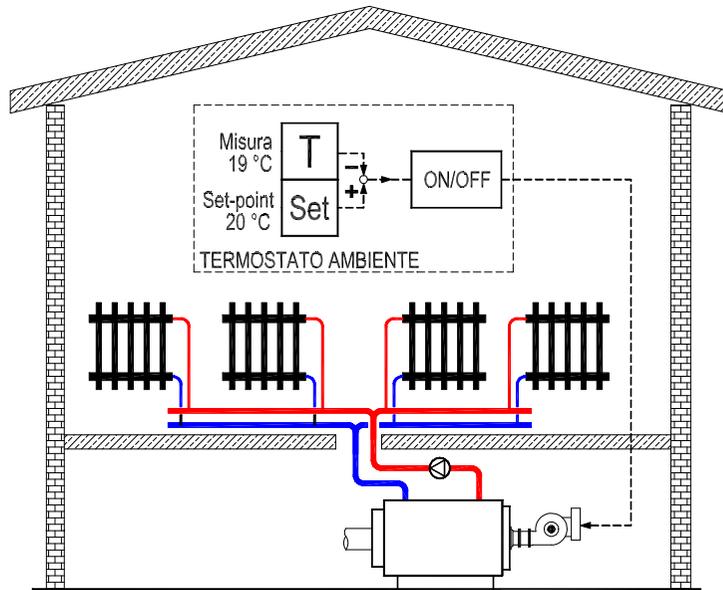
L'azione Integrale

- 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

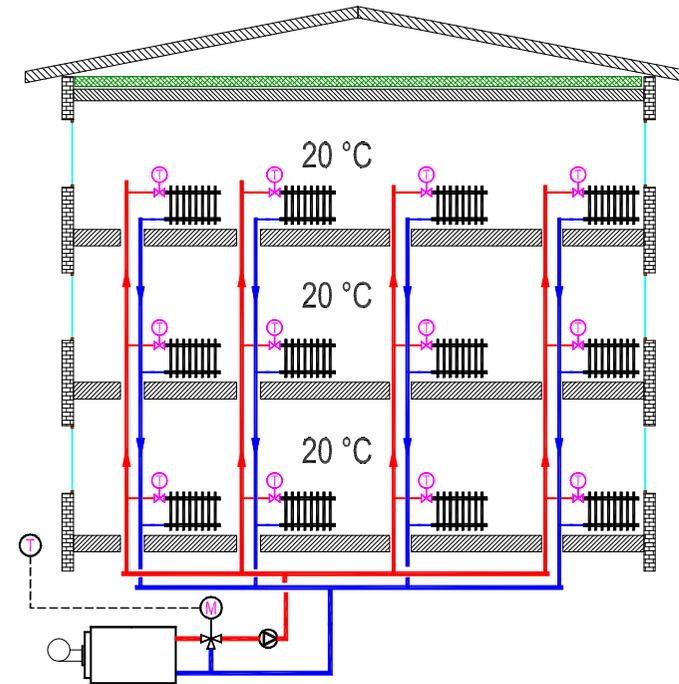


L'azione Derivativa

- 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**

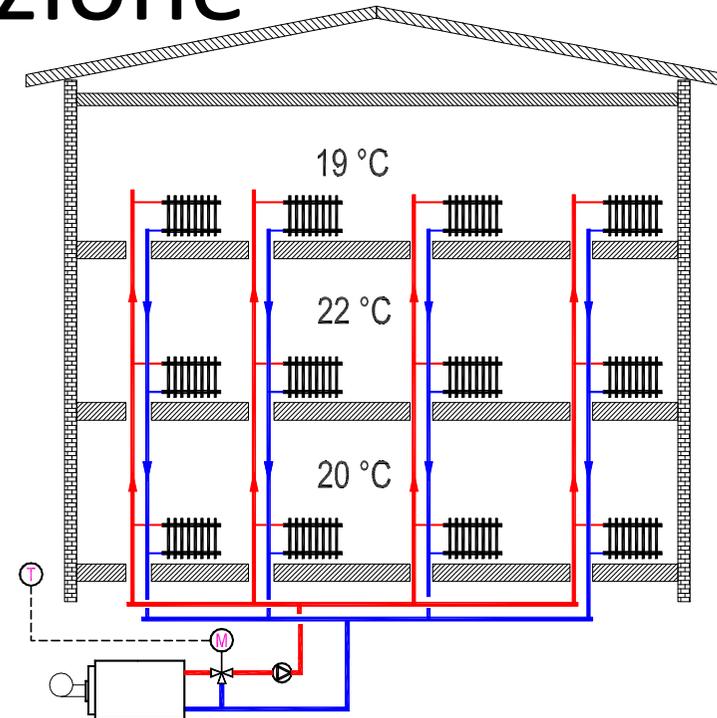
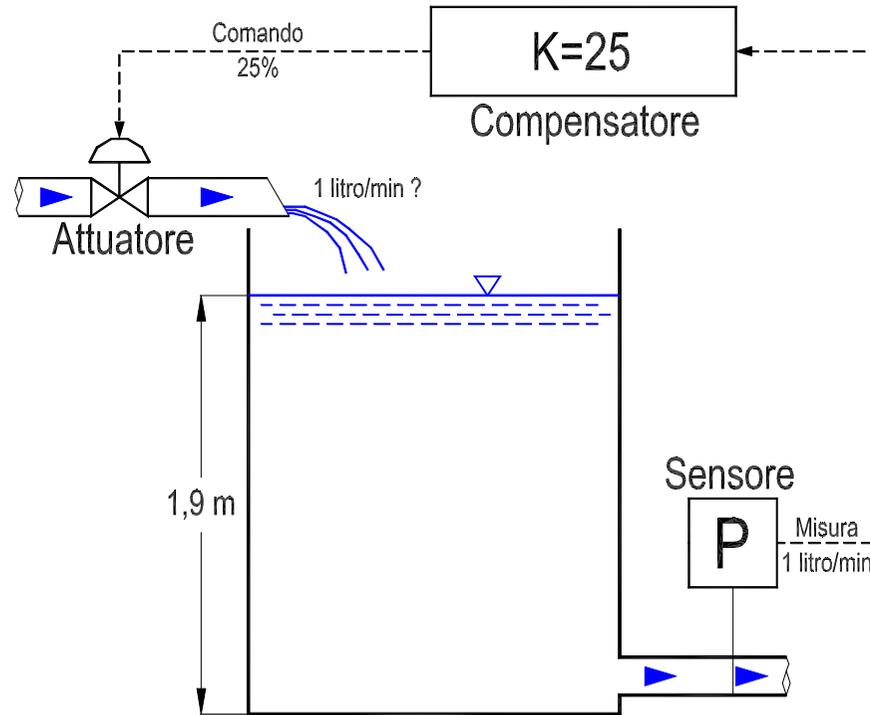


REGOLAZIONE DI ZONA
Esempio: cronotermostato unico
o per gruppi di locali
BUONO



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

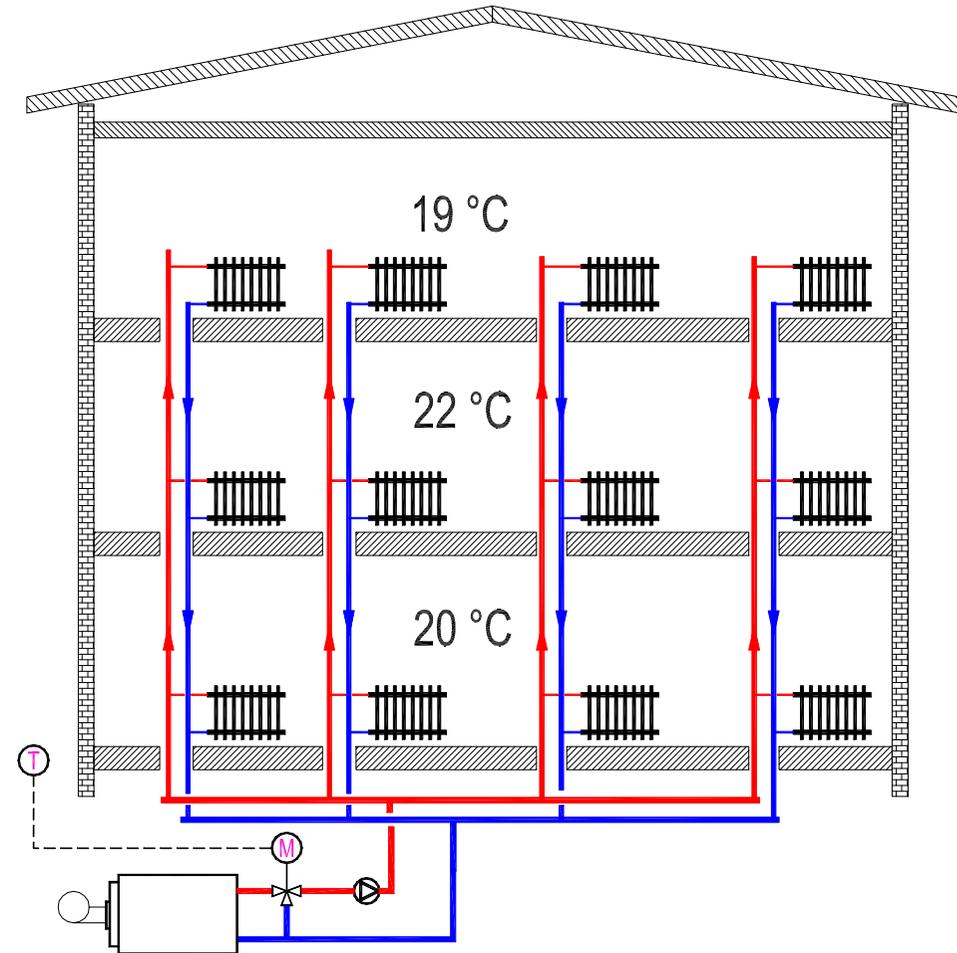
Centralina climatica con sonda esterna

Le dispersioni aumentano quando la temperatura esterna si abbassa

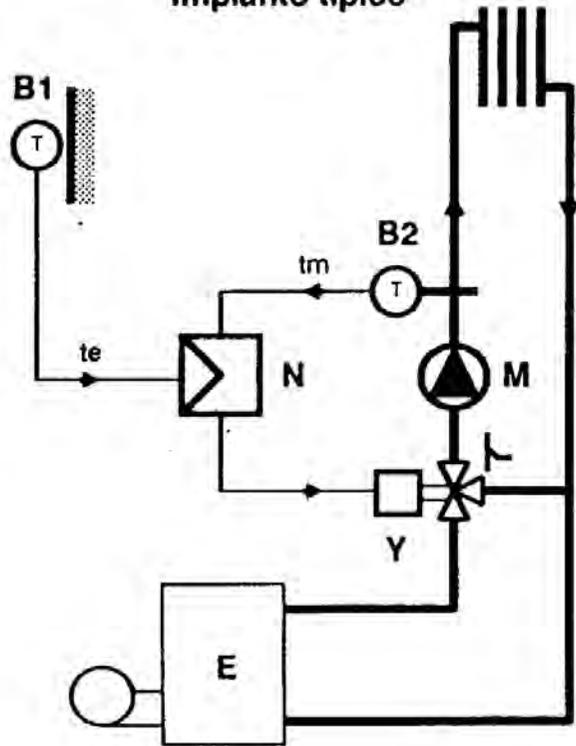
Misuro la temperatura esterna (sonda esterna)

Decido la temperatura di mandata («curva climatica»)

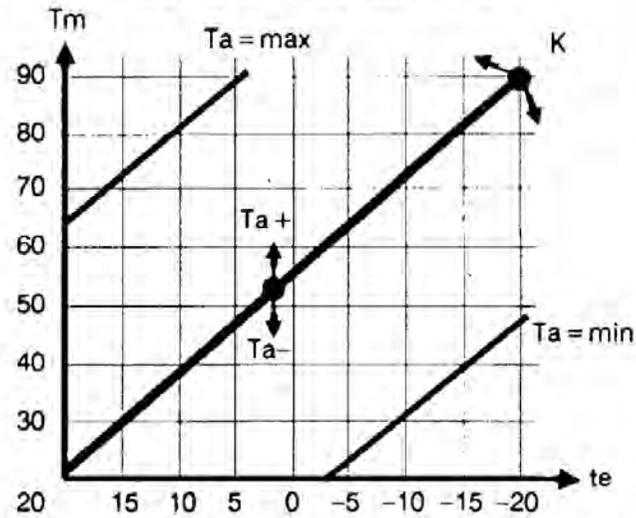
Regolo la temperatura di mandata (valvola miscelatrice)



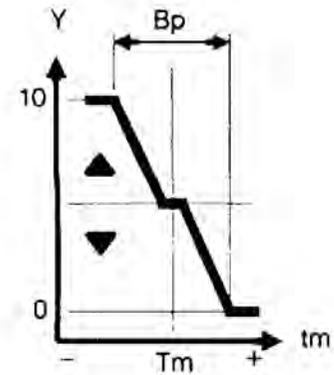
Impianto tipico



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 «centralina 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 ...**

Rendimento di regolazione : cosa fare

- **La funzione principale** è la **regolazione in funzione della temperatura ambiente**: deve sempre essere presente.
- **La funzione accessoria** è la compensazione climatica
- Migliorare la classe di regolazione: andare verso la regolazione locale per locale (valvole termostatiche o sonde che intervengono su testine elettrotermiche o su ulteriori organi di regolazione)

Nota Bene (Nel caso di edifici esistenti)

- La riduzione di consumi può essere inferiore al previsto perché la migliore regolazione comporta spesso un aumento del servizio (eliminazione delle utenze sfavorite)
- La riduzione può essere superiore al previsto in caso di forti sbilanciamenti iniziali
- Le valvole termostatiche sono sinergiche con le caldaie a condensazione
- La riduzione di portata e l'aumento del ΔT portano una riduzione dei consumi elettrici

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	$K=0,98$	$K=0,9$
Solo zona	On off	0,93	0,91	0,90
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,91
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,96
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,98
	PI o PID	0,995	0,99	0,99
Solo per singolo ambiente	On off	0,94	0,92	0,91
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,92
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,94
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,96	0,95
	PI o PID	0,99	0,97	0,97
Zona + climatica	On off	0,96	0,94	0,93
	P banda prop. 2 °C	0,96	0,95	0,93
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,95
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,96
	PI o PID	0,995	0,98	0,98
Per singolo ambiente + climatica	On off	0,97	0,95	0,93
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,97
	PI o PID	0,995	0,99	0,97

VECCHI IMPIANTI CENTRALIZZATI

IMPIANTO AUTONOMO, CALDAIA ATMOSFERICA

VENTILCONVETTORI

IMPIANTO AUTONOMO, PREMIX/CONDENSA

IMPIANTO CON TERMOSTATICHE

REGOLAZIONI PID CON TERMOSTATI ELETTRONICI

Rendimento di regolazione : cosa fare

- Il sistema di regolazione deve essere progettato in funzione del tipo di emettitore:



VENTILCONVETTORI



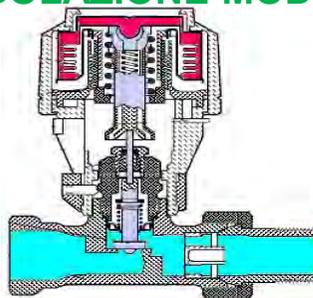
REGOLAZIONE ON-OFF

VALVOLA A DUE VIE + TERMOREGOLATORE



RADIATORI

REGOLAZIONE MODULANTE



VALVOLA TERMOSTATICA A GAS

In alternativa termostato ambiente e testina elettrotermica su collettore di distribuzione (meno efficace della valvola elettrotermica per regolazione on-off)

Che cos'è una valvola termostatica?

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



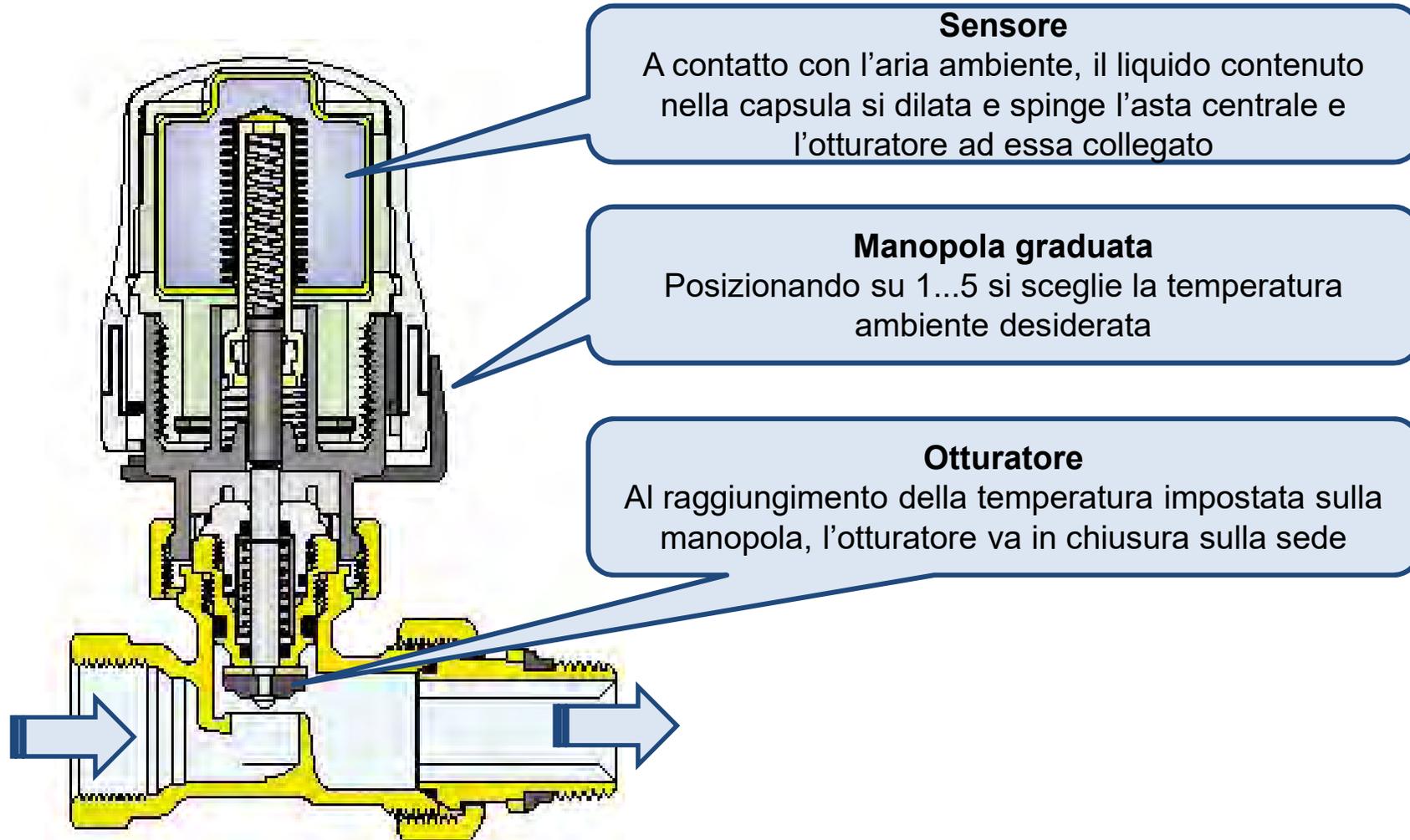
Una volta trovata la posizione (tipicamente 2...4) nella quale si ottiene la temperatura ambiente desiderata, non la si deve più toccare

... 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

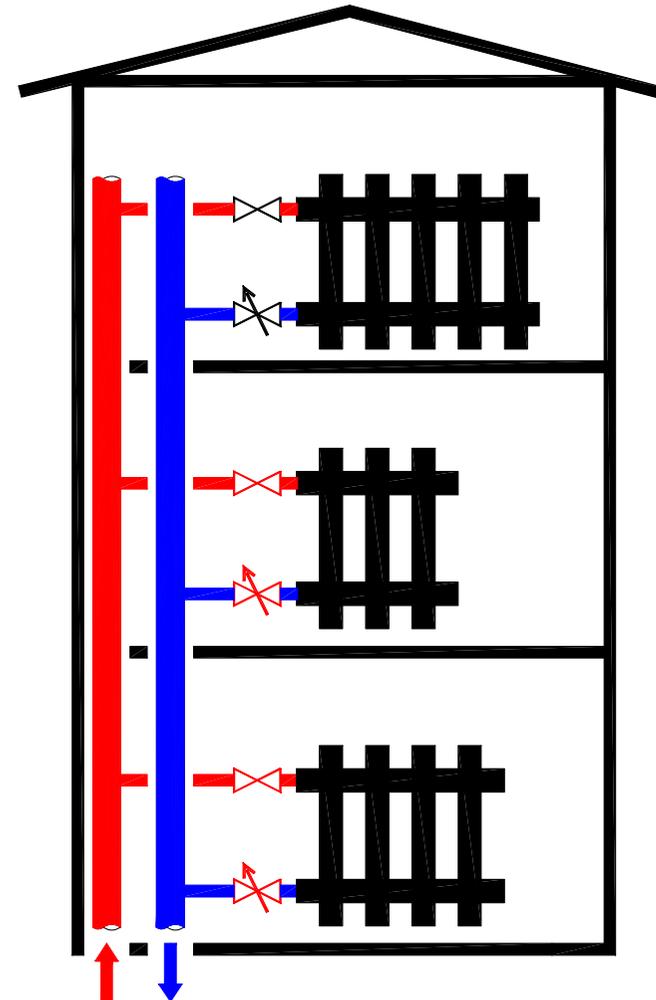
- **L'apertura dell'otturatore è proporzionale alla differenza fra:**
 - Temperatura impostata dall'utente sulla ghiera
 - Temperatura ambiente misurata
 - Quando la temperatura ambiente è uguale alla temperatura impostata sulla ghiera, la valvola termostatica è completamente chiusa
- **Caratteristiche 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



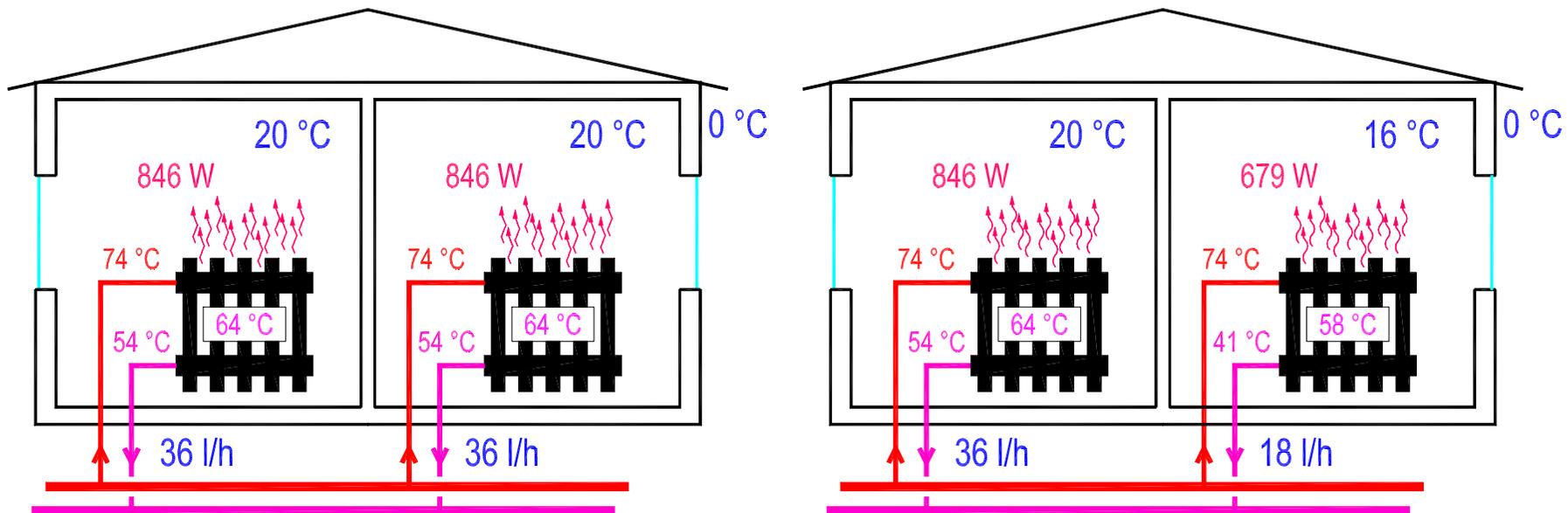
Bilanciamento

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?



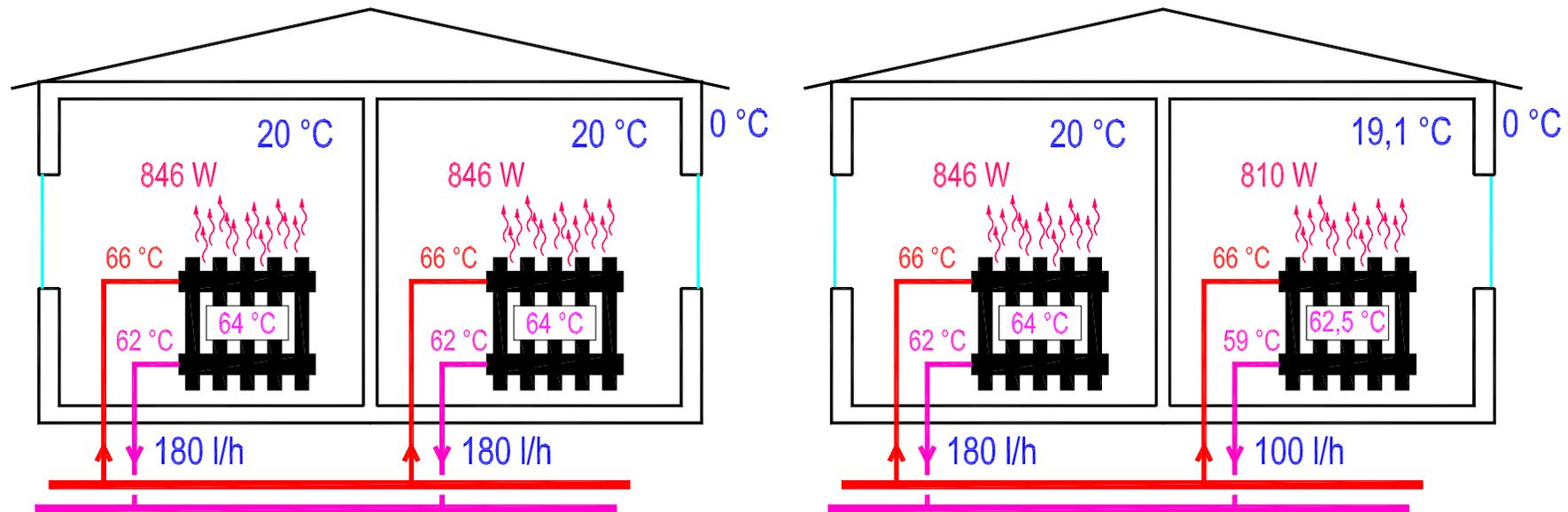
Bilanciamento corretto



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

Questo spiega le portate mostruose fino ad oggi utilizzate

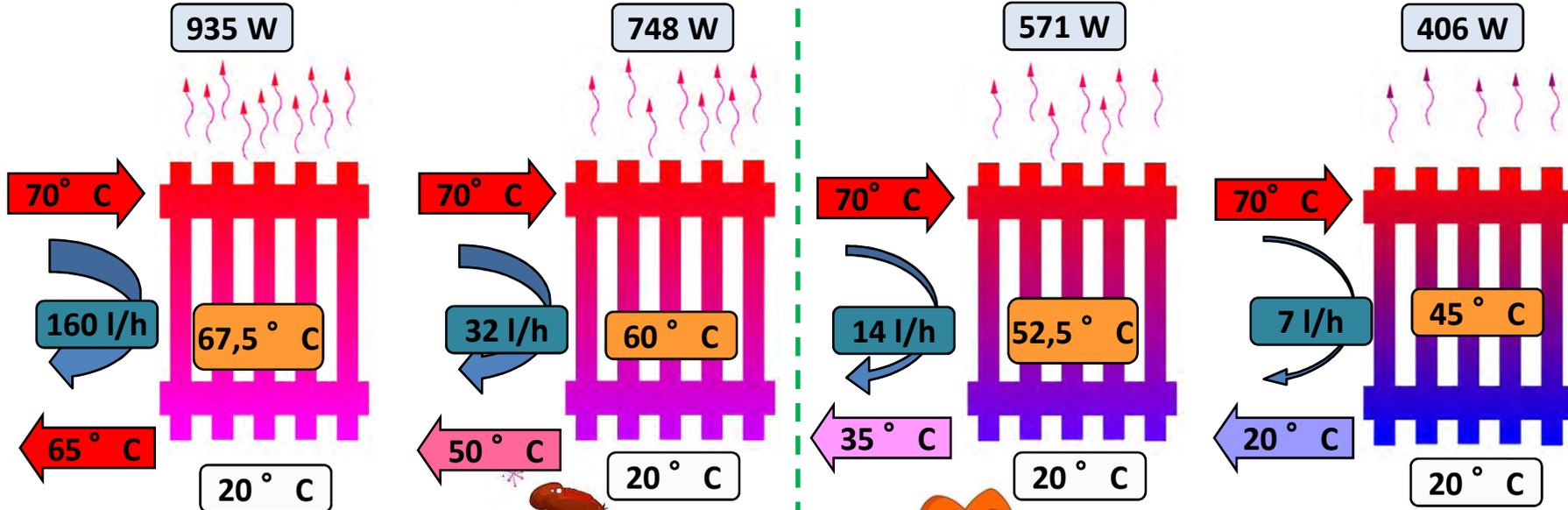
Bilanciamento all'italiana



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

Effetto della termostatica

RADIATORE DA 1000 W NOMINALI



Sono belli caldi sopra e sotto
la termovalvola
FUNZIONA BENE

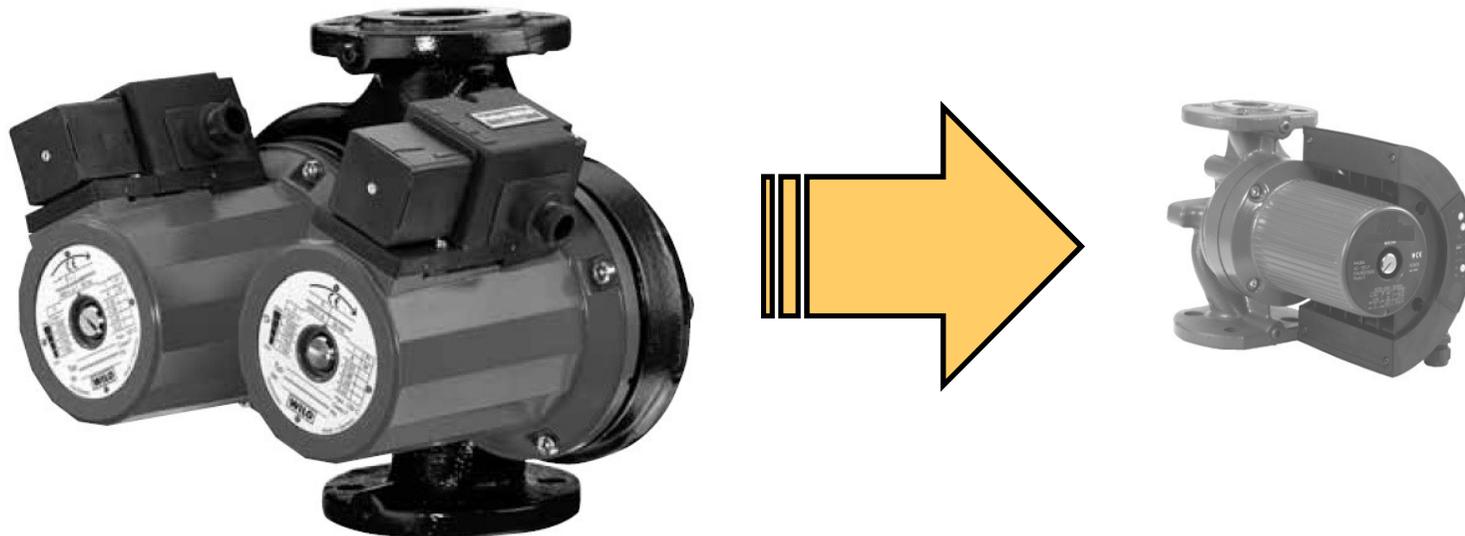


Sopra è bollente
Sotto è freddo
la termovalvola
NON FUNZIONA

Chi delle due ha ragione ?

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**



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**

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
 - Tamb = 19 °C in condizioni di progetto (-5 °C esterno)
 - Tamb = 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

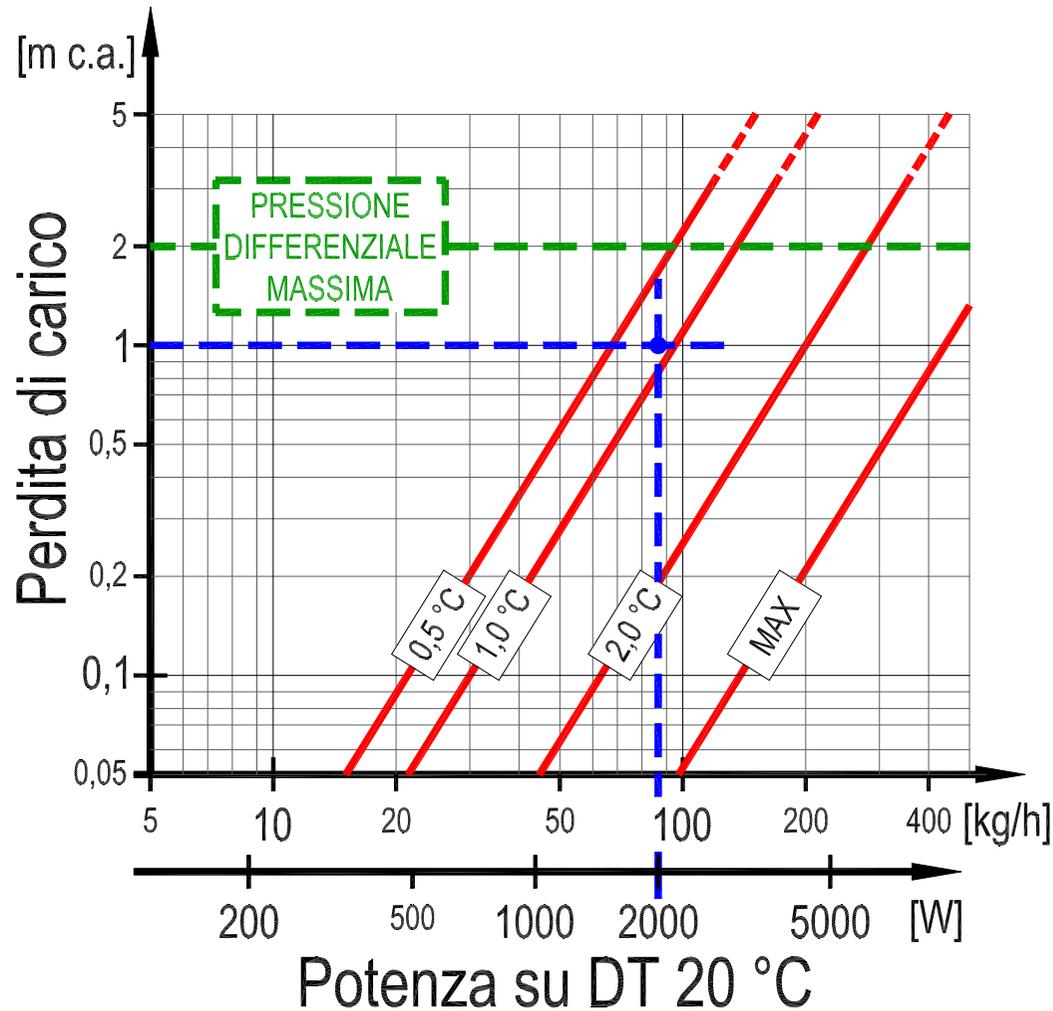
Stabilità della regolazione

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

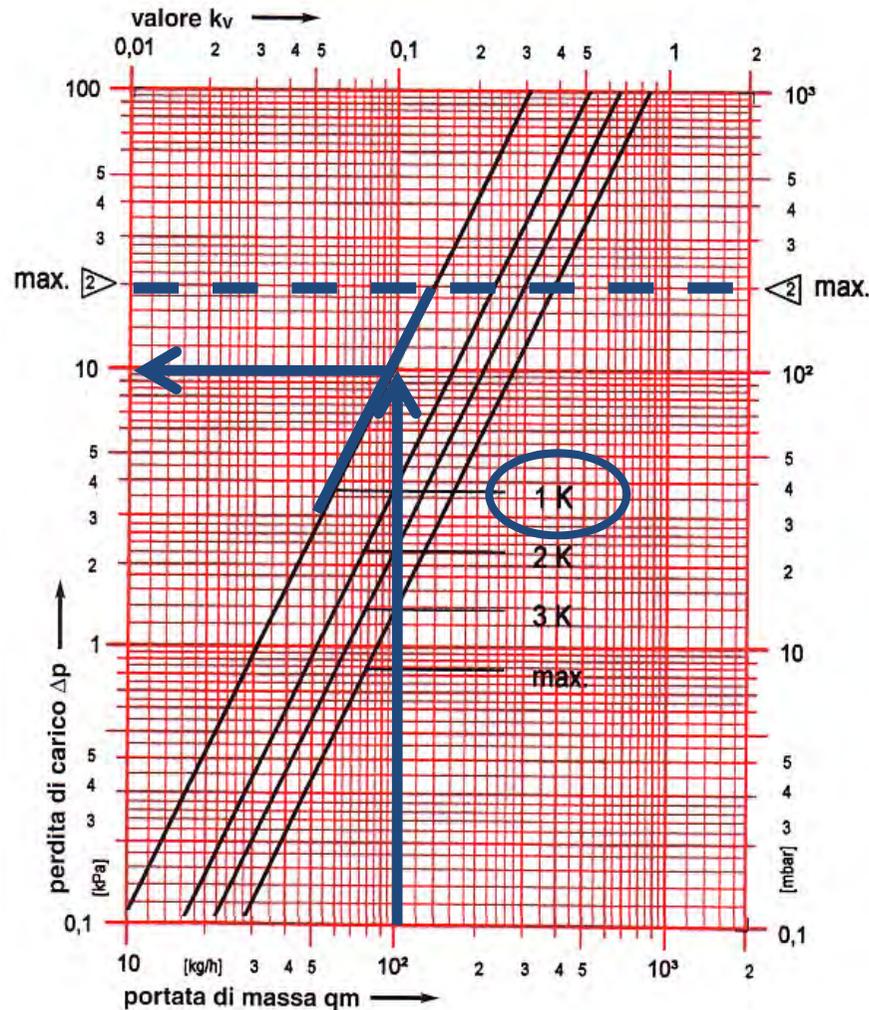
$\Delta T = 20^\circ C$

Portata = 86 kg/h

Prevalenza = 1 m c.a.

BP = $1,0^\circ C$

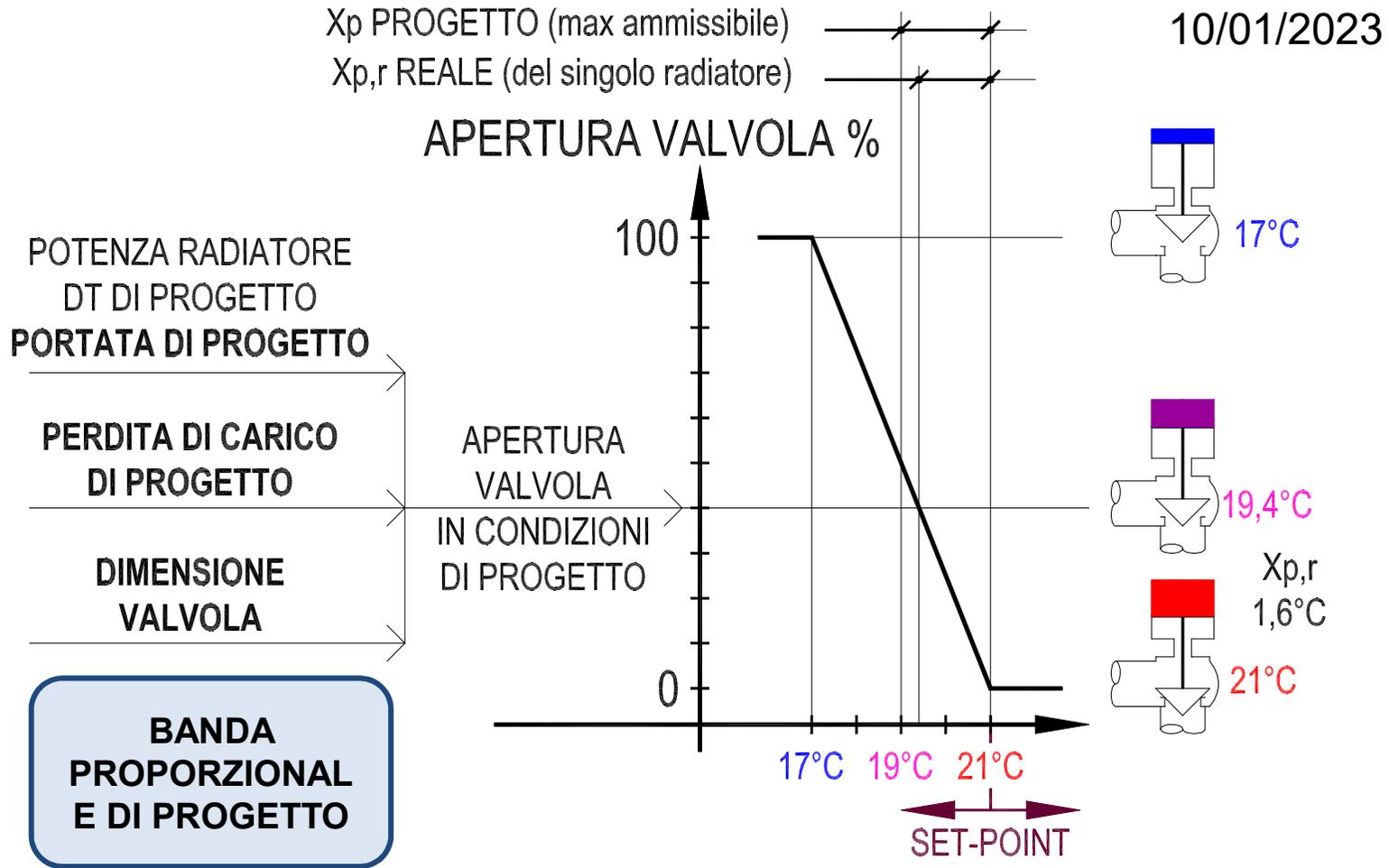
OK

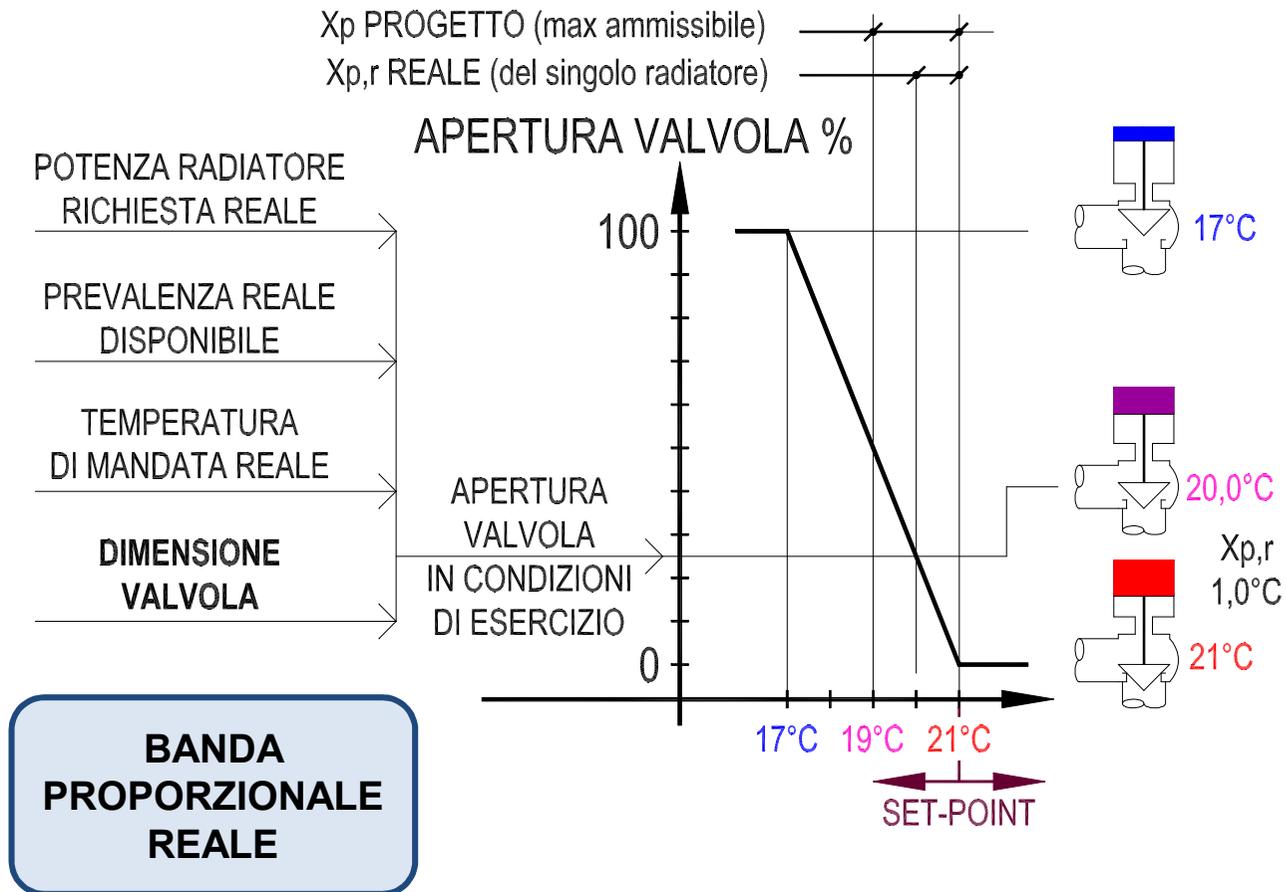


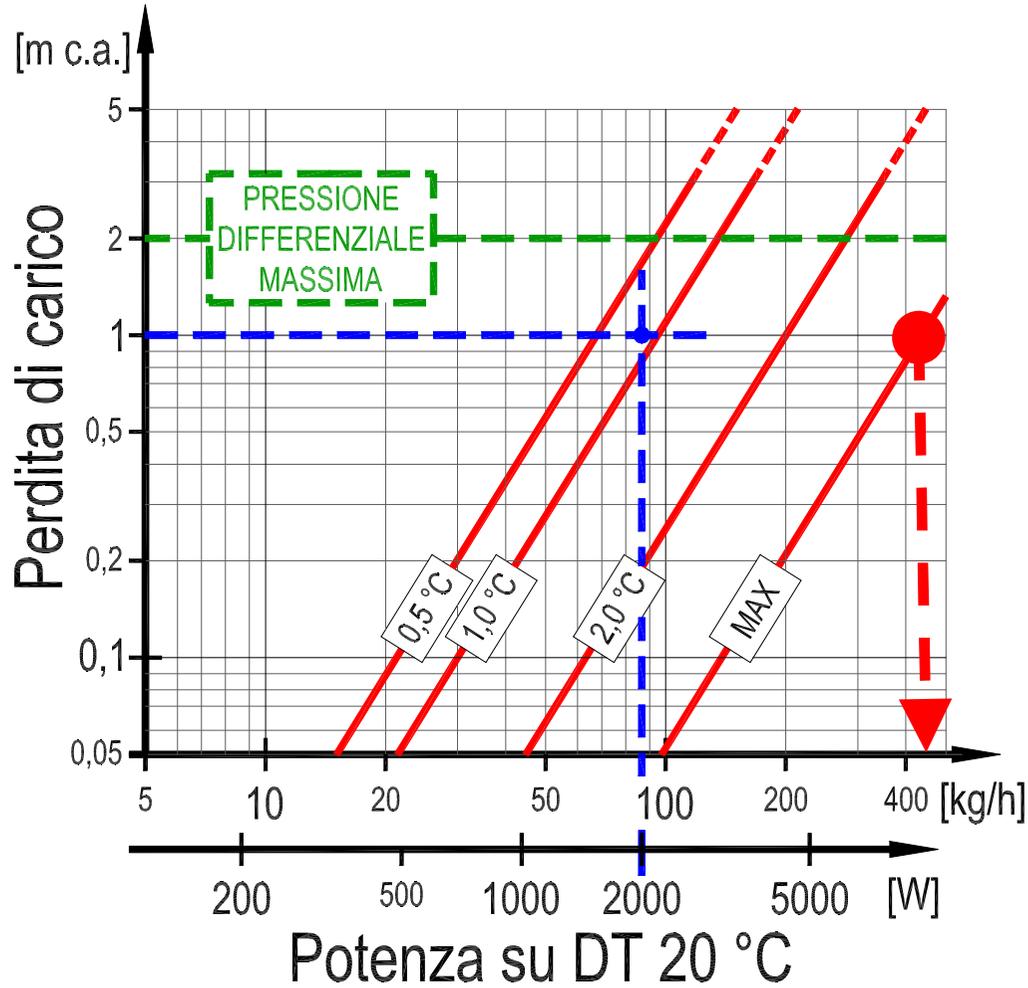
Verifica del punto di lavoro della valvola

Diagramma portata/prevalenza in funzione della differenza (banda proporzionale) fra

- temperatura ambiente desiderata (set)
- temperatura ambiente effettiva in condizioni di progetto







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

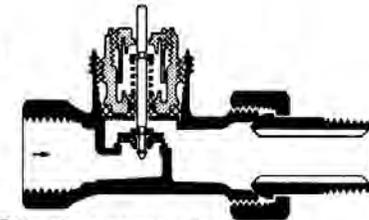
**CORTO
CIRCUITO
IDRAULICO !**

Prerregolazione

La **prerregolazione** 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



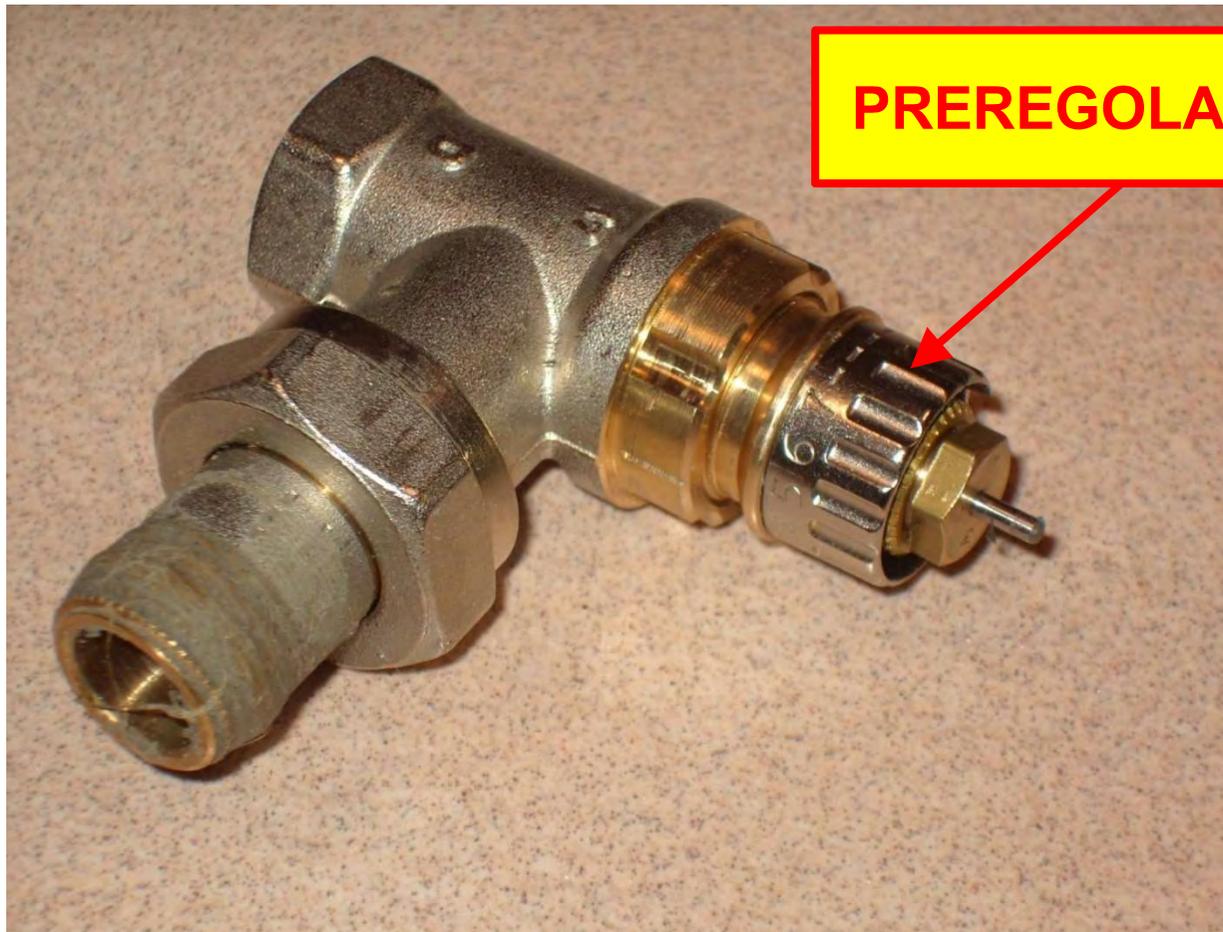
Regolazione del KV



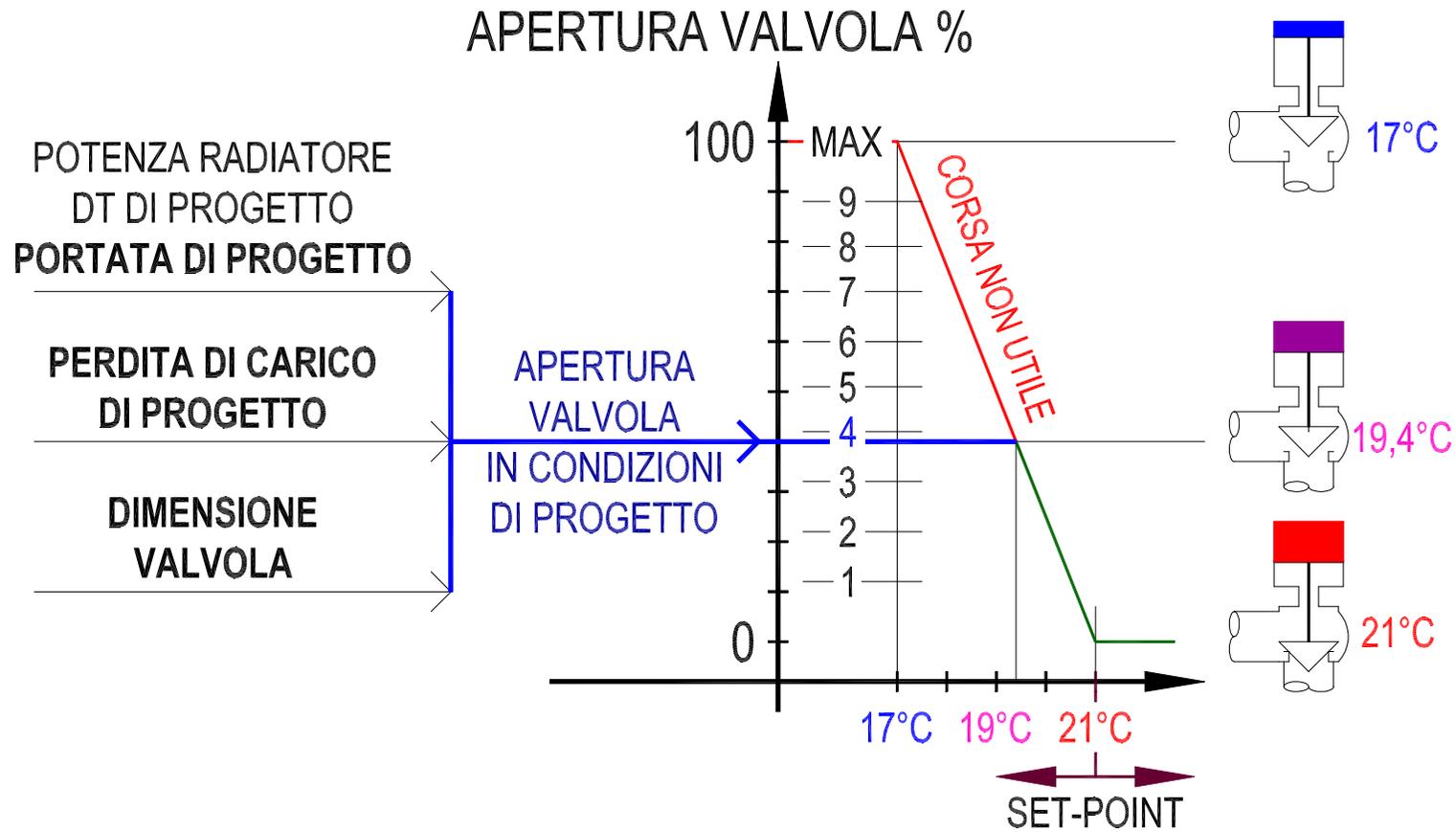
Otturatore sagomato

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

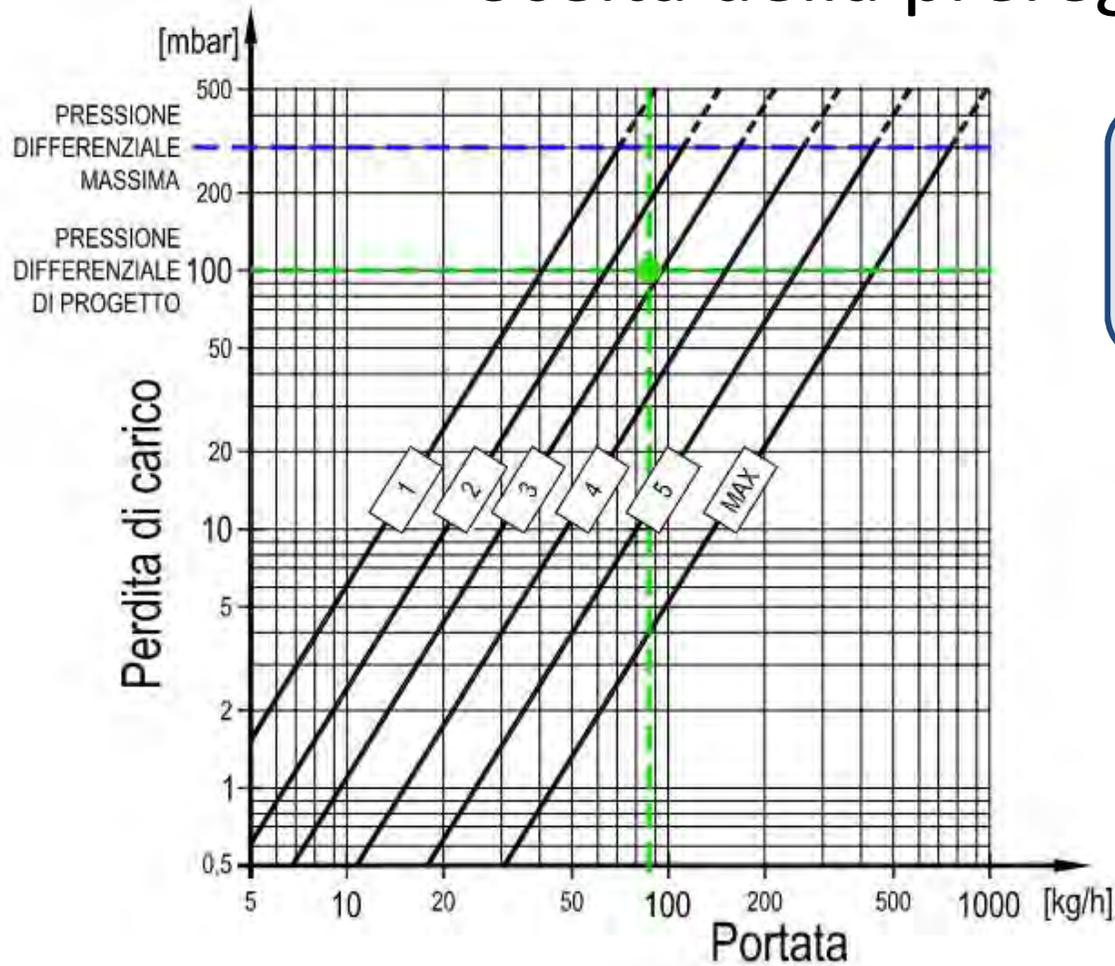
In funzionamento, ogni radiatore dispone sempre della portata di progetto. Di più non serve!!



PREREGOLAZIONE

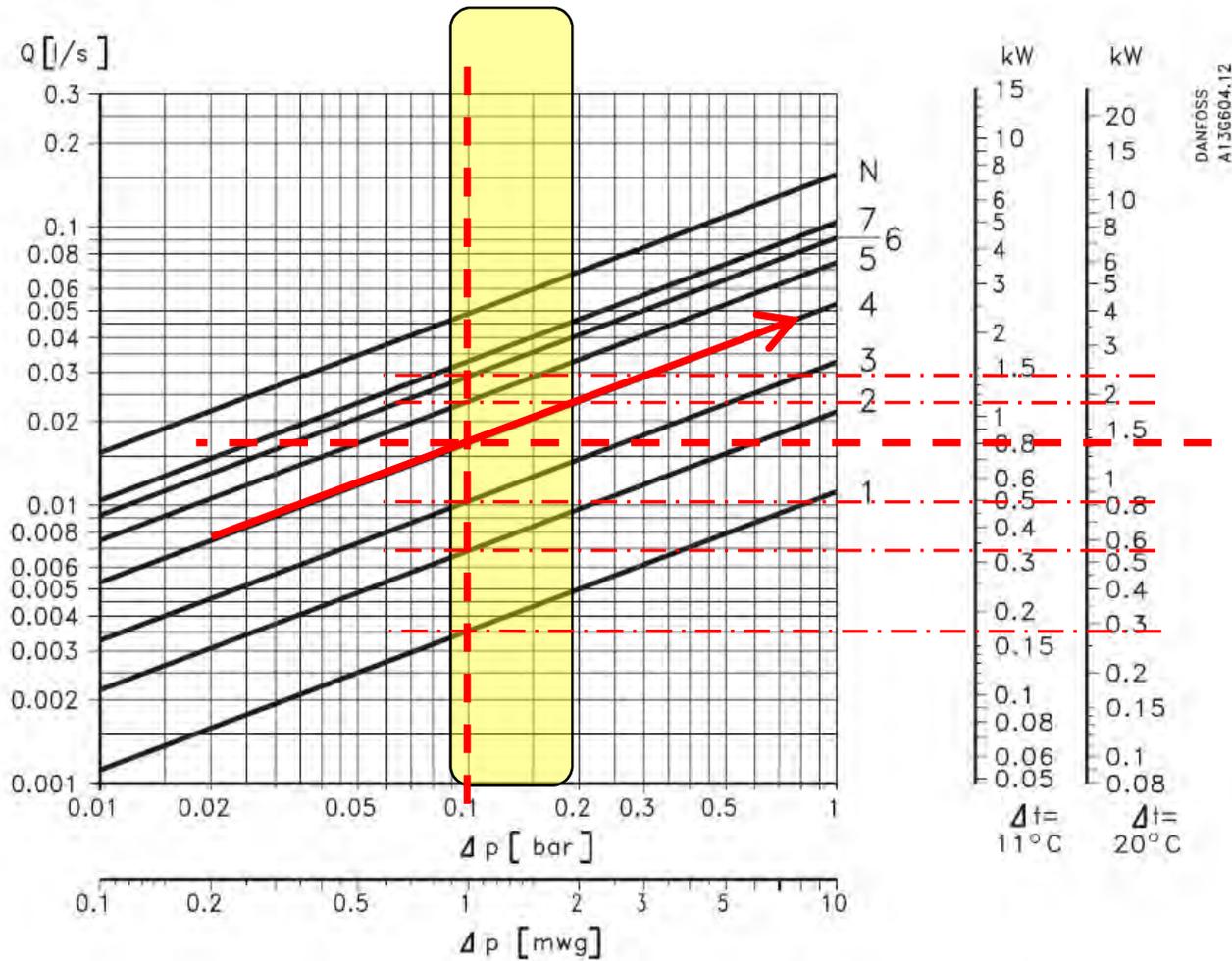


Scelta della preregolazione



SCELTA DELLA PREREGOLAZIONE

RA-N 10, R_p 3/8 connection

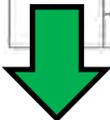


NEGLI IMPIANTI CENTRALIZZATI OGNI RADIATORE DEVE AVERE UNA PERDITA DI CARICO COSTANTE INDIPENDENTEMENTE DALLA PORTATA TEORICA DI PROGETTO



Sono necessari corpi valvola con k_v regolabili. Alla portata di progetto la perdita di carico deve essere la stessa in ogni corpo scaldante per poter equilibrare il sistema

Type	Design	Pre-setting								k_{vs}
		$k_{v-max}^{(2)}$ (m ³ /h at $\Delta p = 1$ bar)								
		1	2	3	4	5	6	7	N	N
RA-N 15	Angle, F									
	Straight, F									
	Angle, D	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.43	0.52	0.73	0.90
	Straight, D									
	Horiz. angle, D									



Valvola diametro 1/2"



8 gradi di preregolazione

$\Delta P=10$ kPa (0,1 bar) $\Delta T=18$ K

Potenza W	$Q_{teorica}$ l/h	K_v necessario	Prereg.	$Q_{progetto}$
600	28,67	0,0906	2	28,46
2200	105,11	0,3323	5	113,84
1600	76,44	0,2417	4	79,06



Dispositivo di preregolazione

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

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

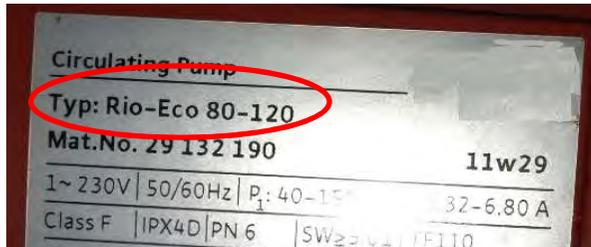
ATTENZIONE AI GRUPPI DI POMPAGGIO

Osservare bene cosa troviamo nella centrale di produzione calore

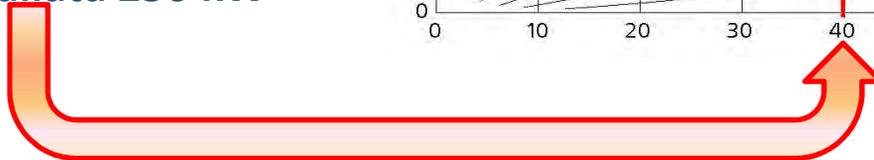
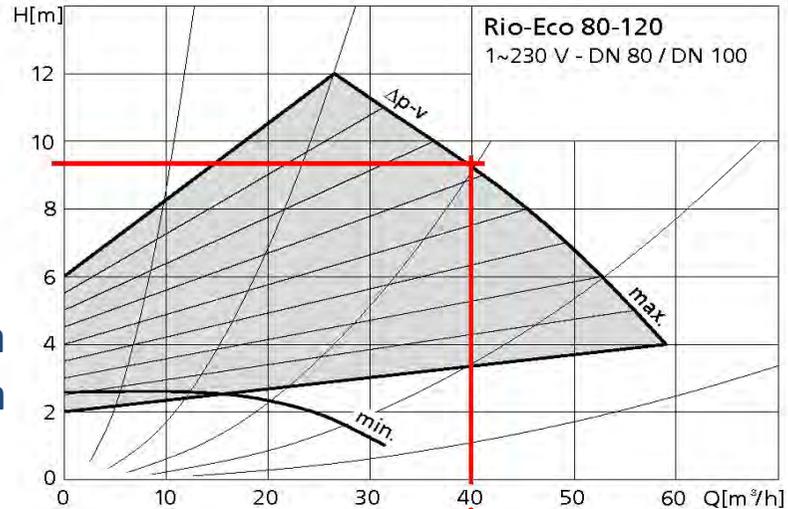
LE PORTATE NOMINALI

Negli impianti esistenti le portate nominali fanno riferimento (nel migliore dei casi) a salti termici di max 10 ° C, di norma 80-70 ° C

Si riscontrano sovente gruppi di pompaggio con prevalenze prossime a 1 bar (10 m di colonna d'acqua), purtroppo già di tipo elettronico adducendo (erroneamente) la compatibilità con i dispositivi di termoregolazione



Condominio di 42 unità immobiliari. Potenza termica radiante installata 250 kW



LA MASSIMA PRESSIONE DIFFERENZIALE

Type	Design	Connections		Pre-setting									Max. work. press. bar	Max. diff. ²⁾ press. bar	
		Inlet Rp	Outlet R	k _v -max. ¹⁾ (m ³ /h at Δp = 1 bar)											k _{vs} N
				1	2	3	4	5	6	7	N	N			
RA-N 10	Angle	3/8	3/8	0.04	0.08	0.12	0.19	0.25	0.33	0.38	0.56	0.65	10	0.6	
	Straight	3/8	3/8	0.04	0.08	0.12	0.19	0.25	0.33	0.38	0.56	0.65	10	0.6	
	Horiz. angle	3/8	3/8	0.04	0.08	0.12	0.19	0.25	0.33	0.38	0.56	0.65	10	0.6	
	Right angle	3/8	3/8	0.04	0.08	0.12	0.19	0.25	0.33	0.38	0.56	0.65	10	0.6	
	Left angle	3/8	3/8	0.04	0.08	0.12	0.19	0.25	0.33	0.38	0.56	0.65	10	0.6	
RA-N 15	Angle	1/2	1/2	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.43	0.52	0.73	0.90	10	0.6	
	Straight	1/2	1/2	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.43	0.52	0.73	0.90	10	0.6	
	Horiz. angle	1/2	1/2	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.43	0.52	0.73	0.90	10	0.6	
	Right angle	1/2	1/2	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.43	0.52	0.73	0.90	10	0.6	
	Left angle	1/2	1/2	0.04	0.09	0.16	0.25	0.36	0.43	0.52	0.73	0.90	10	0.6	

Attenzione alle note (in tutti i sensi)

La pressione differenziale massima specificata è la pressione massima a cui le valvole garantiscono una soddisfacente capacità di regolazione. Come con qualsiasi dispositivo che impone una caduta di pressione nel sistema, il rumore può verificarsi in determinate condizioni di flusso / pressione. Per garantire un funzionamento silenzioso, la caduta di pressione massima non deve superare 30 a 35 kPa (e anche meno)

10/01/2023

L'IMPIANTO TIPICO DI UN COMPLESSO RESIDENZIALE

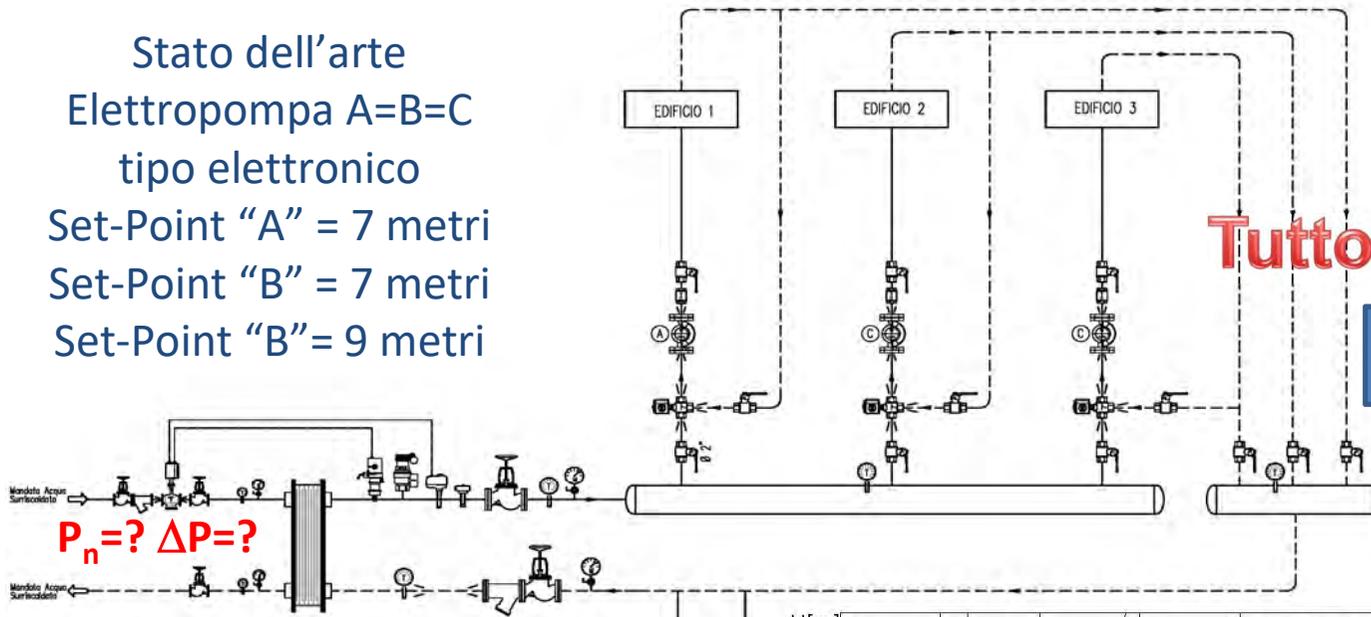


ALLACCIO AL TELERISCALDAMENTO

126 Unità immobiliari suddivise su 9 numeri civici – 14 unità immobiliari ogni numero civico. Sottostazione di scambio termico quasi baricentrica

10/01/2023

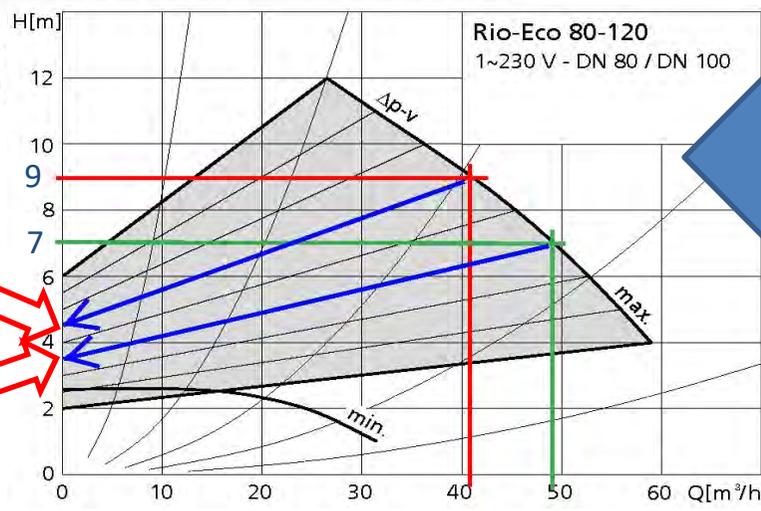
Stato dell'arte
Elettropompa A=B=C
tipo elettronico
Set-Point "A" = 7 metri
Set-Point "B" = 7 metri
Set-Point "B" = 9 metri



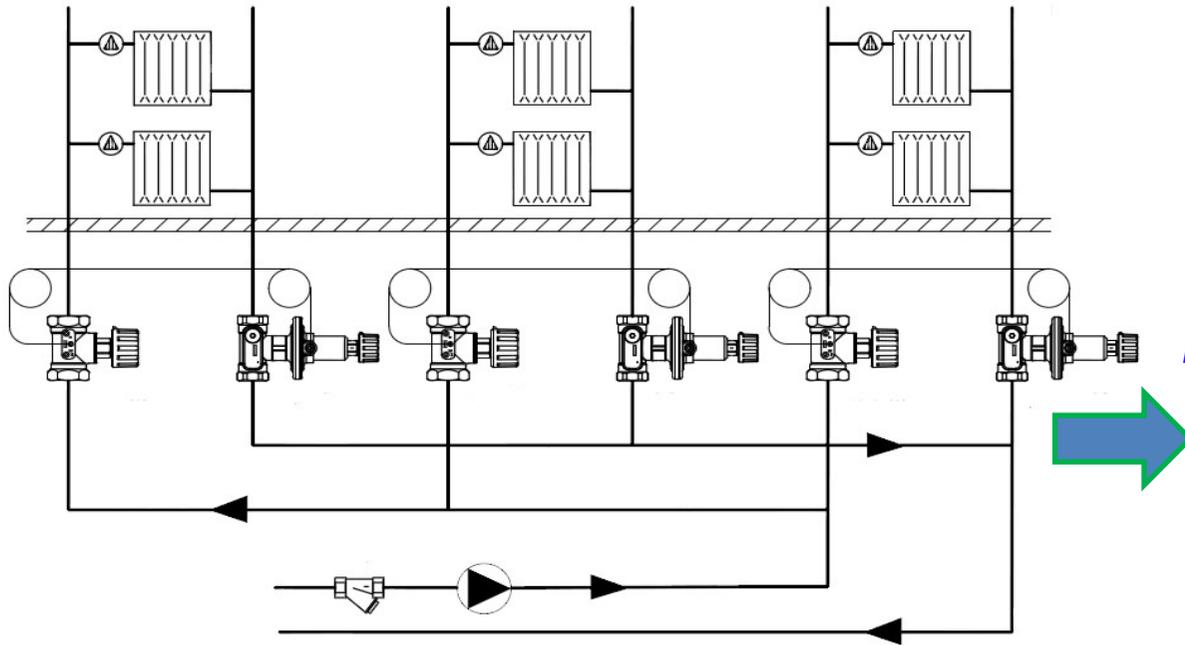
Tutto perfetto ?



45 kPa
35 kPa



**In presenza di elevati valori di pressione differenziale sugli emettitori
Valvole di regolazione della pressione differenziale**

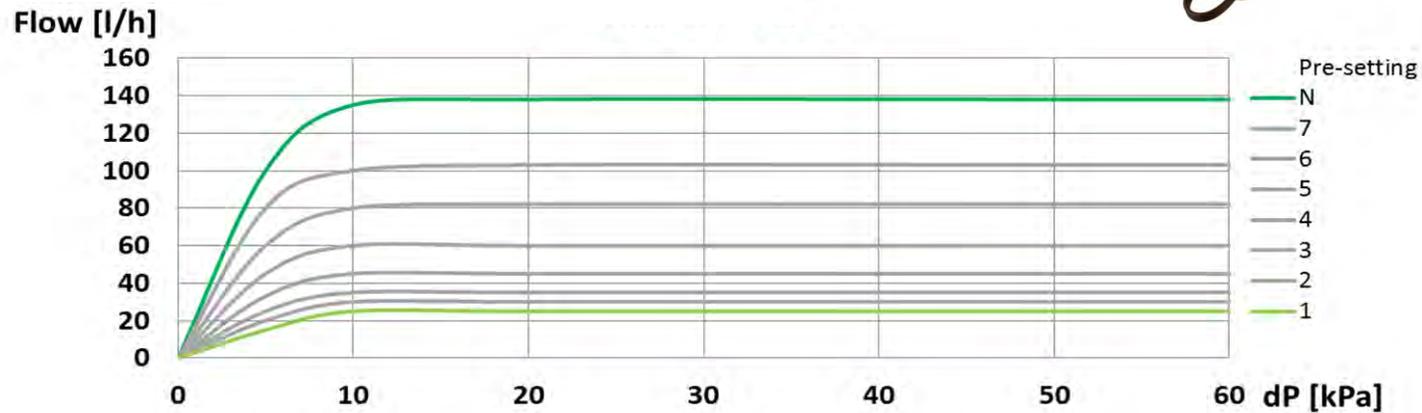


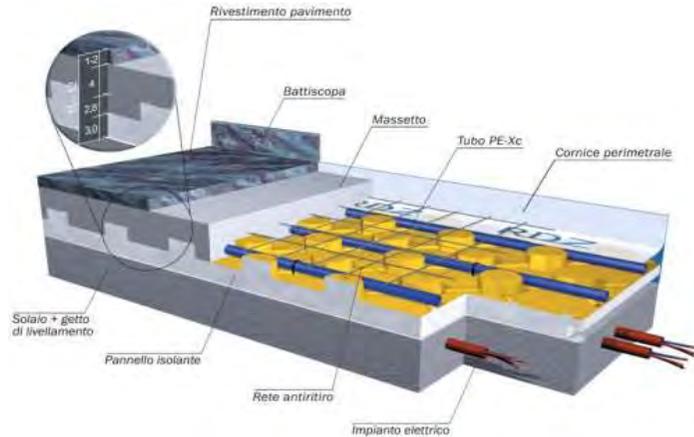
*Il tecnico abilitato
dimensiona per ogni
colonna montante
una valvola di
pressione differenziale*

**Costi elevati – difficoltà di installazione
QUALE ALTERNATIVA ?**

10/01/2023

FARE UTILIZZO DI VALVOLE TERMOSTATICHE CON DISPOSITIVO DI BILANCIAMENTO DINAMICO



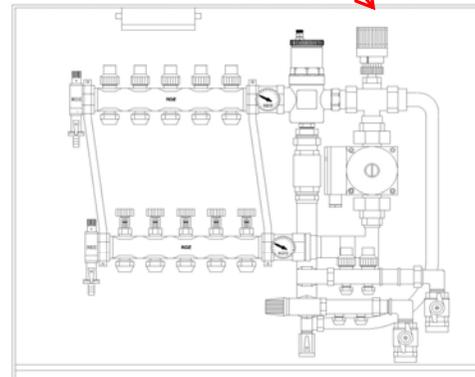


RISCALDAMENTO A PAVIMENTO

REGOLAZIONE A PUNTO FISSO E TERMOSTATI AMBIENTE ON-OFF

Sconsigliato a causa della elevata inerzia di risposta del massetto galleggiante decine di minuti. Problemi di comfort ed elevate bande proporzionali di temperatura, meglio impianto a radiatori. Può essere considerato accettabile in applicazioni industriale e terziario

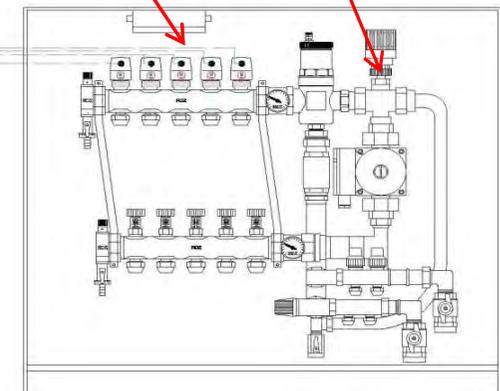
Valvola mix termostatica autoazionata



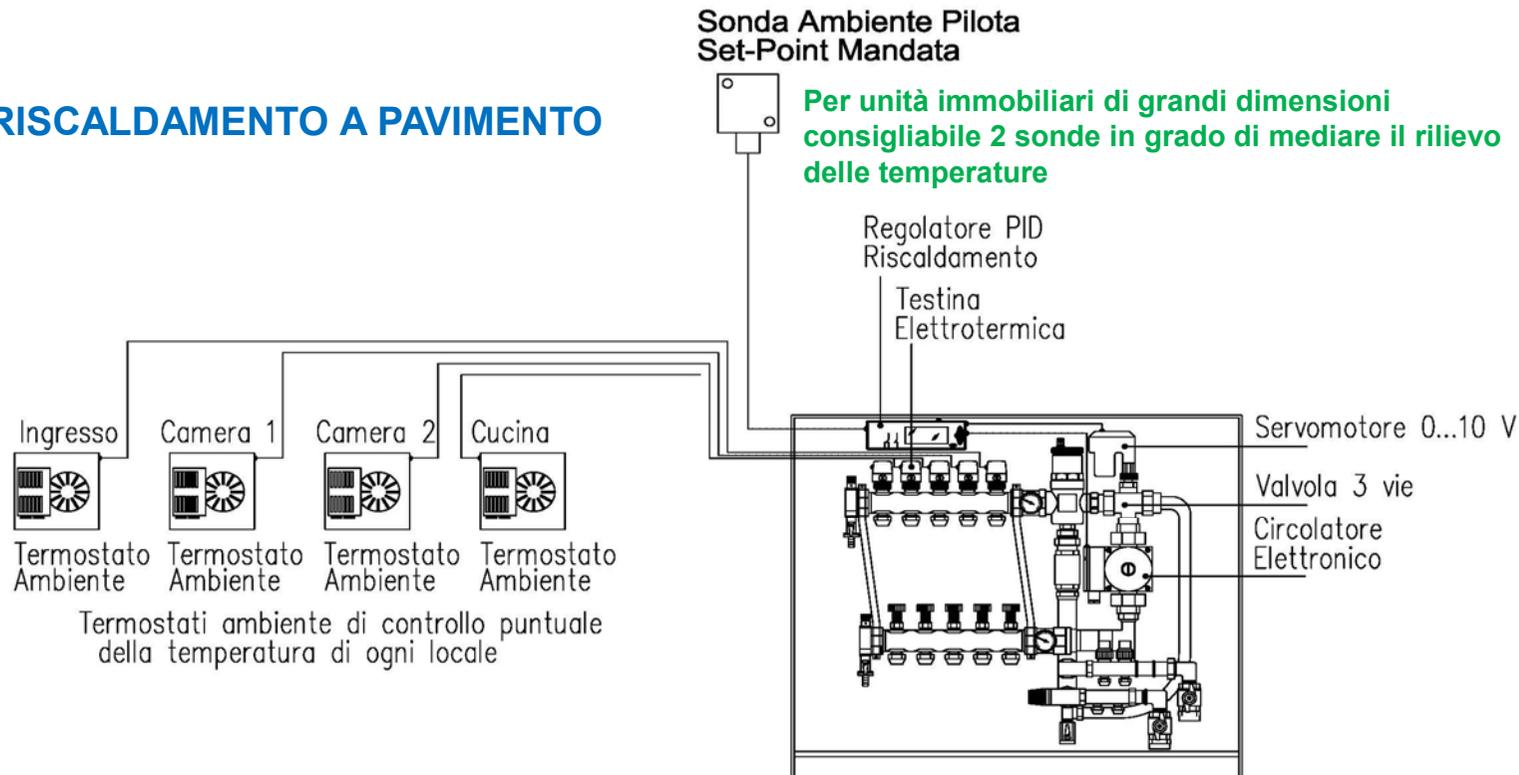
REGOLAZIONE A PUNTO FISSO

Fortemente sconsigliata, problemi nel mantenimento della temperatura ambiente nei singoli locali, nessun vantaggio su apporti gratuiti, meglio un impianto a radiatori. Potrebbe andare bene in mansarde open space con pochi serramenti e controllo termostatico sulla pompa di circolazione

Valvola mix termostatica autoazionata



RISCALDAMENTO A PAVIMENTO

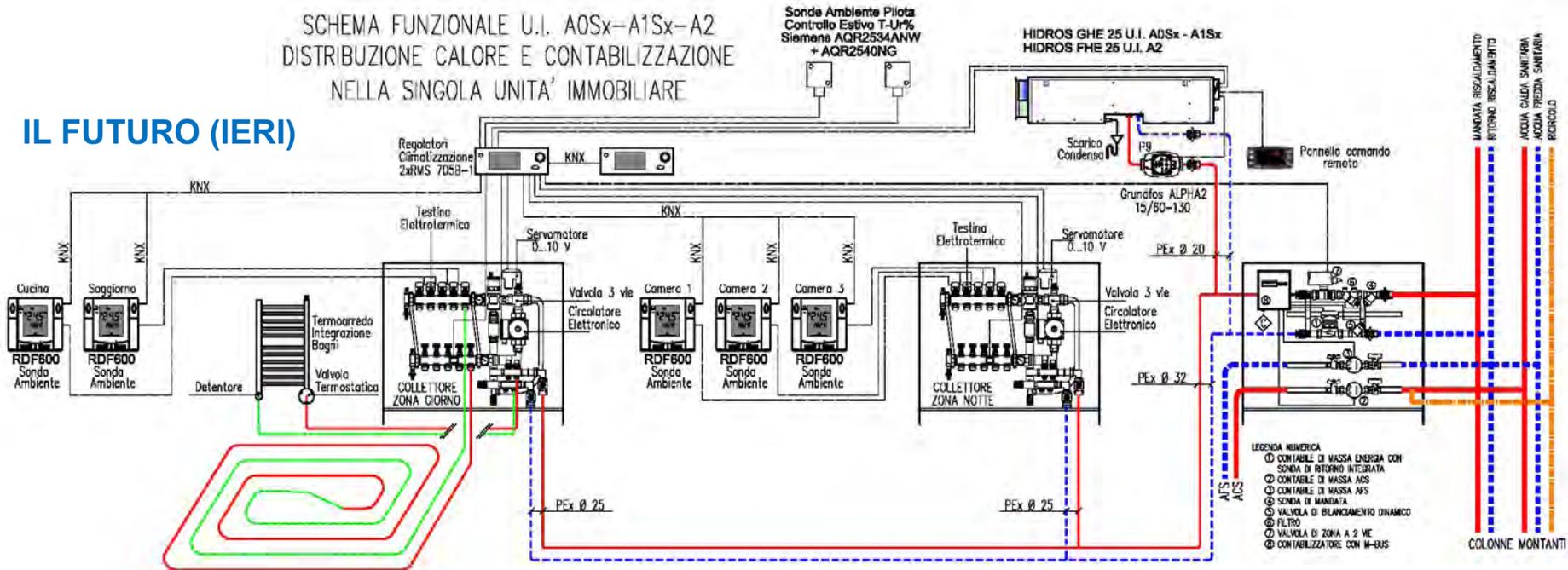


REGOLAZIONE CON SONDA AMBIENTE, REGOLATORE PID E TERMOSTATI AMBIENTE ON-OFF

Attualmente il miglior compromesso nel rapporto qualità/prezzo della regolazione e tempi di risposta. La sonda pilota e il regolatore PID anticipano le variazioni della temperatura ambiente modificando il SET-POINT della temperatura di mandata al pavimento, le testine elettrotermiche intervengono unicamente in caso di apporti gratuiti da sfruttare

SCHEMA FUNZIONALE U.I. A0Sx-A1Sx-A2 DISTRIBUZIONE CALORE E CONTABILIZZAZIONE NELLA SINGOLA UNITA' IMMOBILIARE

IL FUTURO (IERI)

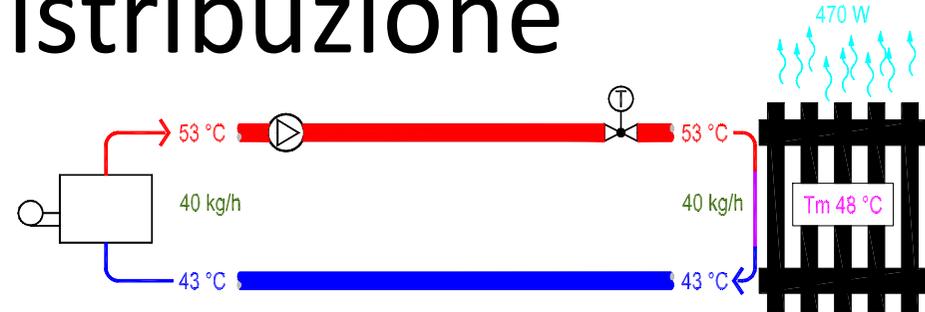


REGOLAZIONE CON SONDE AMBIENTE CON PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE , REGOLATORE PID CON PROTOCOLLO DI COMUNICAZIONE

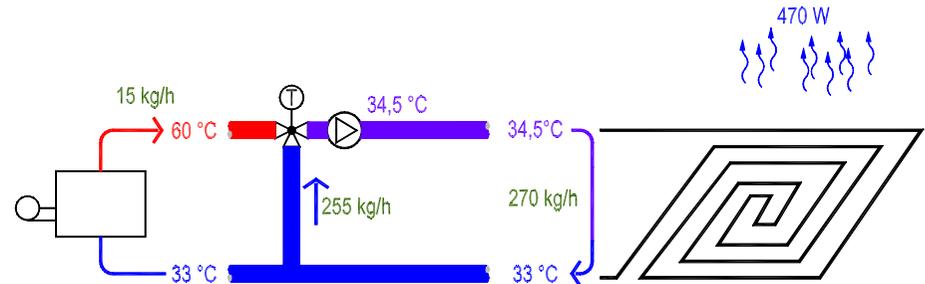
Il miglior sistema ai fini dell'ottimizzazione dell'impianto e la qualità della regolazione e dei tempi di risposta. Ogni sonda comunica i propri dati al regolatore PID il quale stabilisce le priorità anticipano le variazioni della temperatura ambiente modificando il SET-POIN della temperatura di mandata al pavimento, le testine elettrotermiche intervengo unicamente in caso di apporti gratuiti da sfruttare o quale limite di massima temperatura

Circuiti di distribuzione

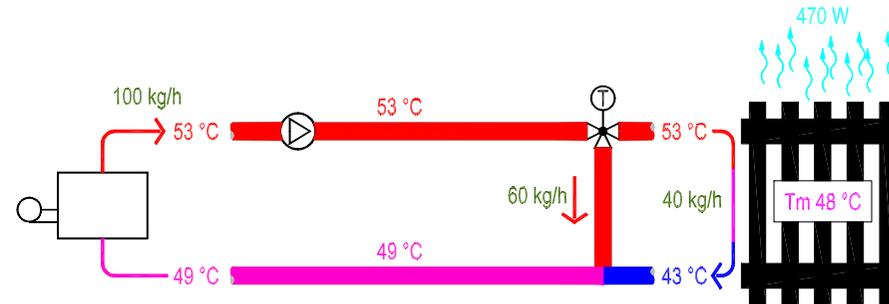
- **Circuito diretto**
Utilizzato per l'utenza a temperatura più alta



- **Circuito miscelato**
Utilizzato per le utenze a temperatura inferiore a quella di mandata

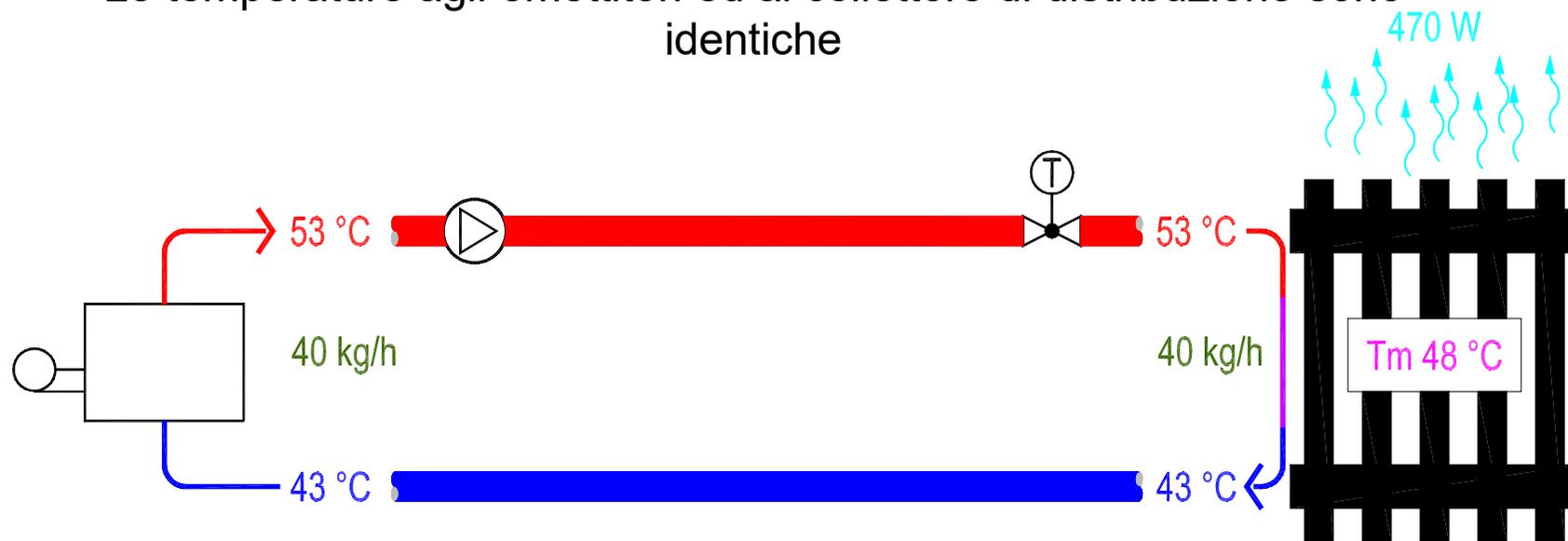


- **Circuito a by-pass**
L'utenza lavora a temperatura di mandata uguale al generatore ed a portata variabile. Utilizzato per garantire la portata (Di rara applicazione).



Circuito di distribuzione diretto.

Le temperature agli emettitori ed al collettore di distribuzione sono identiche

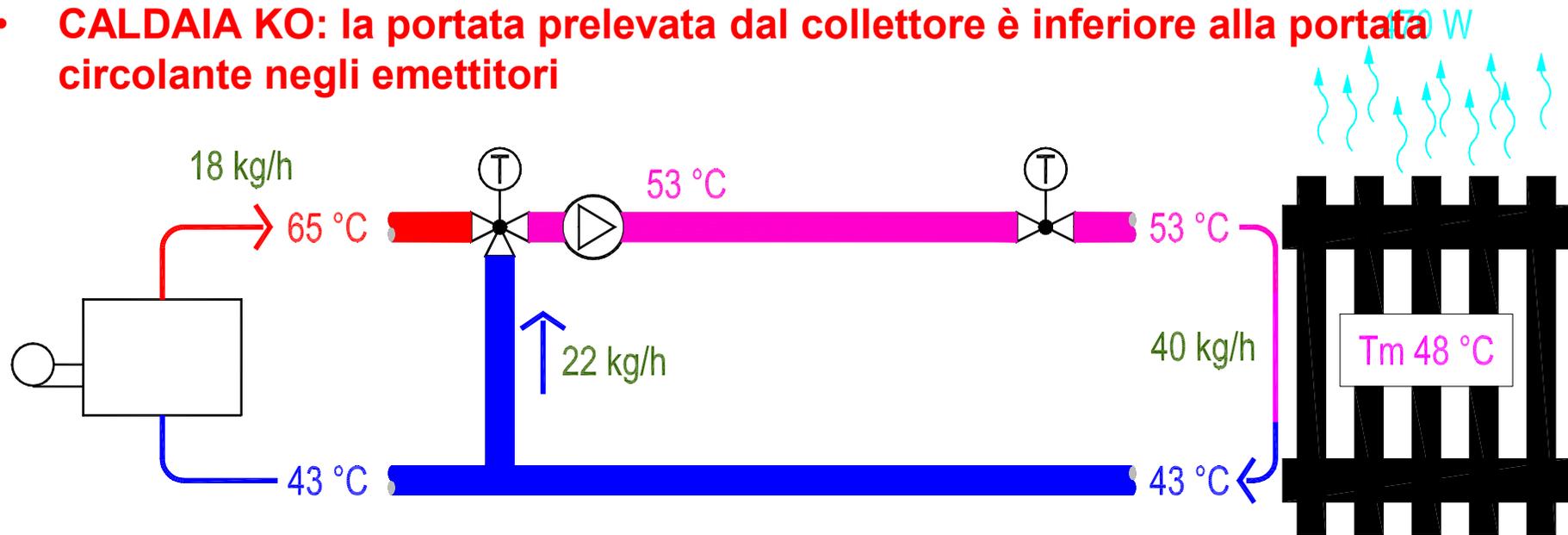


👍: Condensazione OK

👎: Possibile 1 sola temperatura di mandata per tutte le utenze

Circuito di distribuzione a miscelazione

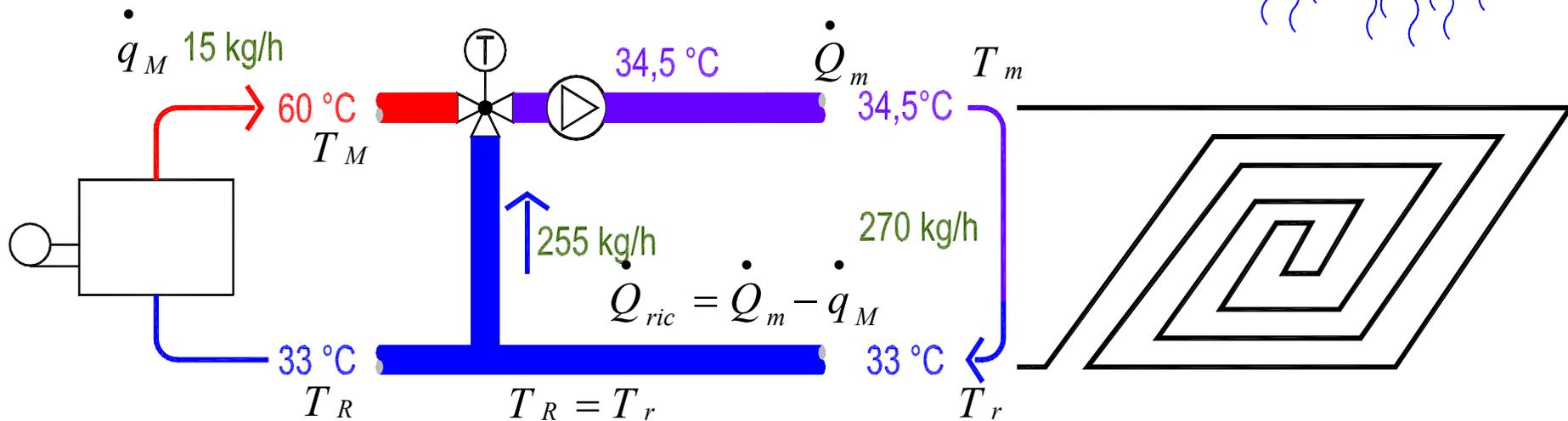
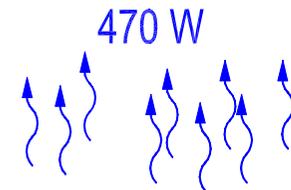
- La temperatura di mandata agli emettitori è inferiore alla temperatura di mandata dal collettore
- **CONDENSAZIONE OK:** la temperatura di ritorno al collettore è uguale alla temperatura di ritorno dagli emettitori
- **CALDAIA KO:** la portata prelevata dal collettore è inferiore alla portata circolante negli emettitori



RISCALDAMENTO A PAVIMENTO – CIRCUITO A DISTRIBUZIONE MISCELATO

Quando si interpone una valvola miscelatrice sull'alimentazione di un pannello, come carico per il generatore non c'è più alcuna differenza rispetto ad un radiatore. Anzi il ΔT è sicuramente elevato.

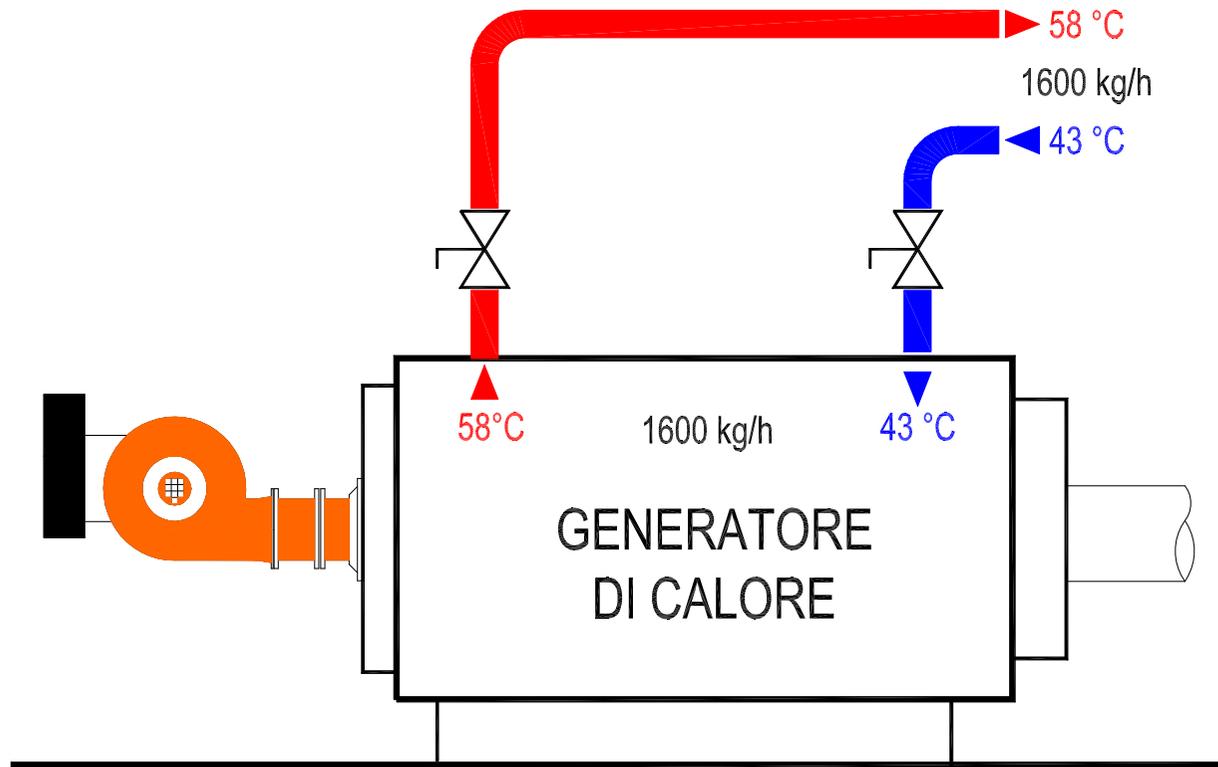
Caso tipico: utenze miste a bassa ed alta temperatura (pannelli + scaldasalviette in bagno o acqua calda sanitaria)



$$q_M = \frac{Q_m (T_m - T_r)}{T_M - T_r}$$

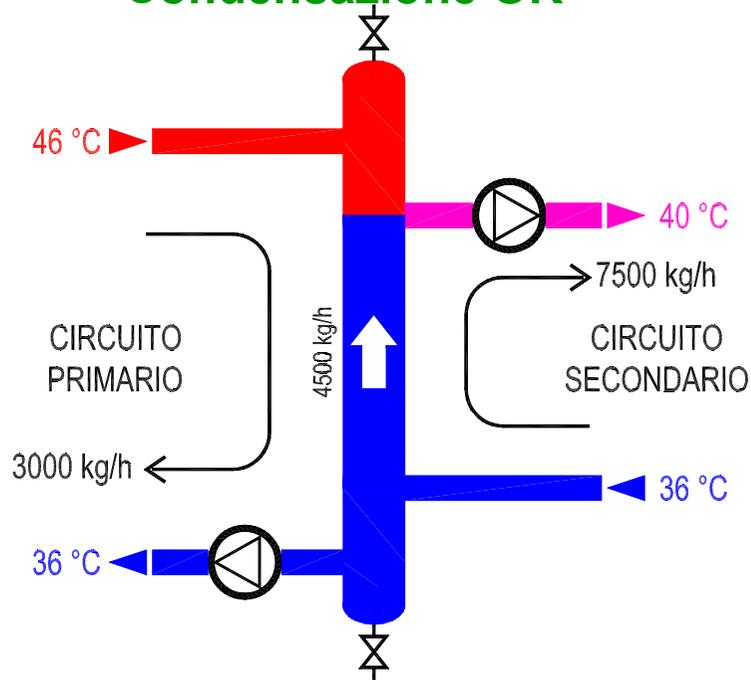
Circuito di generazione diretto

- **CONDENSAZIONE OK: Temperatura e portata sono le stesse di quelle prelevate al collettore dai circuiti di distribuzione collegati**

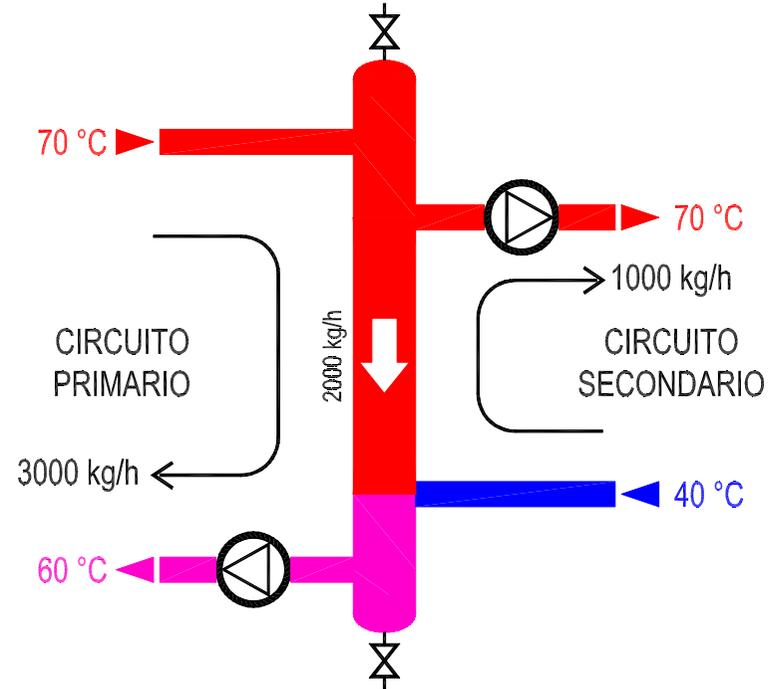


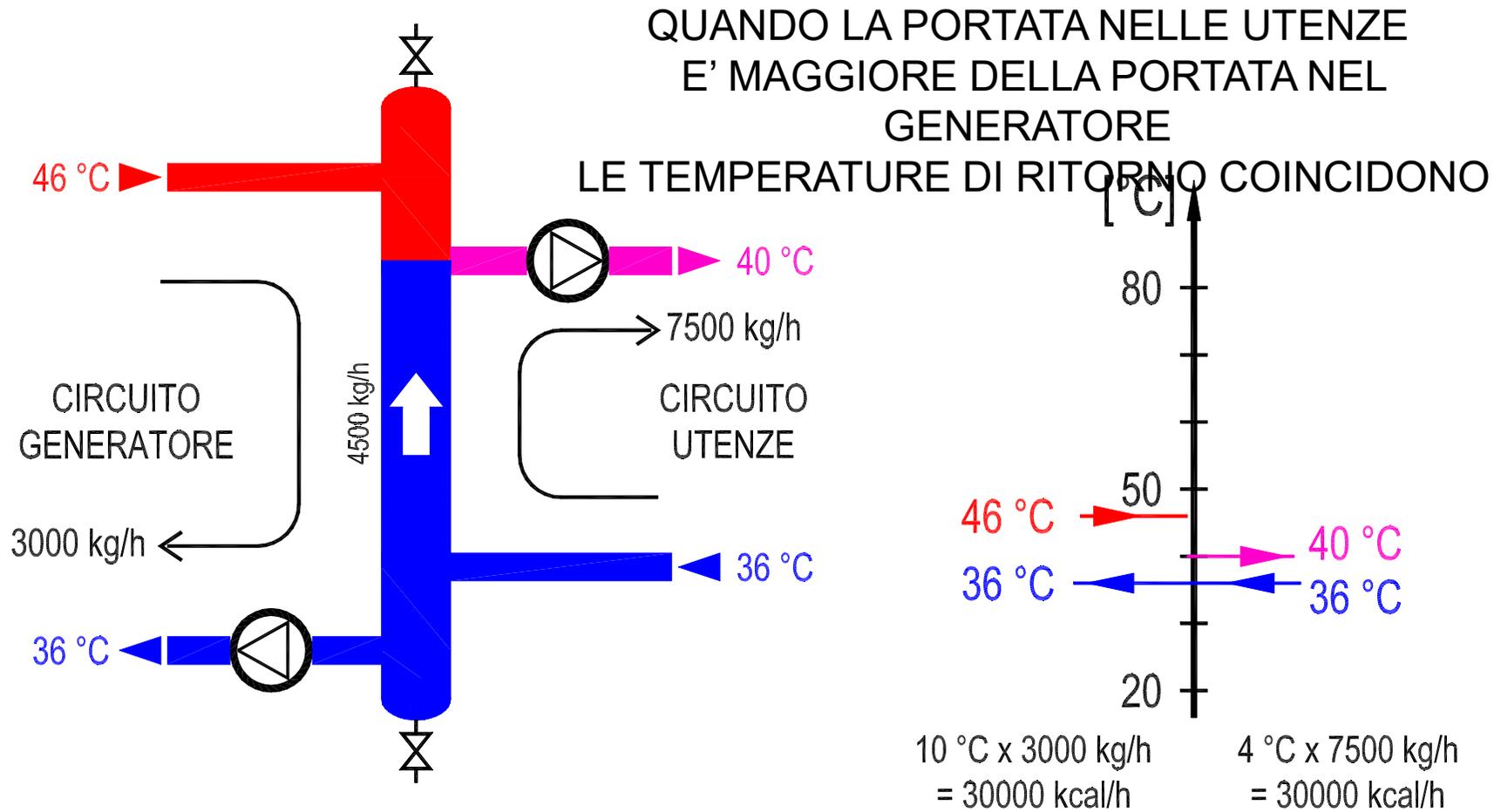
Effetto del compensatore idraulico sulle temperature

Circuito secondario a portata elevata
Tipico nel caso di pannelli con connessione diretta
Condensazione OK

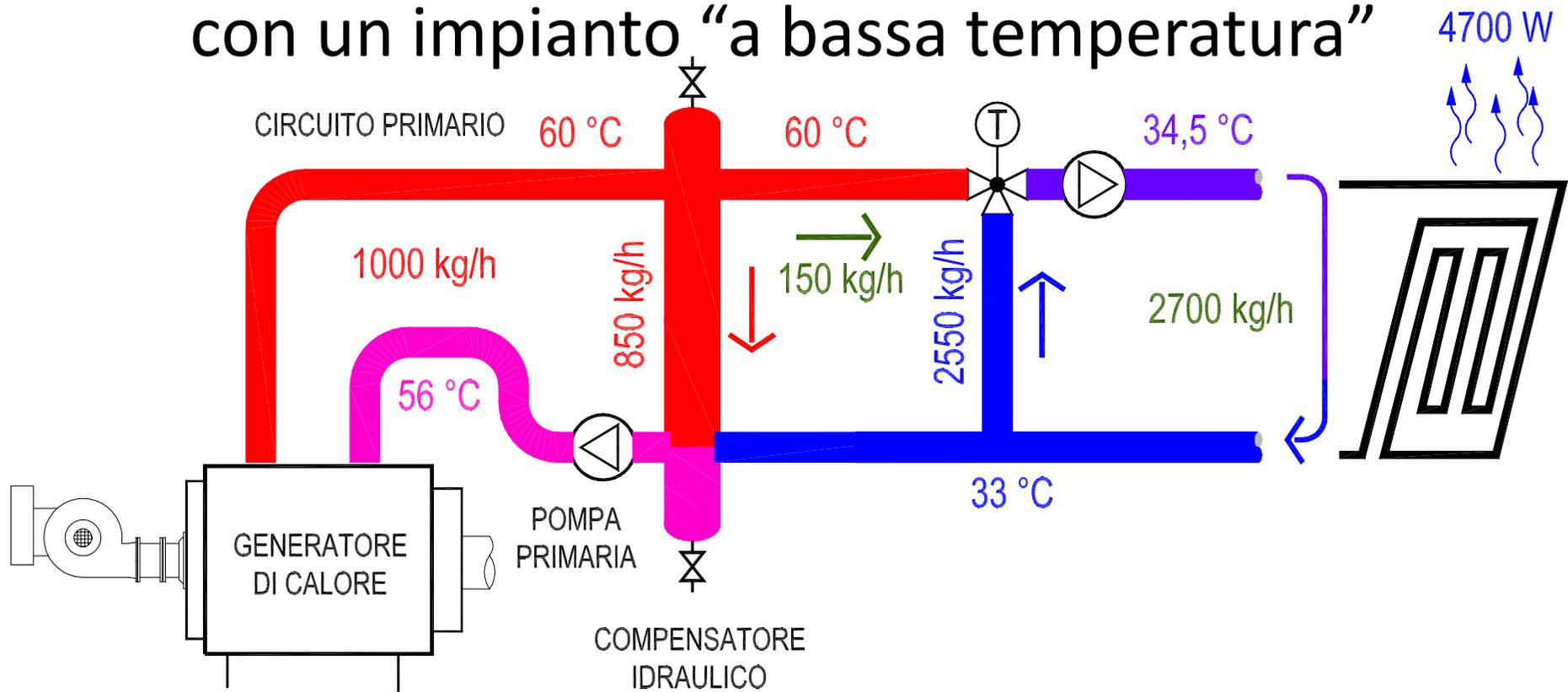


Circuito secondario a bassa portata
Tipico nel caso di radiatori o pannelli con schema a tre vie
Condensazione KO

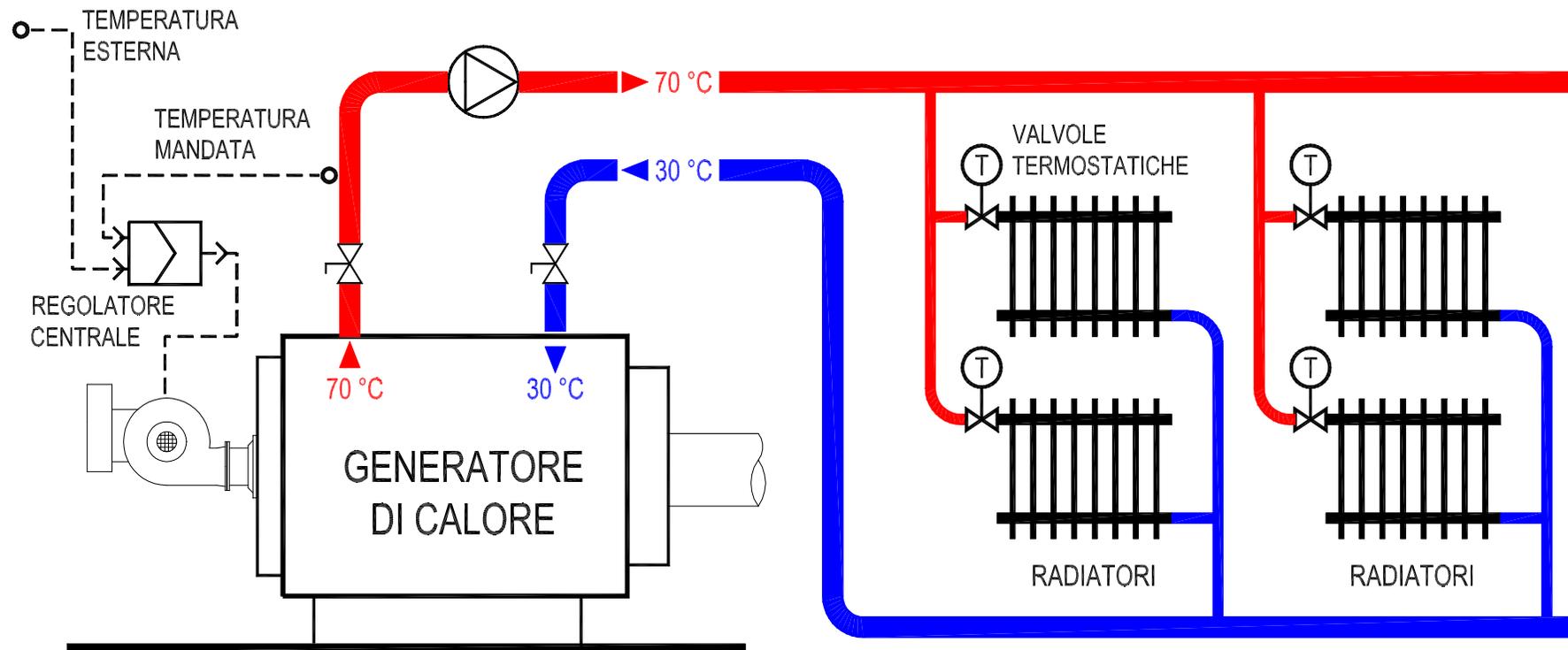


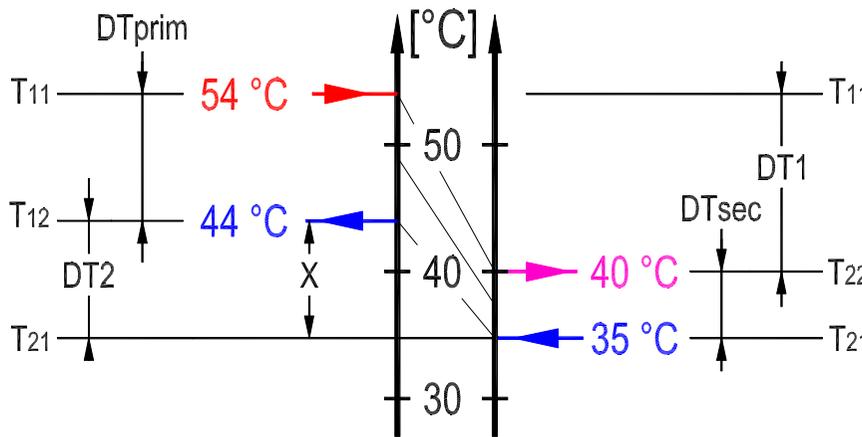
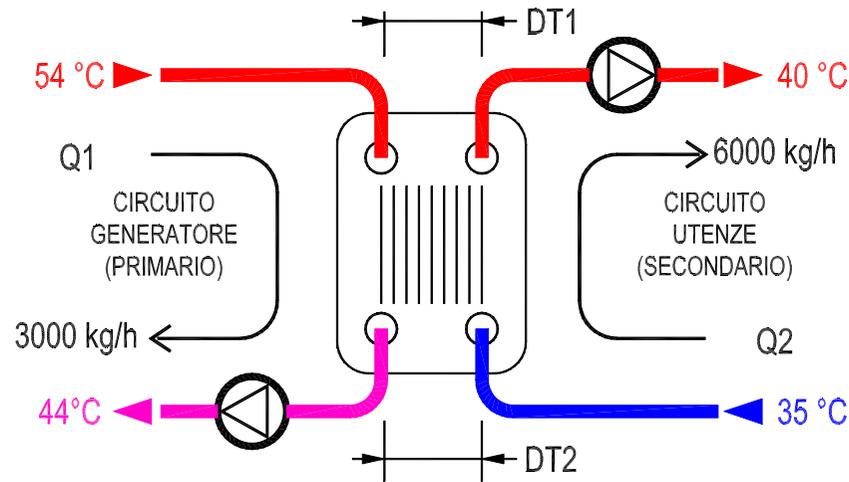


Come NON condensare con un impianto "a bassa temperatura"



Impianto tipo a radiatori a condensazione





INSERENDO UNO SCAMBIATORE, LE TEMPERATURE DAL LATO DEL PRIMARIO DEVONO AUMENTARE “SCORRENDO VERSO L’ALTO” PER CREARE UN ΔT SUFFICIENTE

$$X_{sc} = \frac{\Phi}{\Delta T_{prim} - \Delta T_{sec}} \cdot K_{sc}$$

K_{sc} [W/°C] coefficiente di scambio globale dello scambiatore
 Φ [W] potenza scambiata

La progettazione di un impianto a condensazione

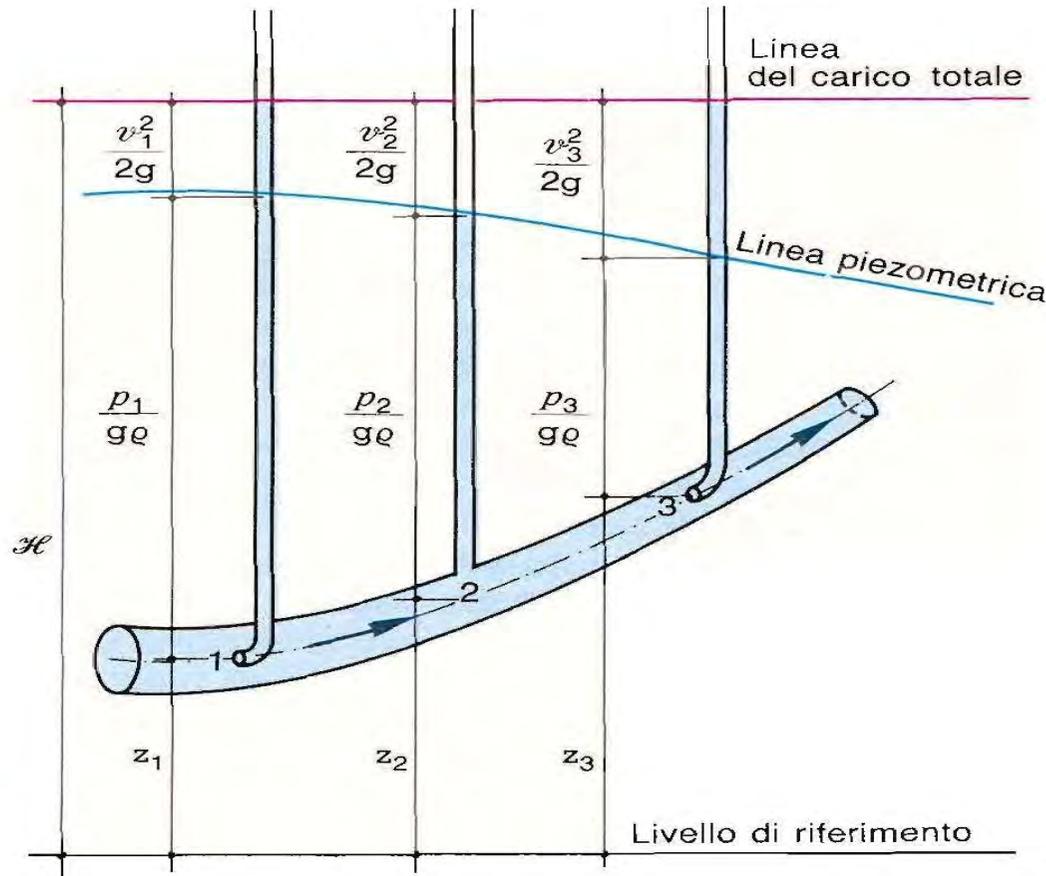
- Il progetto tradizionale si limita a
 - dimensionamento dell'impianto nelle condizioni di progetto (di massima potenza erogata).
 - calcolo dell'energia (consumi) in automatico con gli stessi dati
- Lo scopo dell'impianto diventa ora quello di funzionare con la minima temperatura di ritorno in caldaia possibile: anche la temperatura di ritorno dell'acqua in caldaia deve essere calcolata e progettata
- Occorre completare il progetto verificando le temperatura dell'acqua nell'impianto nelle condizioni reali (medie) di funzionamento. Ciò richiede un'attenzione particolare a:
 - dimensionamento dei corpi scaldanti (già fatto...)
 - scelta del sistema di regolazione ambiente
 - schema idraulico e dimensionamento della rete di distribuzione
 - dimensionamento della pompa di circolazione
 - requisiti supplementari per il generatore e per i dispositivi di regolazione

Calcolo delle perdite di carico

- Scelta del gruppo di pompaggio
→ per la determinazione della Φ_e degli ausiliari
- Verifica del bilanciamento della rete di distribuzione
→ per il calcolo delle tarature dei sistemi di preregolazione dove previsti

NOTA BENE → La determinazione delle perdite di carico si basa sulla conoscenza della portata della rete di distribuzione calcolata a partire dai valori di potenza termica e di salto termico nel circuito

Richiami di idraulica



$$\left(Z + \frac{p}{\rho g} \right) + \frac{v^2}{2g} = H$$

$$\frac{v^2}{2g} = \text{Carico cinetico}$$

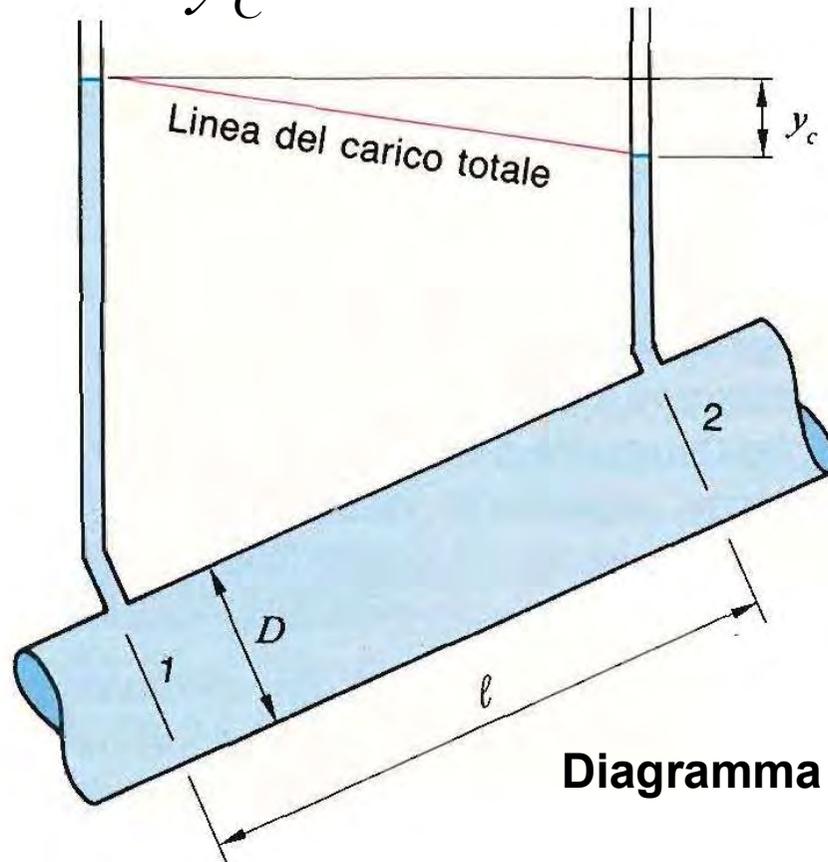
$$\frac{p}{\rho g} = \text{Carico di pressione}$$

$$Z = \text{Carico Geodetico}$$

$$\left(Z + \frac{p}{\rho g} \right) = \text{Carico Piezometrico}$$

Diagramma del carico totale per il moto di un fluido ideale

$y_c = \text{Perdita di carico continua}$



Fluido reale = Fluido viscoso

FORZE DI ATTRITO

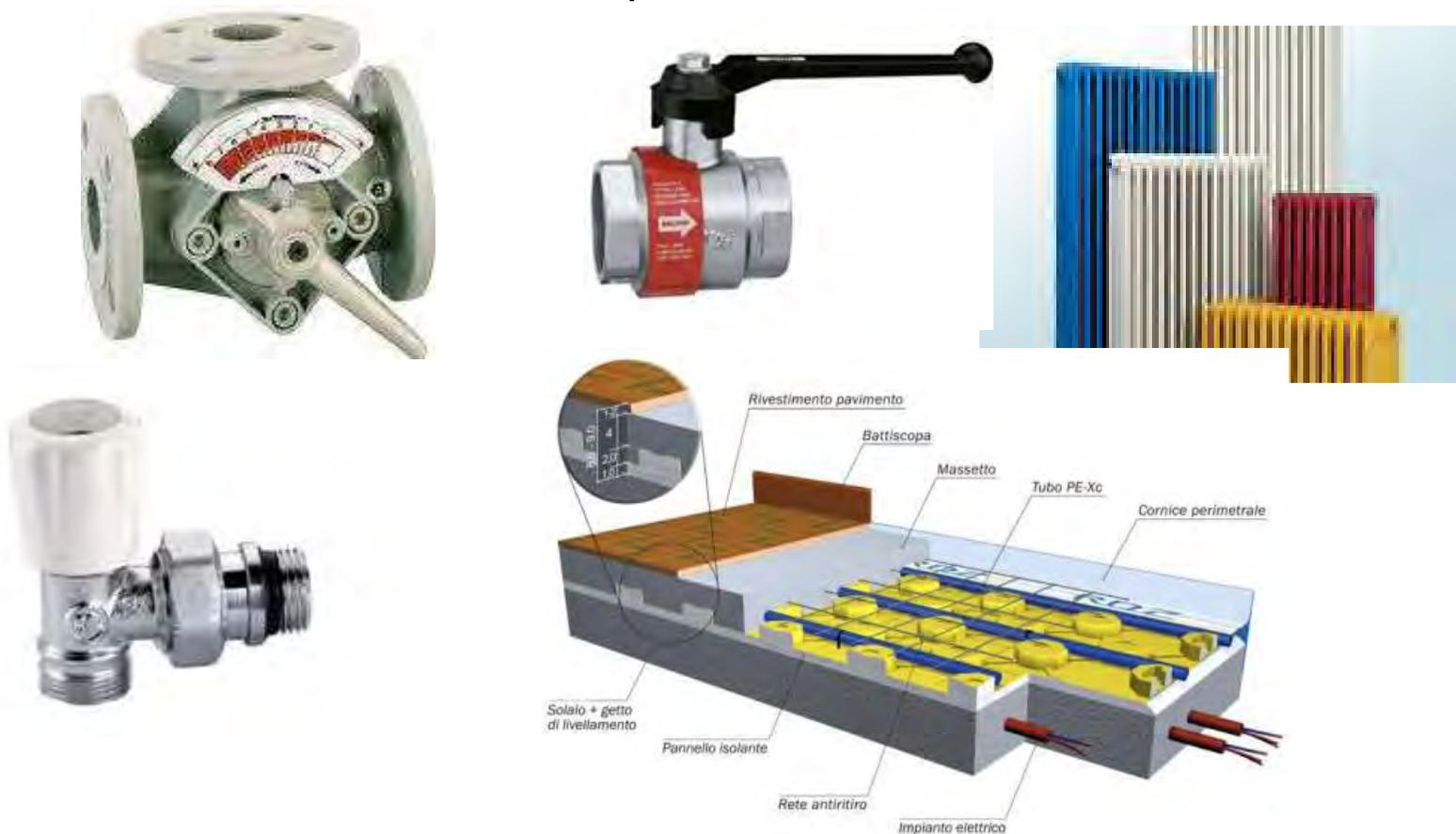
**RICHIESTA CONTINUA DI ENERGIA
PER IL MANTENIMENTO DEL**

MOTO

Diagramma del carico totale per

il moto di un fluido reale

Oltre alle perdite di carico continue abbiamo le perdite di carico concentrate o localizzate Y_l

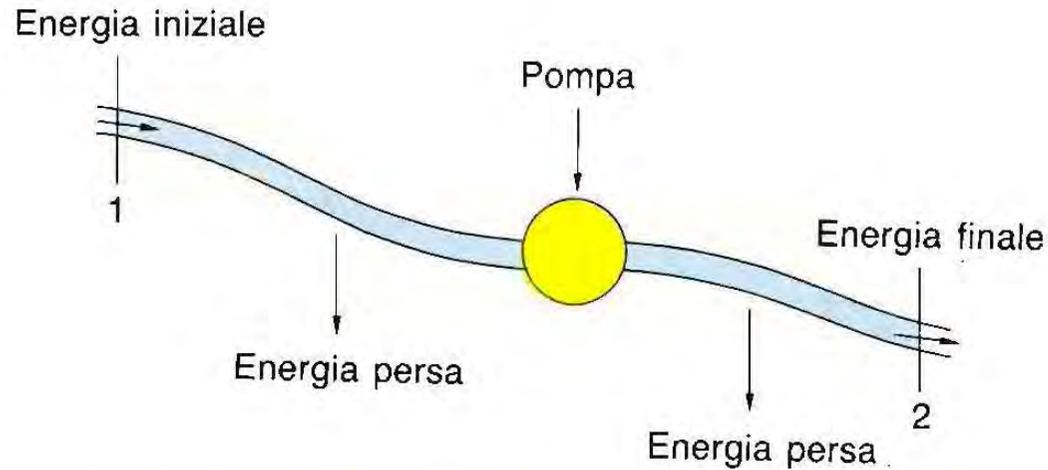


Y=Carico perso complessivamente a causa della dissipazione di energia per unità di peso operata dal liquido reale nel suo moto lungo il condotto

$$Y = Y_c + Y_l$$

Alla perdita di carico totale è associata una caduta di pressione pari a:

$$\Delta p = \rho g Y$$



Y	$=$	$\left(\frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right)$	$-$	$\left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right)$	$+$	h_P
Perdita di energia per unità di peso dovuta all'attrito e alla separazione della corrente [m]		Energia totale per unità di peso che entra attraverso la sezione 1 \mathcal{H}_1 [m]		Energia totale per unità di peso che esce dalla sezione 2 \mathcal{H}_2 [m]		Energia per unità di peso fornita dalla pompa tra le sezioni 1 e 2 [m]

Esempio di gruppi di pompaggio



**Elettropompe in linea a giri fissi
(di norma a 1400 rpm)**



**Elettropompa a giri variabili
(inverter)**



**Elettropompa plurivelocità
(di norma a 3 velocità
hanno le ore contate)**

$$y_c = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Equazione di Darcy & Weisbach

λ =Fattore di attrito

$$\zeta_a = \lambda \frac{l}{D}$$

ζ_a = Coefficiente di resistenza di attrito

$$y_c = \zeta_a \frac{v^2}{2g}$$

- Il fattore di attrito λ dipende dal tipo di regime del fluido all'interno di un condotto (laminare o turbolento)
- Il parametro che discrimina un moto laminare da un moto turbolento è definito dal numero di Reynolds

$$R = \frac{\rho D v}{\mu} = \frac{D v}{\nu}$$

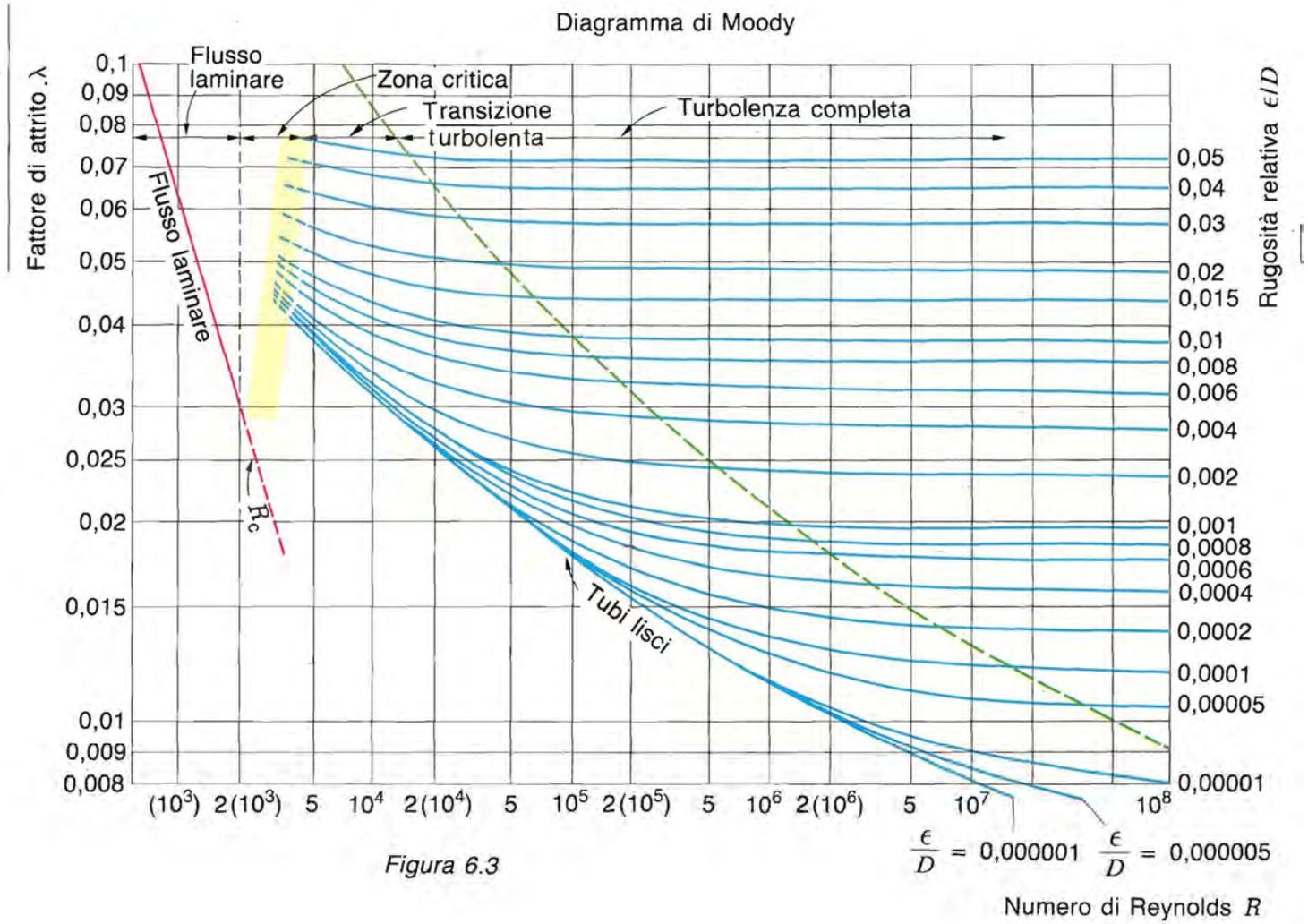
Per numeri di Reynolds < 2000 ci si trova nel campo di moto laminare (acqua)

$$\lambda = \frac{64}{R}$$

Per numeri di Reynolds > 2000 per la determinazione del fattore di attrito si utilizza la relazione di Colebroock attraverso calcolo interattivo

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \text{Log} \left(\frac{\varepsilon / D}{3,7} + \frac{2,51}{R\sqrt{\lambda}} \right)$$

Le due relazioni per la determinazione del fattore di attrito vengono riassunte nel diagramma di Moody



• **ATTENZIONE** ALLA SCELTA DEL DIAMETRO DI UNA TUBAZIONE

$$\Delta P_c = \rho g y_c = \rho g \left(\lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \right)$$

$$\frac{\Delta P_c}{l} = \lambda \frac{\rho}{D} \frac{v^2}{2} \quad \text{poichè } v = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{4\dot{Q}}{\pi D^2}$$

$$\frac{\Delta P_c}{l} = \lambda \frac{\rho}{D} \frac{1}{2} \left(\frac{4\dot{Q}}{\pi D^2} \right)^2 = \lambda \frac{8\rho}{\pi^2} \frac{\dot{Q}^2}{D^5}$$

ATTENZIONE 

POTENZA NETTA NECESSARIA AL FLUIDO PER IL MANTENIMENTO DELLA PORTATA NOMINALE A CAUSA DELLE PERDITE DI CARICO

$$W_{H_2O} = \dot{Q} \times \Delta p$$

Portata in m³/s

Perdita di carico in Pa

Potenza in Watt

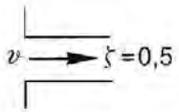
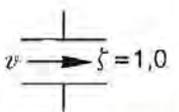
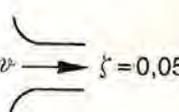
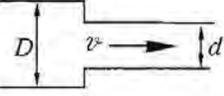
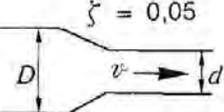
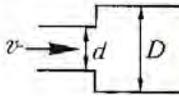
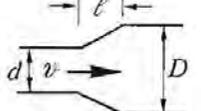
POTENZA DEL GRUPPO DI POMPAGGIO

$$W_p = \frac{W_{H_2O}}{\eta_p}$$

Perdite di carico localizzate

$$y_l = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

Dove ζ si definisce coefficiente di resistenza localizzata ed assume valori che dipendono dalla tipologia dell'ostruzione

Ingresso a spigolo vivo 	Tubo che si prolunga all'interno 	Ingresso arrotondato 																
Restringimento brusco 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>D/d</th> <th>1,5</th> <th>2,0</th> <th>2,5</th> <th>3,0</th> <th>3,5</th> <th>4,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ζ</td> <td>0,28</td> <td>0,36</td> <td>0,40</td> <td>0,42</td> <td>0,44</td> <td>0,45</td> </tr> </tbody> </table>		D/d	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	ζ	0,28	0,36	0,40	0,42	0,44	0,45		
D/d	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0												
ζ	0,28	0,36	0,40	0,42	0,44	0,45												
Riduzione graduale 	Allargamento brusco $\zeta = [1 - (d/D)^2]^2$ 																	
Allargamento graduale $\zeta = \zeta' [1 - (d/D)^2]^2$ 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>(D-d)/2l</th> <th>0,05</th> <th>0,10</th> <th>0,20</th> <th>0,30</th> <th>0,40</th> <th>0,50</th> <th>0,80</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ζ'</td> <td>0,14</td> <td>0,20</td> <td>0,47</td> <td>0,76</td> <td>0,95</td> <td>1,05</td> <td>1,10</td> </tr> </tbody> </table>		(D-d)/2l	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,80	ζ'	0,14	0,20	0,47	0,76	0,95	1,05	1,10
(D-d)/2l	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,80											
ζ'	0,14	0,20	0,47	0,76	0,95	1,05	1,10											
Perdita di uscita (a spigoli vivi, prolungato, arrotondato), $\zeta = 1,0$																		

IL COEFFICIENTE TOTALE DI ATTRITO SI
PUO' QUINDI DEFINIRE COME

$$Z = \zeta_a + \sum \zeta$$

La perdita totale di carico diventa pertanto

$$Y = Z \frac{v^2}{2g}$$

Conoscendo la somma di Σl_e di tutte le lunghezze equivalenti è associate alle diverse ostruzioni è possibile calcolare la perdita di carico totale attraverso un tubo di diametro D e di lunghezza l con la seguente relazione.

$$Y = \lambda \frac{\left(l + \sum l_e \right) v^2}{D \quad 2g}$$

Chi ci fornisce l'informazione relativa alla perdita di carico di un dispositivo ?

(per i tubi siamo capaci di risolvere il problema da soli)

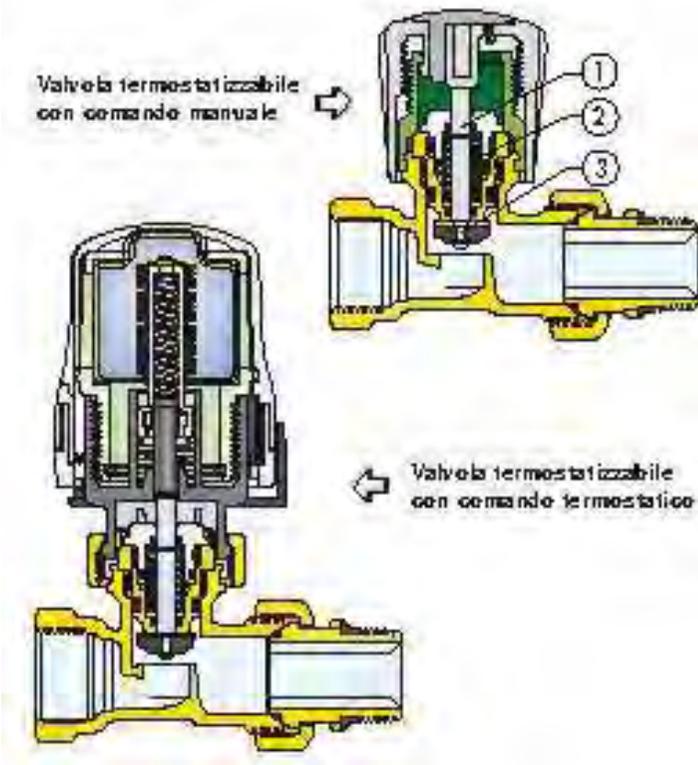


PERDITA DI CARICO ???

I produttori di componenti hanno uniformato l'informazione delle perdite di carico fornendo il valore della portata caratteristica di un dispositivo K_{vs} in posizione di completa apertura espressa in m^3/h che genera una perdita di carico pari a 100 kPa (1 bar – 10 m_{c.a.})

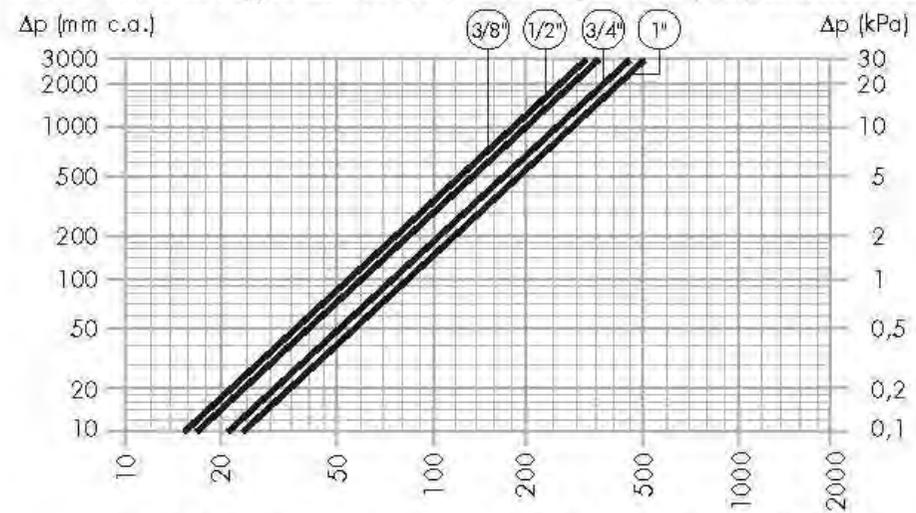
$$\Delta p = \frac{\dot{Q}^2}{K_{vs}^2} \times 10$$

Dove $Q=m^3/h$ $\Delta p=m.C.a.$



Caratteristiche idrauliche

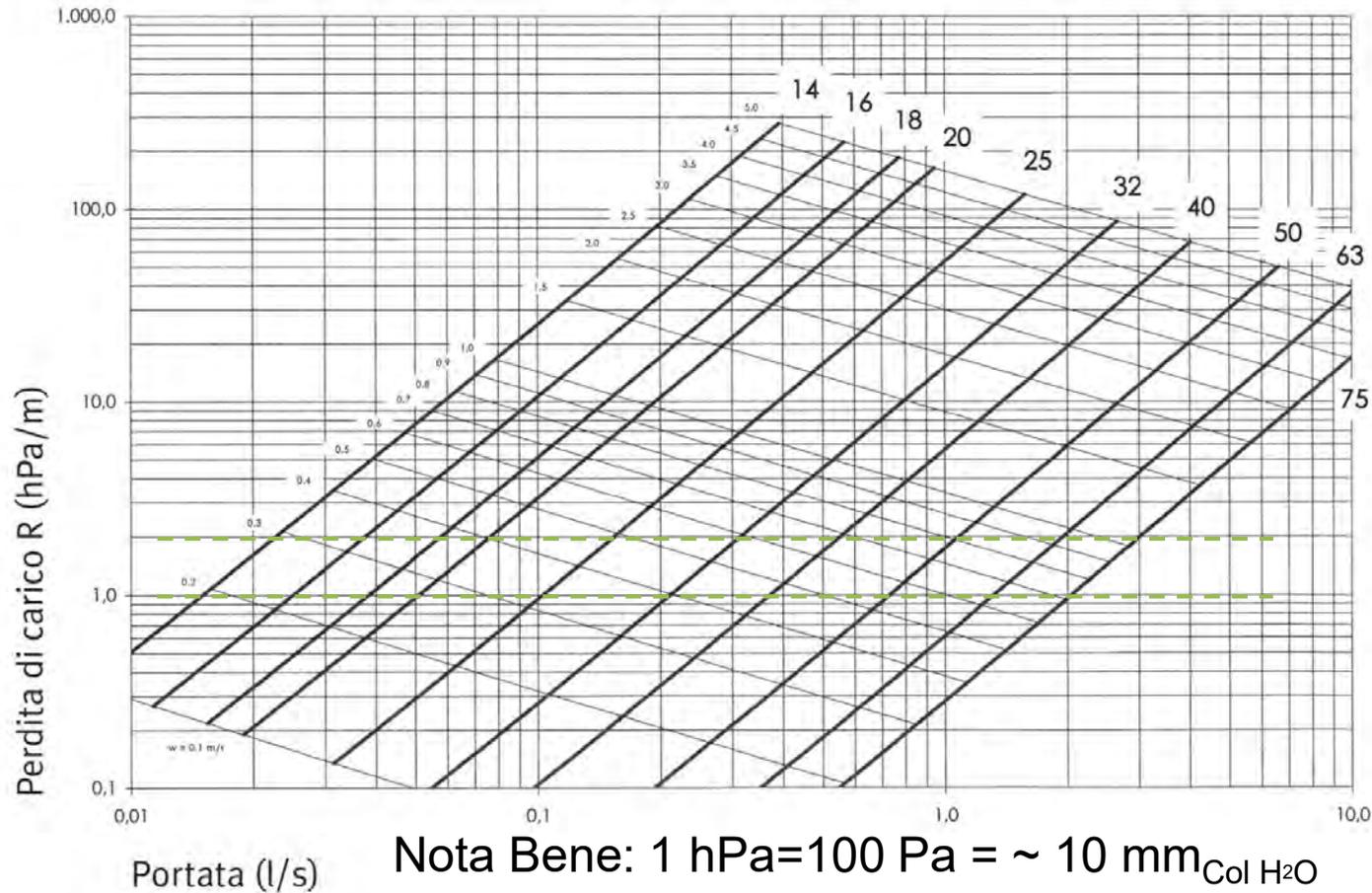
Valvole termostaticizzabili con attacchi a squadra, serie 338 e serie 401 con regolazione termostatica, banda proporzionale 2K



Kv _{0,01}	$\left\{ \begin{array}{l} 3/8" = 56 \text{ l/h} \\ 1/2" = 56 \text{ l/h} \\ 3/4" = 70 \text{ l/h} \\ 1" = 78 \text{ l/h} \end{array} \right.$	Pressione differenziale massima	$\left\{ \begin{array}{l} 3/8" = 1 \text{ bar} \\ 1/2" = 1 \text{ bar} \\ 3/4" = 1 \text{ bar} \\ 1" = 0,6 \text{ bar} \end{array} \right.$
--------------------	---	---------------------------------	---

GRAFICO DELLE PERDITE DI CARICO

Perdita di carico nelle tubazioni multistrato



Dimensione Nominal size	Diametro esterno x spessore - Pipe outside diameter x wall thickness						Dimensione Nominal size	Pipe outside diameter x wall thickness				Dimensione Nominal size	Diametro esterno x spessore Pipe outside diameter x wall thickness											
	d _e x s / OD x t [mm]		12 x 1,2		15 x 1,2			18 x 1,2		22 x 1,5			28 x 1,5		35 x 1,5		d _e x s / OD x t [mm]		76,1 x 2		88,9 x 2		108 x 2	
d _i / ID [mm]	9,6		12,6		15,6		19		25		32		d _i / ID [mm]	39,0		51,0		d _i / ID [mm]	39,0		51,0		51,0	
Perdite di carico Pressure drops	R [Pa/m]		\dot{m} [kg/h]		v [m/s]		\dot{m} [kg/h]		v [m/s]		\dot{m} [kg/h]		v [m/s]		R [Pa/m]		\dot{m} [kg/h]		v [m/s]		\dot{m} [kg/h]		v [m/s]	
29	29	0,11	61	0,14	109	0,16	187	0,19	393	0,23	766	0,27	13	835	0,2	1.640	0,23	11	3.950	0,28	6.200	0,32	10.500	0,36
32	30	0,12	64	0,15	115	0,17	197	0,2	414	0,24	807	0,29	22	1.086	0,26	2.210	0,31	13	4.250	0,30	6.650	0,34	11.500	0,39
35	32	0,13	67	0,15	121	0,18	207	0,21	435	0,25	847	0,30	29	1.253	0,3	2.570	0,36	16	4.900	0,35	7.600	0,39	12.750	0,44
39	34	0,13	72	0,16	128	0,19	219	0,22	461	0,27	898	0,32	32	1.336	0,32	2.712	0,38	21	5.600	0,40	8.800	0,45	14.750	0,51
44	36	0,14	77	0,17	137	0,21	234	0,24	493	0,29	958	0,34	39	1.503	0,36	3.000	0,42	25	6.200	0,44	9.600	0,49	16.250	0,56
49	39	0,15	81	0,19	146	0,22	249	0,25	522	0,3	1.016	0,36	47	1.670	0,4	3.285	0,46	30	6.800	0,48	10.750	0,54	18.000	0,63
54	41	0,16	86	0,2	154	0,23	262	0,26	551	0,32	1.070	0,38	53	1.755	0,42	3.570	0,50	31	7.000	0,50	10.900	0,56	18.500	0,64
59	43	0,17	90	0,2	161	0,24	275	0,28	578	0,34	1.123	0,40	63	1.940	0,46	3.880	0,54	35	7.450	0,53	11.700	0,59	19.500	0,68
64	45	0,18	94	0,22	169	0,25	288	0,29	604	0,35	1.173	0,42	72	2.100	0,5	4.150	0,58	37	7.700	0,55	12.000	0,62	20.000	0,69
69	47	0,18	98	0,23	176	0,26	300	0,3	629	0,37	1.222	0,43	78	2.180	0,52	4.310	0,60	40	8.000	0,58	12.500	0,64	21.000	0,73
74	49	0,19	102	0,23	183	0,27	312	0,31	654	0,38	1.269	0,46	89	2.340	0,56	4.600	0,64	45	8.450	0,61	13.250	0,68	22.500	0,78
78	50	0,2	106	0,24	189	0,28	323	0,33	678	0,4	1.315	0,47	98	2.450	0,59	4.850	0,68	50	9.050	0,65	14.000	0,72	23.750	0,82
88	54	0,21	113	0,26	202	0,3	345	0,35	723	0,42	1.402	0,50	103	2.515	0,6	5.000	0,70	55	9.600	0,68	15.000	0,76	25.000	0,86
98	57	0,23	120	0,28	215	0,32	366	0,37	766	0,45	1.485	0,53	108	2.600	0,62	5.280	0,73	58	9.900	0,70	15.250	0,78	25.750	0,88
108	60	0,24	127	0,29	226	0,34	386	0,39	807	0,47	1.565	0,56	118	2.715	0,65	5.430	0,76	60	10.000	0,72	15.500	0,79	26.000	0,91
118	63	0,25	133	0,31	238	0,36	405	0,41	846	0,49	1.640	0,58	130	2.850	0,68	5.710	0,80	65	10.500	0,75	16.250	0,83	27.500	0,95
128	66	0,26	140	0,32	248	0,37	423	0,43	884	0,52	1.713	0,61	137	2.925	0,7	5.855	0,82	70	10.800	0,78	17.000	0,87	28.500	0,99
137	69	0,27	145	0,33	259	0,39	440	0,44	921	0,54	1.783	0,63	151	3.070	0,74	6.160	0,86	74	11.250	0,80	17.750	0,90	29.500	1,02
147	72	0,28	151	0,35	269	0,4	457	0,46	956	0,56	1.851	0,66	157	3.130	0,75	6.270	0,88	80	11.800	0,84	18.250	0,94	31.000	1,08
157	75	0,29	156	0,36	279	0,42	474	0,48	990	0,58	1.916	0,68	164	3.200	0,76	6.420	0,90	85	12.000	0,86	18.750	0,97	31.500	1,11
167	77	0,3	162	0,37	288	0,43	490	0,49	1.023	0,6	1.980	0,70	180	3.350	0,8	6.720	0,94	90	12.400	0,89	19.500	1,00	33.000	1,14
177	80	0,31	167	0,38	297	0,45	505	0,51	1.056	0,62	2.042	0,73	196	3.500	0,84	7.000	0,98	95	12.750	0,92	20.000	1,04	33.500	1,18
186	82	0,32	167	0,39	306	0,46	521	0,53	1.087	0,63	2.102	0,75	201	3.550	0,85	7.170	1,00	100	13.250	0,95	20.750	1,07	34.500	1,20
196	85	0,33	172	0,41	315	0,47	535	0,54	1.118	0,66	2.161	0,77	207	3.600	0,86	7.380	1,03	105	13.500	0,98	21.500	1,09	35.500	1,24
216	89	0,35	186	0,43	332	0,5	564	0,57	1.177	0,69	2.275	0,81	216	3.675	0,88	7.550	1,06	110	14.000	1,00	22.000	1,13	36.500	1,27
235	94	0,37	196	0,45	348	0,52	591	0,6	1.234	0,72	2.394	0,85	225	3.780	0,9	7.700	1,08	120	14.500	1,05	23.000	1,18	38.000	1,34
255	98	0,39	204	0,47	364	0,54	618	0,62	1.288	0,75	2.488	0,89	235	3.880	0,93	7.870	1,10	130	15.250	1,10	24.000	1,23	40.000	1,39
275	102	0,4	213	0,49	379	0,57	643	0,65	1.341	0,78	2.589	0,92	255	4.040	0,96	8.200	1,15	140	16.000	1,15	25.000	1,29	41.500	1,45
294	106	0,42	221	0,51	394	0,59	668	0,67	1.391	0,81	2.687	0,96	270	4.170	1	8.440	1,18	150	16.500	1,18	26.000	1,33	43.000	1,52
324	113	0,44	233	0,53	414	0,62	702	0,71	1.464	0,85	2.827	1,00	378	4.730	1,01	8.570	1,20	165	17.000	1,20	26.500	1,36	44.000	1,64

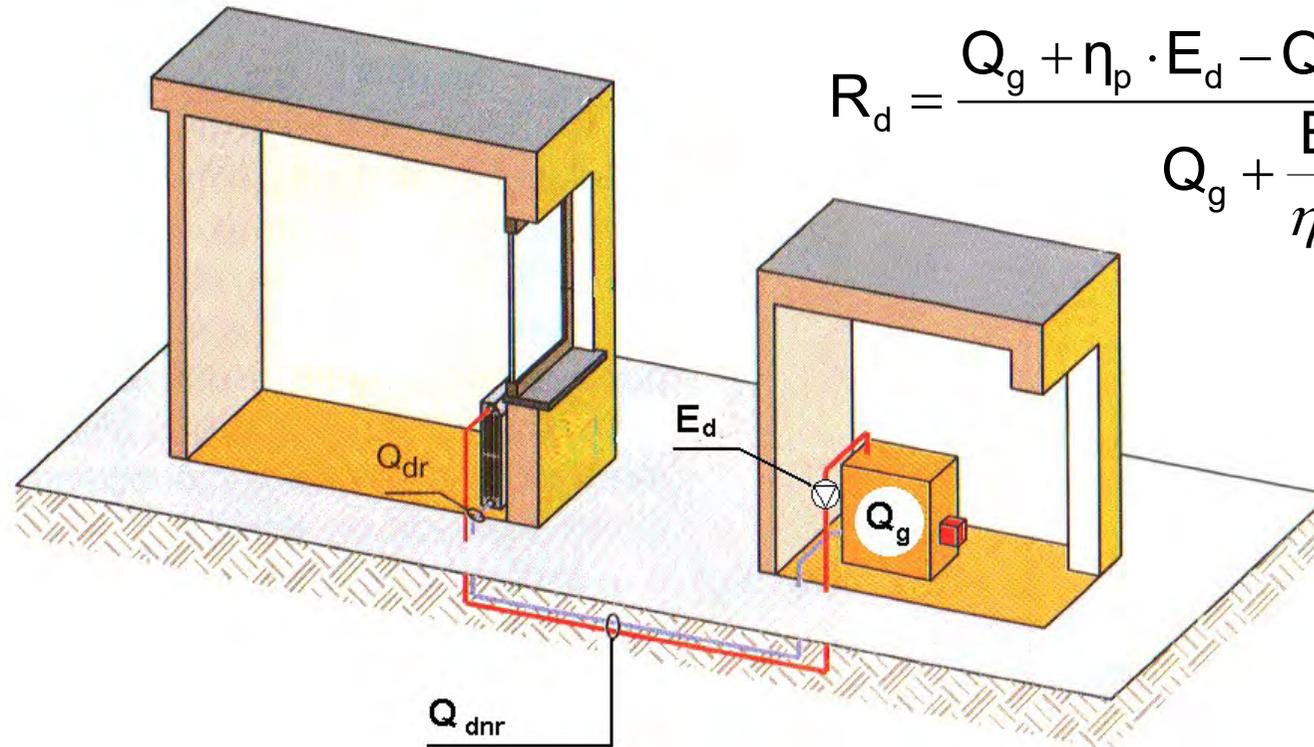
Perdita di carico nelle tubazioni in acciaio pressfitting

Nota Bene: Velocità massima nelle tubazione 1 m/s per diametri normali e fino a 2 m/s per grandi diametri > 5"

Perdite di carico continue TUBI IN ACCIAIO (pollici) - Temperatura acqua = 50°C

r		r = perdite di carico continue, mm c.a./m												G = portate, l/h		v = velocità, m/s	
		Ø	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"				
2	G	47	94	201	371	777	1.166	2.196	4.374	6.707	13.577	23.813	38.478	G	2		
	v	0,10	0,12	0,15	0,17	0,21	0,23	0,27	0,33	0,36	0,44	0,50	0,57	v			
4	G	69	136	292	538	1.126	1.689	3.182	6.337	9.717	19.669	34.499	55.743	G	4		
	v	0,15	0,18	0,22	0,25	0,31	0,34	0,40	0,47	0,53	0,63	0,73	0,82	v			
6	G	85	169	362	668	1.399	2.098	3.952	7.871	12.069	24.431	42.852	69.240	G	6		
	v	0,19	0,22	0,27	0,31	0,38	0,42	0,49	0,59	0,66	0,78	0,90	1,02	v			
8	G	99	197	422	779	1.631	2.447	4.610	9.181	14.076	28.495	49.978	80.755	G	8		
	v	0,22	0,26	0,31	0,37	0,44	0,49	0,58	0,69	0,76	0,91	1,05	1,19	v			
10	G	112	222	476	878	1.838	2.757	5.194	10.344	15.861	32.106	56.312	90.990	G	10		
	v	0,25	0,29	0,35	0,41	0,50	0,55	0,65	0,77	0,86	1,03	1,19	1,34	v			
12	G	123	245	525	968	2.026	3.039	5.726	11.403	17.485	35.394	62.079	100.308	G	12		
	v	0,27	0,32	0,39	0,46	0,56	0,61	0,72	0,85	0,95	1,14	1,31	1,48	v			
14	G	134	266	570	1.051	2.200	3.301	6.218	12.383	18.987	38.435	67.413	108.927	G	14		
	v	0,29	0,35	0,42	0,50	0,60	0,66	0,78	0,93	1,03	1,23	1,42	1,61	v			
16	G	144	285	612	1.129	2.363	3.545	6.678	13.300	20.393	41.280	72.403	116.989	G	16		
	v	0,32	0,38	0,46	0,53	0,64	0,71	0,83	0,99	1,11	1,32	1,53	1,72	v			
18	G	153	304	652	1.202	2.517	3.775	7.112	14.165	21.718	43.964	77.110	124.595	G	18		
	v	0,34	0,40	0,49	0,57	0,68	0,76	0,89	1,06	1,18	1,41	1,63	1,84	v			
20	G	162	322	689	1.272	2.663	3.994	7.524	14.985	22.977	46.512	81.580	131.817	G	20		
	v	0,36	0,42	0,51	0,60	0,72	0,80	0,94	1,12	1,25	1,49	1,72	1,94	v			
22	G	171	338	725	1.338	2.802	4.203	7.918	15.769	24.179	48.944	85.845	138.709	G	22		
	v	0,37	0,44	0,54	0,63	0,76	0,84	0,99	1,18	1,31	1,57	1,81	2,04	v			
24	G	179	354	760	1.402	2.935	4.403	8.295	16.520	25.330	51.275	89.934	145.316	G	24		
	v	0,39	0,47	0,57	0,66	0,80	0,88	1,04	1,23	1,38	1,64	1,90	2,14	v			
26	G	187	370	793	1.463	3.064	4.596	8.658	17.243	26.438	53.518	93.867	151.671	G	26		
	v	0,41	0,49	0,59	0,69	0,83	0,92	1,08	1,29	1,44	1,72	1,98	2,24	v			
28	G	194	385	825	1.523	3.187	4.782	9.008	17.940	27.507	55.681	97.662	157.802	G	28		
	v	0,43	0,51	0,61	0,72	0,87	0,96	1,13	1,34	1,49	1,79	2,06	2,33	v			
30	G	201	399	856	1.580	3.307	4.961	9.346	18.614	28.541	57.774	101.332	163.733	G	30		
	v	0,44	0,53	0,64	0,74	0,90	0,99	1,17	1,39	1,55	1,85	2,14	2,41	v			
35	G	219	434	930	1.716	3.591	5.388	10.149	20.213	30.993	62.738	110.040	177.802	G	35		
	v	0,48	0,57	0,69	0,81	0,97	1,08	1,27	1,51	1,68	2,01	2,32	2,62	v			
40	G	235	466	999	1.843	3.857	5.786	10.901	21.709	33.287	67.382	118.184	190.963	G	40		
	v	0,51	0,61	0,74	0,87	1,05	1,16	1,36	1,62	1,81	2,16	2,49	2,81	v			
	G	250	496	1.064	1.962	4.108	6.163	11.609	23.121	35.451	71.762	125.868	203.378	G			

Perdite di distribuzione

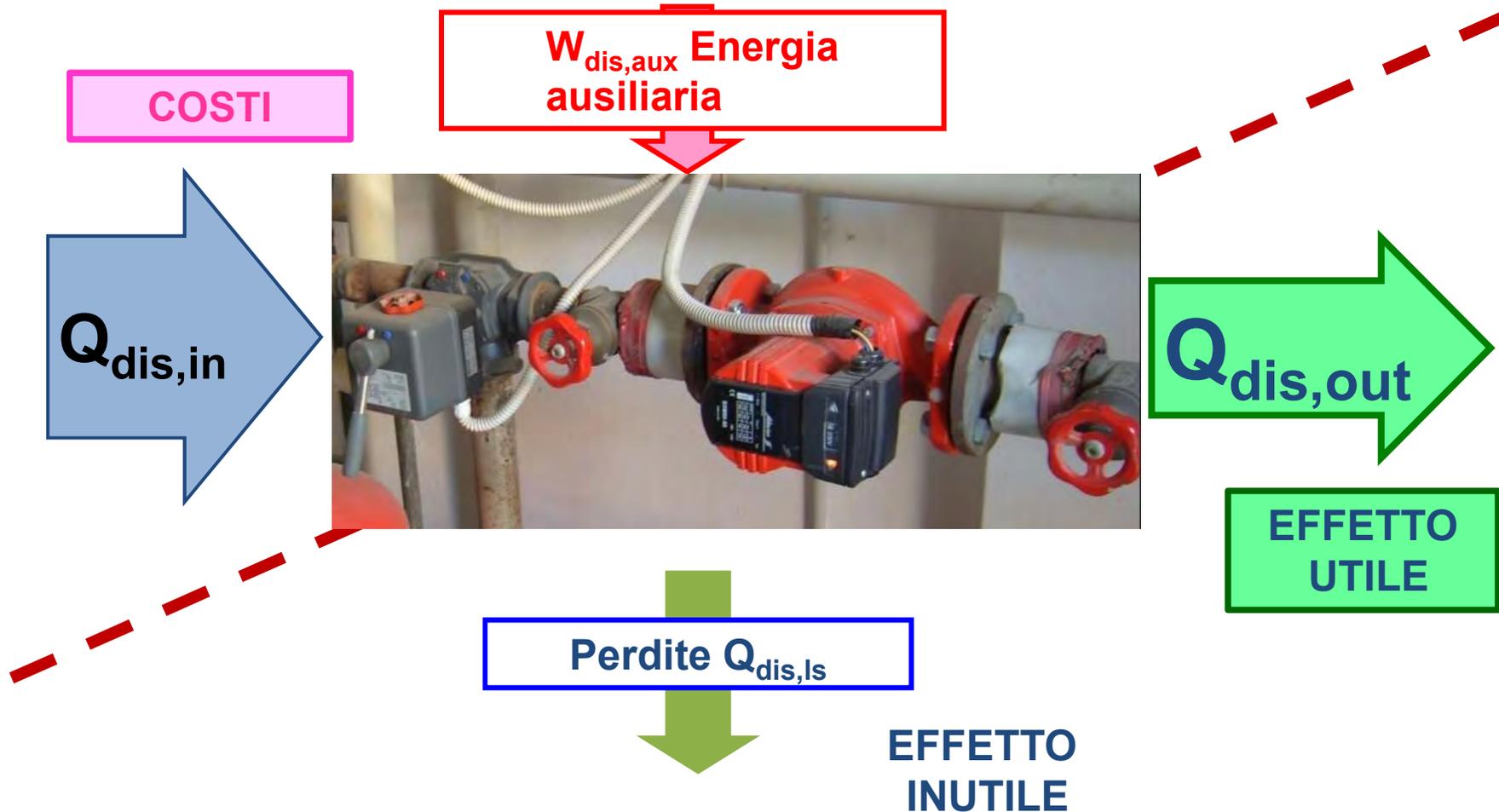


$$R_d = \frac{Q_g + \eta_p \cdot E_d - Q_{dnr} - k \cdot Q_{dr}}{Q_g + \frac{E_d}{\eta_{sen}}}$$

R_d = rendimento di distribuzione
 Q_g = calore utile prodotto dal generatore
 η_p = rendimento pompa
 E_d = energia elettrica pompa

Q_{dnr} = calore non recuperabile
 Q_{dr} = calore recuperabile
 k = fattore persa del calore recuperabile
 η_{sen} = rendimento del sistema elettrico

Valutazione del sottosistema di distribuzione



Calcolo delle perdite di distribuzione

UNI TS 11300-2: previsti due metodi di calcolo

metodo tabellare basato su tipologie e numero dei piani:

I valori si riferiscono al solo utilizzo invernale, con rete a temperatura variabile.

I valori tengono già conto del recupero di perdite (2/3) con diminuzione delle perdite totali

Si fanno errori molto grossolani applicando indiscriminatamente questi valori

Metodo analitico, da adottare obbligatoriamente se non sono rispettate **TUTTE** le condizioni sottostanti le tabelle

Sulla base di lunghezze, diametri, isolamento, tipo di installazione, temperature interna ed esterna

Consente di evidenziare le perdite recuperabili

E' sempre preferibile un calcolo approssimato con lunghezze stimate sulla base delle dimensioni principali dell'edificio piuttosto che utilizzare i rendimenti tabellati

Per reti isolate, le dispersioni sono controllate dallo strato coibente e dai tratti di tubazione non coibentati

Per reti non isolate occorre tenere conto delle modalità di incasso nelle strutture

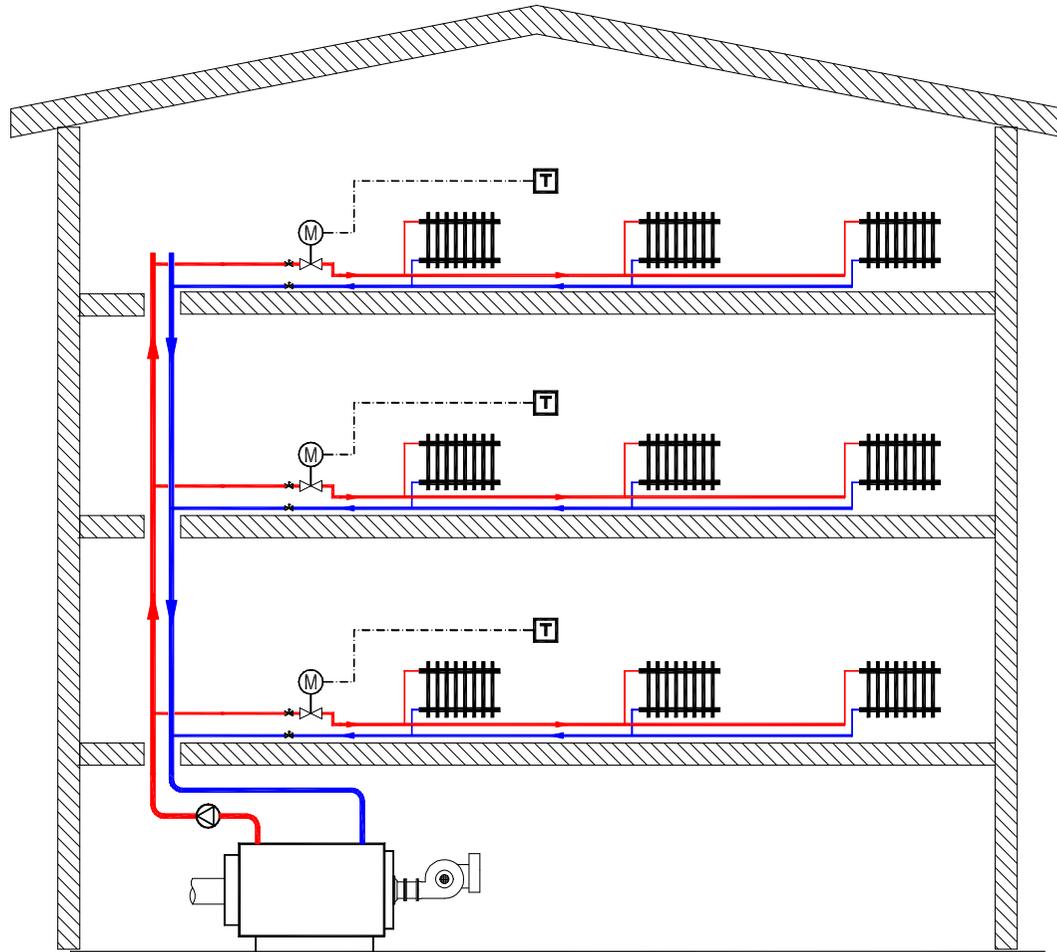
Si tiene conto anche dei "ponti termici", dovuti a componenti non isolati e staffaggi

Occorre tenere conto dell'energia assorbita dalle pompe:

→ la potenza media non è la potenza di targa

Uso del metodo analitico per i tratti di tubazione interessati da ricircolo (a.c.s.)

Impianto a zone – distribuzione orizzontale

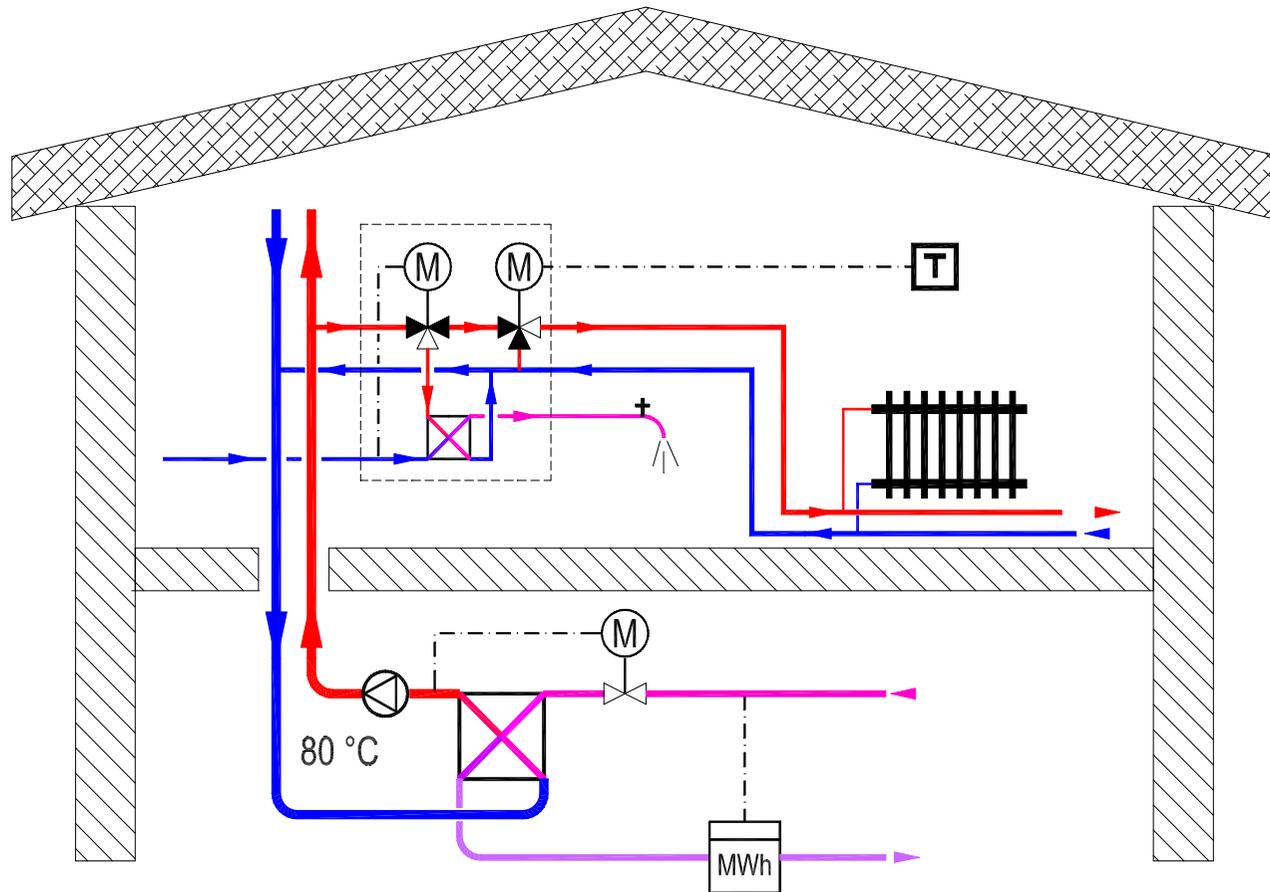


Tipologia resa
obbligatoria dagli anni
'90
(DPR 412/93).

Poco frequente perché
in quel periodo vi era il
boom degli impianti
autonomi.

La distribuzione
orizzontale può essere
monotubo o bitubo

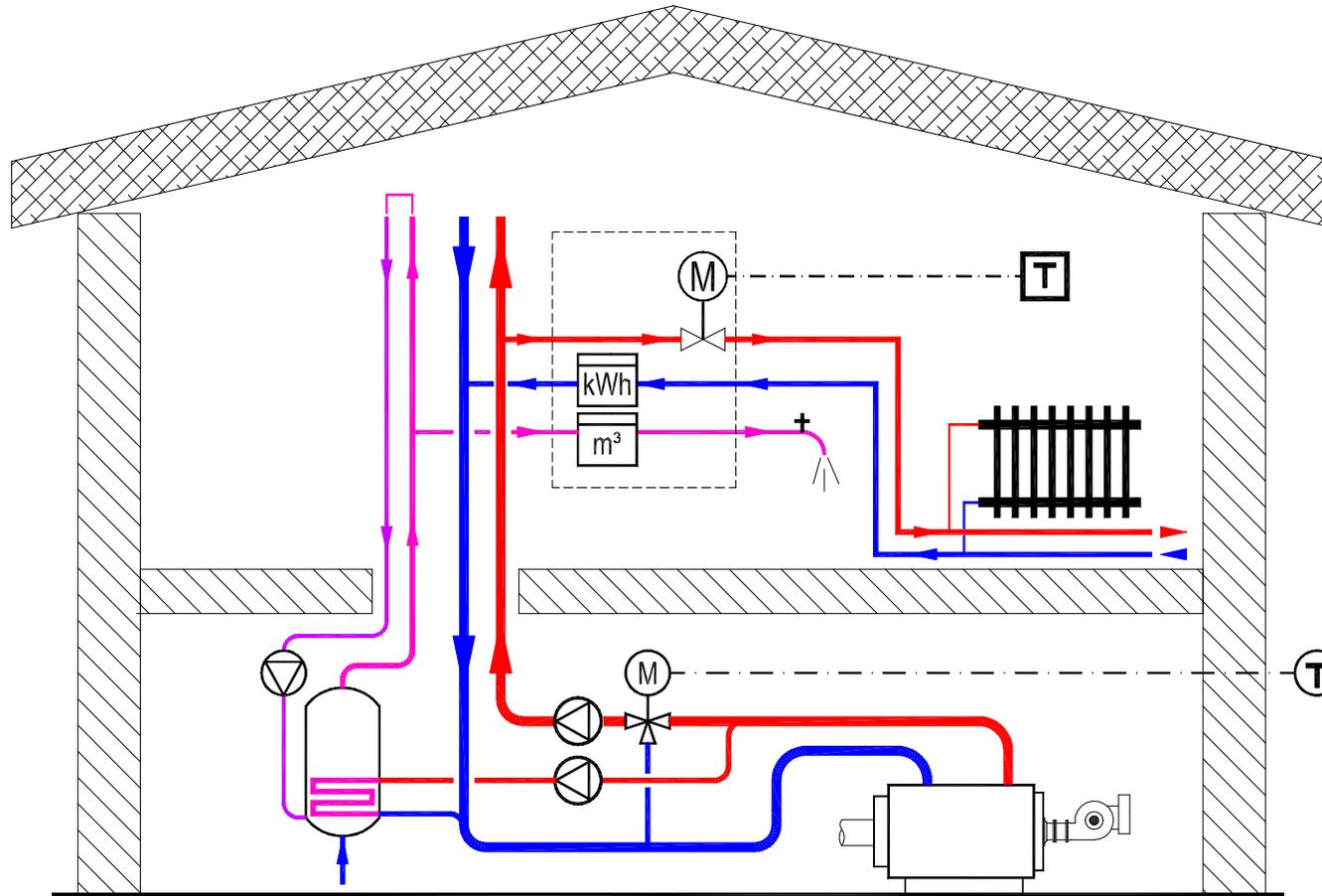
Impianto a moduli termici a 2 tubi



Schema molto in voga negli ultimi tempi. (ma è davvero efficiente ?)

Presenta diversi limiti prestazionali in sanitario e soffre spesso di elevate perdite dalla rete di distribuzione

Rete di distribuzione a 4 tubi



Attuale soluzione nel caso di realizzazione di impianti termici centralizzati

Metodo analitico (EN + UNI-TS 11300)

si determinano le trasmittanze lineiche U_i degli elementi del sottosistema di distribuzione, espresse in $W/m \cdot K$, tenendo conto di diametro, spessore e conduttività del coibente, tipologia di installazione;

si determinano le lunghezze L_i degli elementi del sottosistema di distribuzione;

si determinano le **temperature interna** $\theta_{w,i}$ ed esterna $\theta_{a,i}$ degli elementi;

si determina la **durata** delle perdite t_i ;

si determina il **fattore di riduzione** delle perdite totali $k_{r,i}$ per tener conto delle perdite recuperabili

si calcolano le perdite totali $Q_{d,l}$ come somma delle perdite dei singoli tratti

$$Q_{d,l} = \sum_i L_i \cdot U_i \cdot (\theta_{w,i} - \theta_{a,i}) \cdot t_i \cdot k_{d,i}$$

- si calcola l'energia ausiliaria totale W_d ;
- si determina l'eventuale energia elettrica recuperata $k_{w,d} \cdot W_d$;
- si calcola la quantità di calore richiesta alla generazione

$$Q_{d,in} = Q_{d,out} + Q_{d,l} - k_{w,d} \cdot W_d$$

DATI CRITICI

- FATTORE DI RIDUZIONE PER PERDITE RECUPERABILI
- TEMPERATURA INTERNA IN FUNZIONE DELLA DURATA DI ACCENSIONE

I fattori critici...

TEMPERATURA DELL'ACQUA

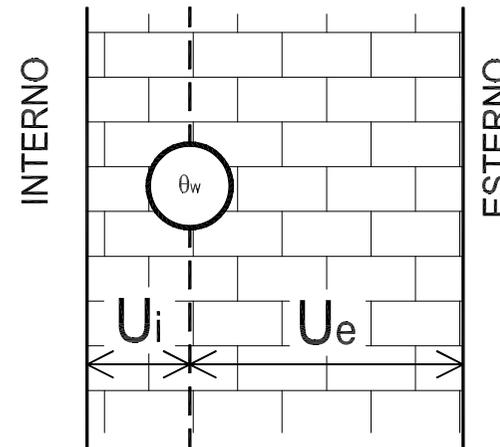
Calcolata sulle 24 ore per la certificazione

FATTORE DI RECUPERO

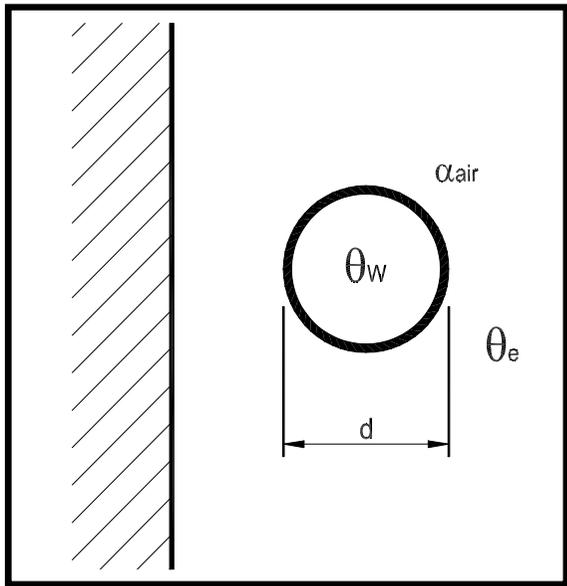
Dipende dalla posizione della tubazione nella struttura

$$Q_{d,l} = \sum_i L_i \cdot U_i \cdot (\theta_{w,i} - \theta_{a,i}) \cdot t_i \cdot k_{rl,i}$$

$$k_{rl,i} = \frac{U_e}{U_i + U_e} \cdot k_{rh}$$

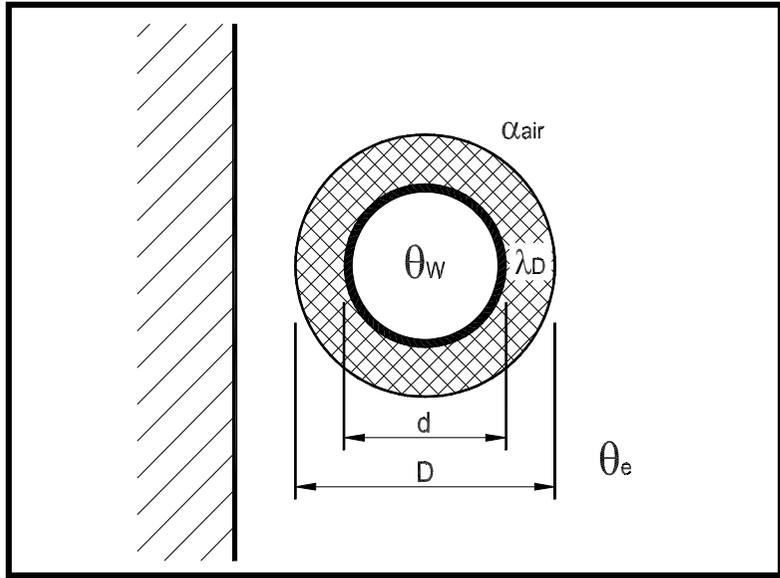


Tubazione non isolata
corrente in aria



$$U_{p,air} = 3,24 \cdot \pi \cdot d \cdot (\theta_w - \theta_e)^{0,3}$$

Tubazione isolata singolarmente
corrente in aria



$$U_{p,air} = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_D} \cdot \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_{air} \cdot D}} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

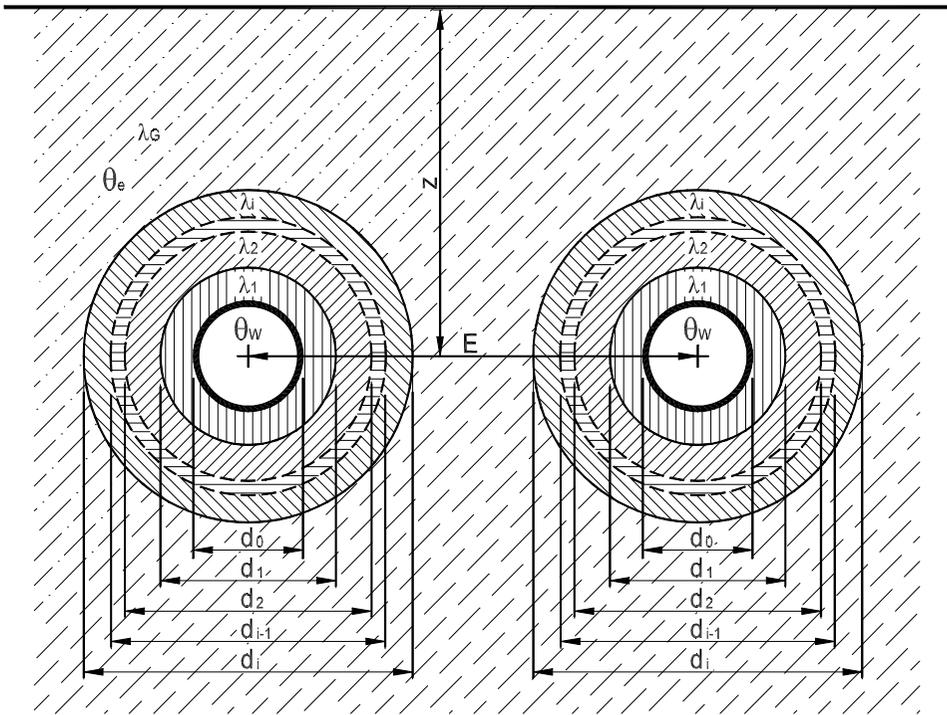
Tubazioni isolate singolarmente incassate nella muratura

$$U_{p,g} = \frac{\pi}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2 \cdot \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_i}{d_{i-1}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_G} \cdot \ln \frac{4 \cdot z}{d_n} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_G} \cdot \ln \sqrt{1 + \frac{4 \cdot z^2}{E^2}}} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

**COIBENTAZIONE
TUBAZIONE**

**INCASSO
TUBAZIONE**

**VICINANZA
SECONDA
TUBAZIONE**



Esempio: quanto disperde una rete

Tubazione da 2" , $\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

S = 40 mm, singola in aria: 0,24 W/K

S = 40 mm, coppia incassata a muro: 0,25 W/K

S = 0 mm in aria: 1,8...2,3 W/K (40...80°C)

S = 0 mm, coppia incassata a muro: 2,2 W/K

Con 0,25 W/K $\Delta T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ per 4000 ore/anno

→ 30 kWh → 3 m³ di metano → **2,10 €/anno**

... per ogni metro di tubazione isolata...

10/01/2023



Diagramma Q-H per elettropompa plurivelocità – regolazione a punto fisso

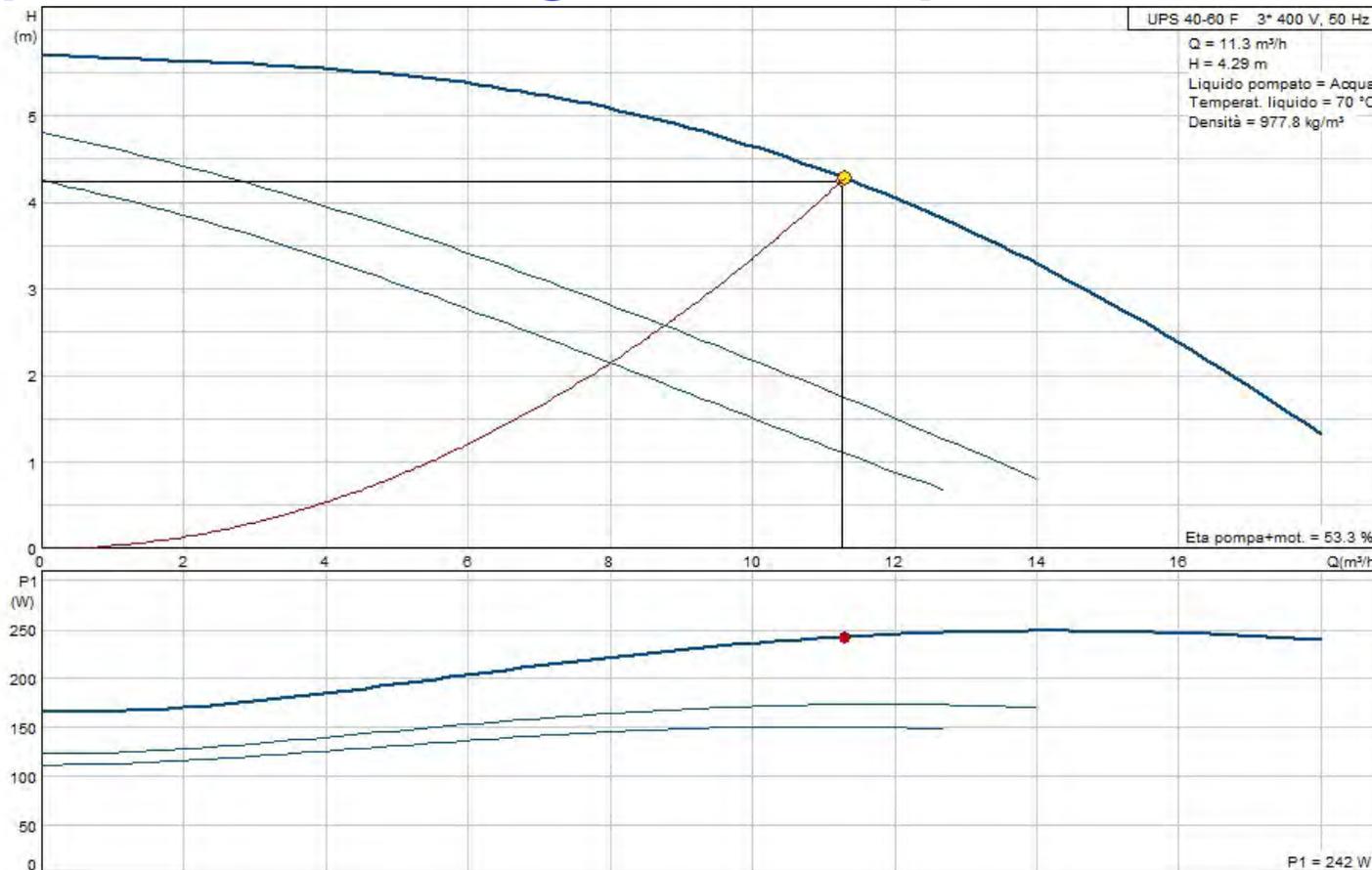
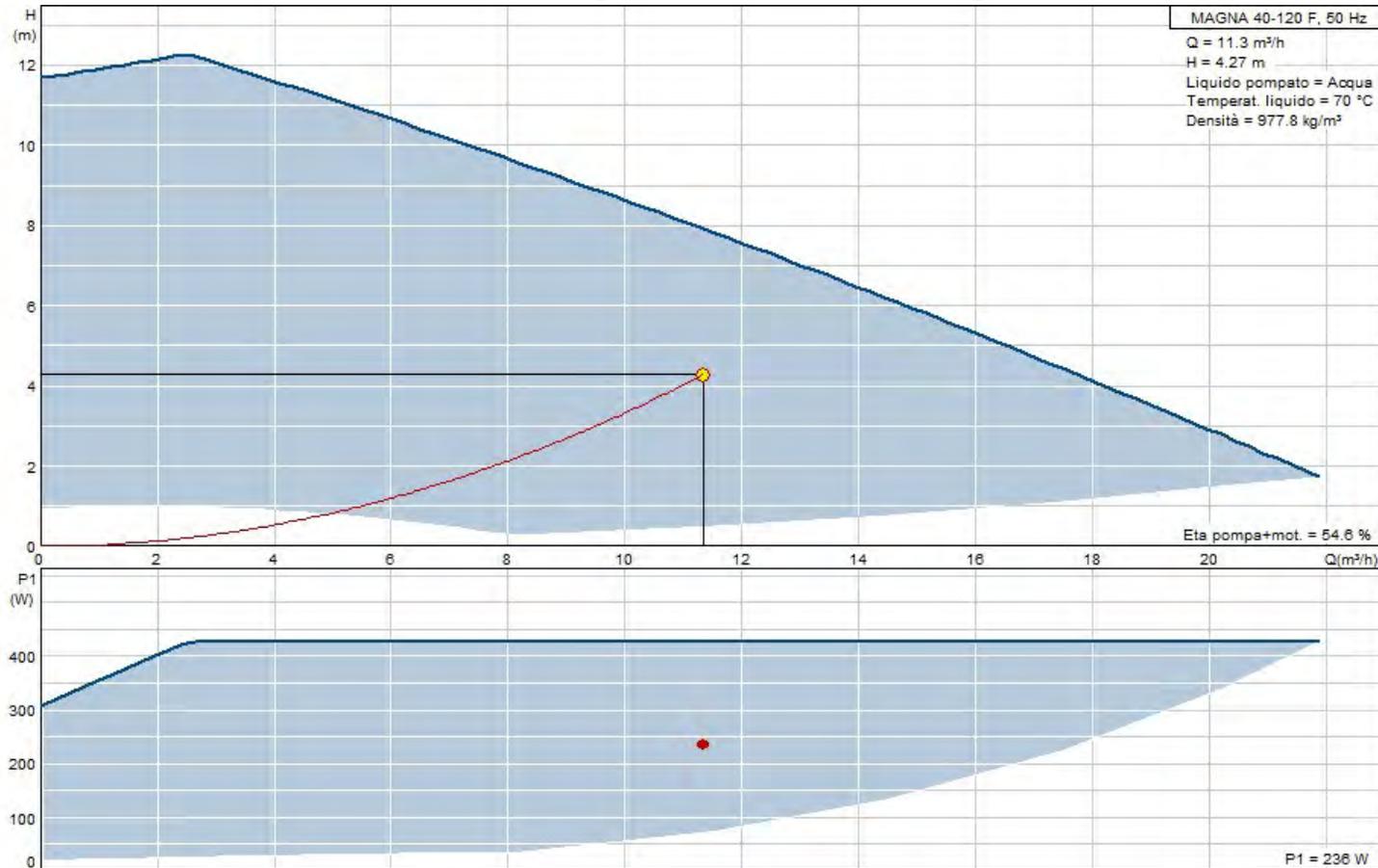


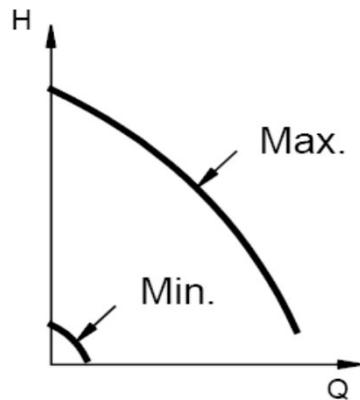
Diagramma Q-H per elettropompa elettronica – regolazione a giri fissi



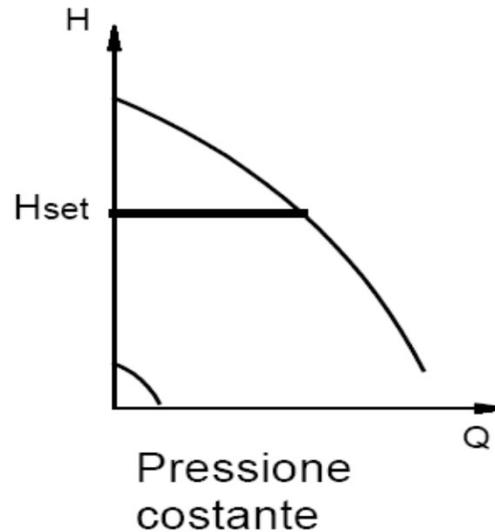
Pompe elettroniche

Dispositivo a controllo elettronico → parametrizzazione

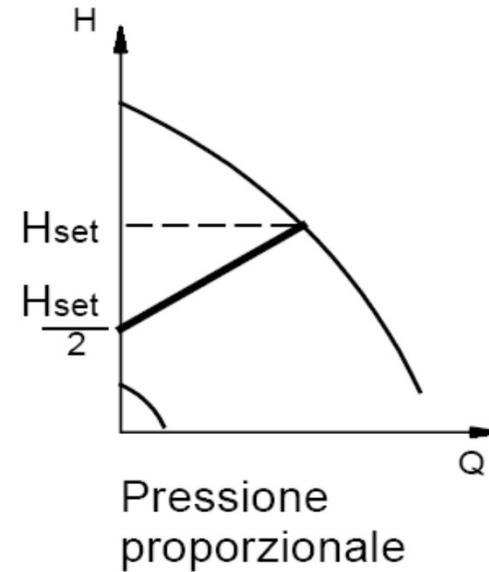
A giri fissi



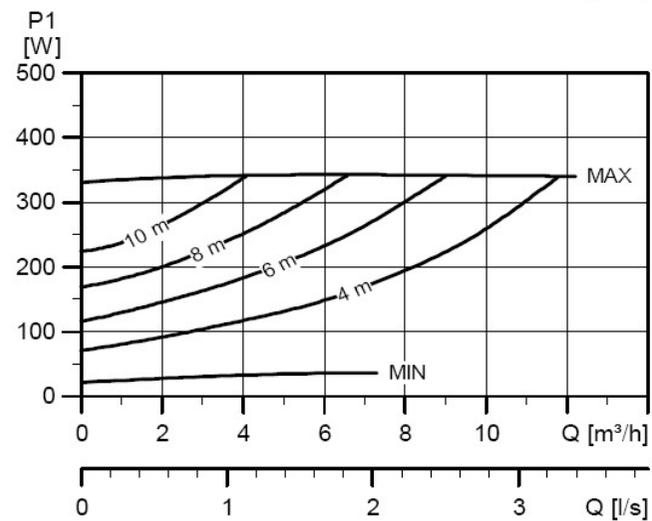
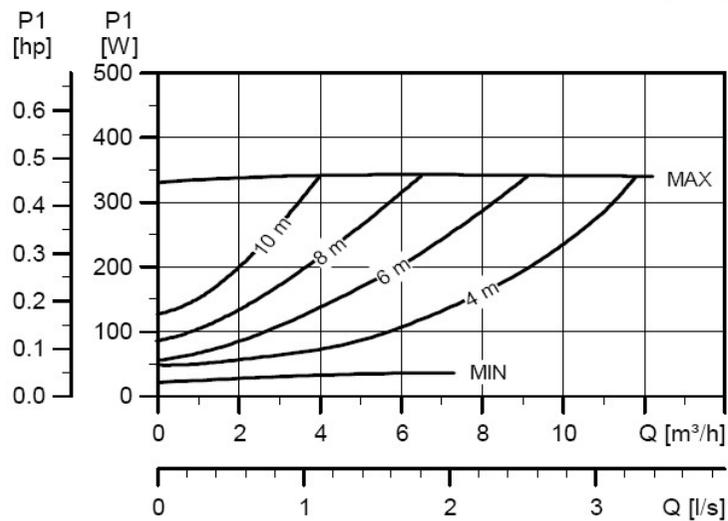
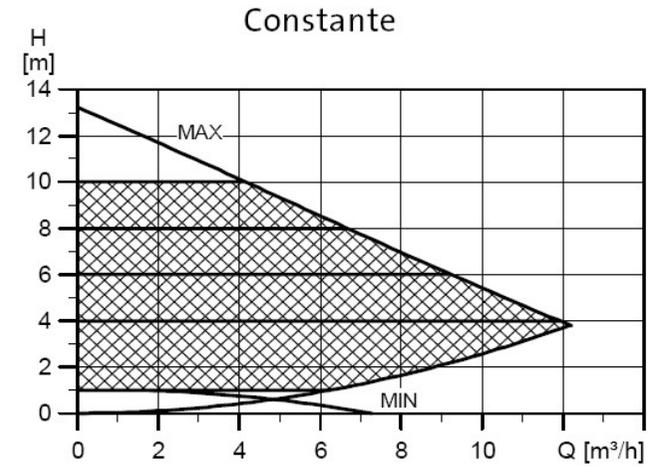
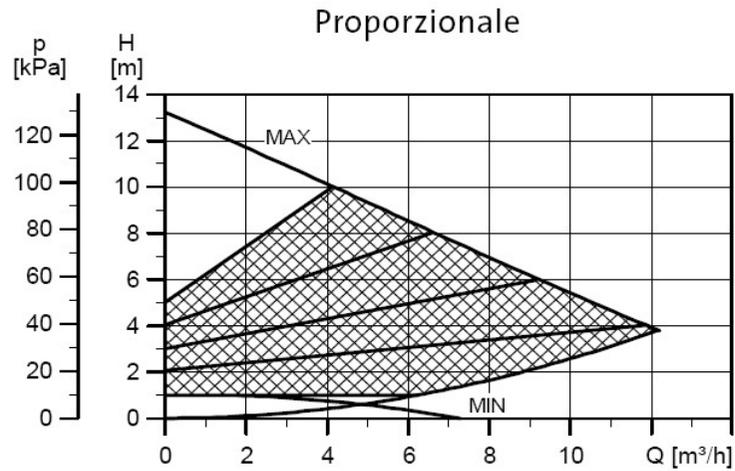
A pressione costante
(per impianti a zone)



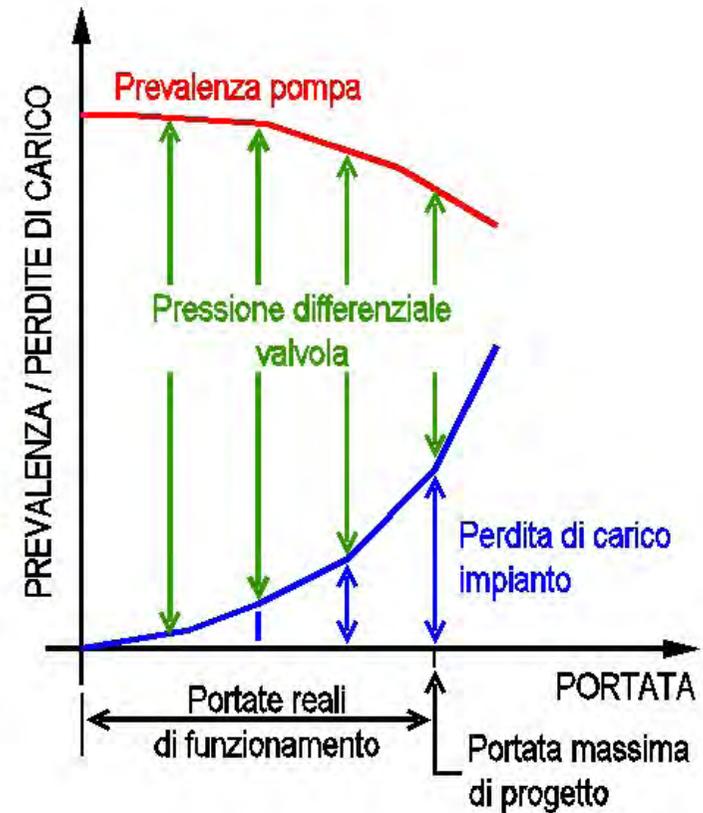
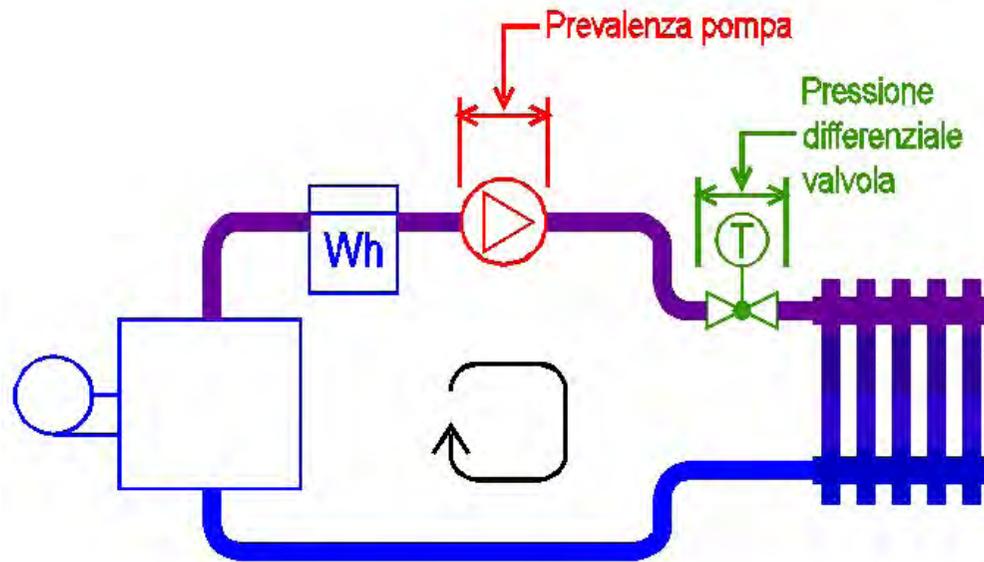
A pressione proporzionale
(valvole termostatiche)



10/01/2023

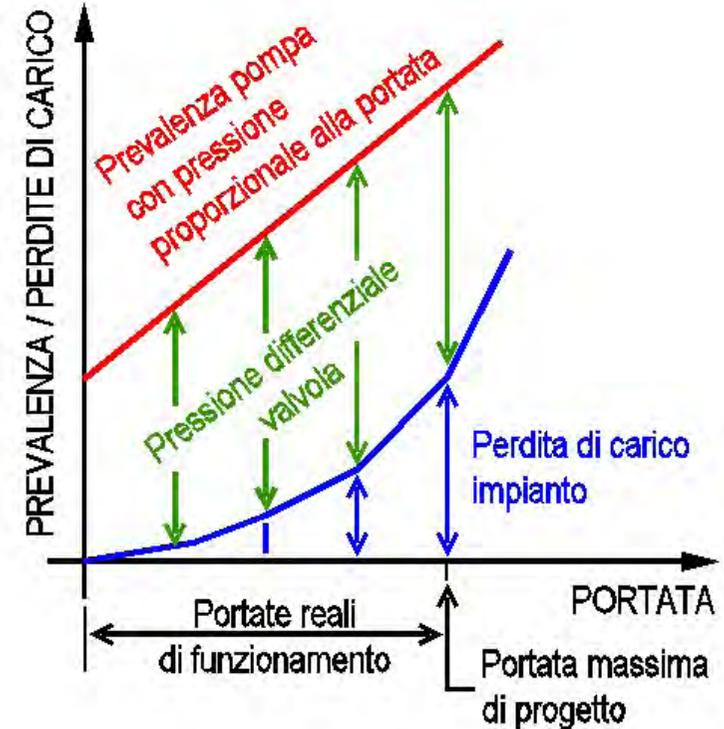
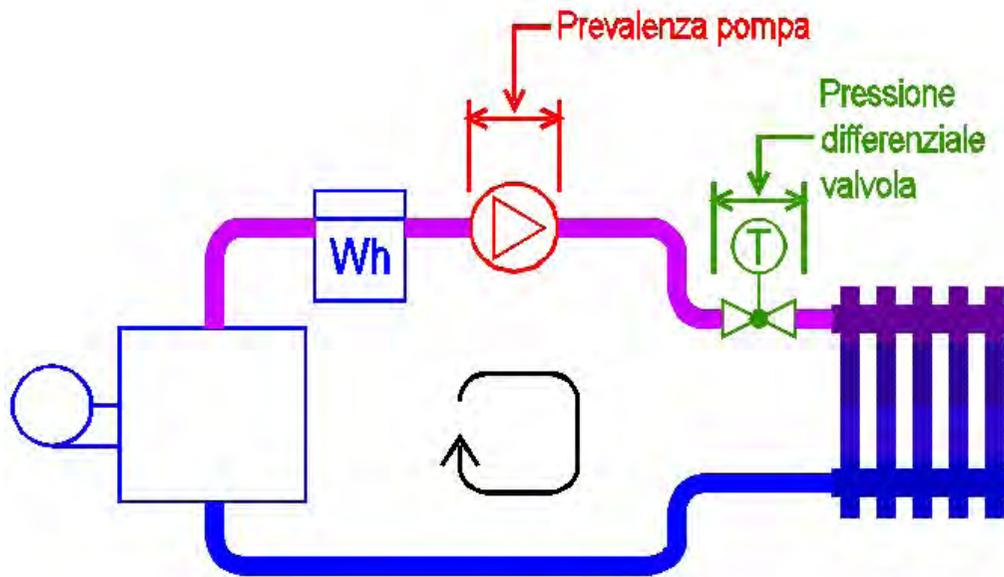


Scelta della pompa: giri fissi



AL RIDURSI DELLA PORTATA CIRCOLANTE AUMENTA LA PRESSIONE DIFFERENZIALE A CAVALLO DEI DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE DELLE UTENZE...

Scelta della pompa: giri variabili



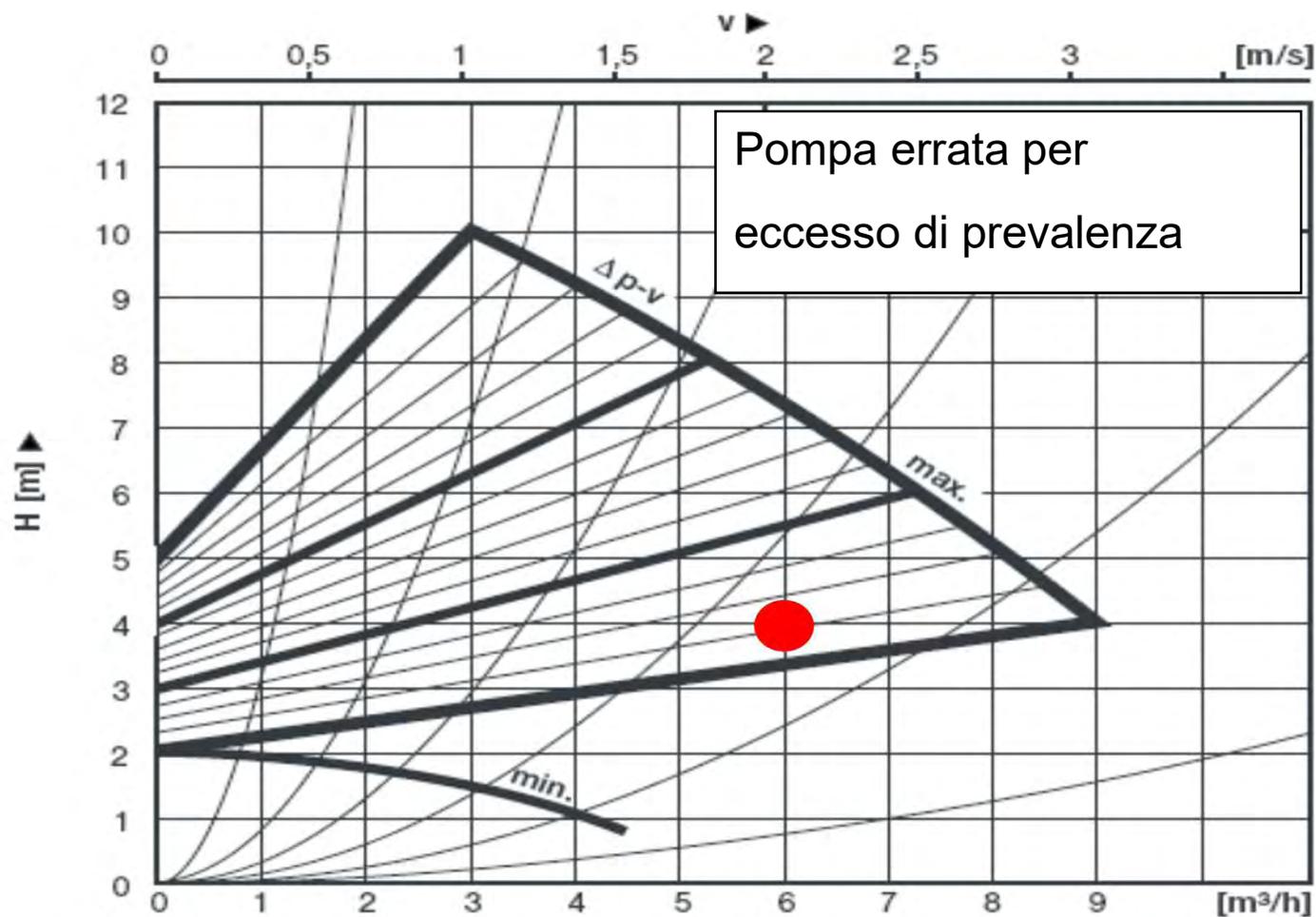
SCEGLIENDO LA REGOLAZIONE A PRESSIONE PROPORZIONALE (ALLA PORTATA), LA PRESSIONE DIFFERENZIALE A CAVALLO DEI DISPOSITIVI DI REGOLAZIONE E' APPROSSIMATIVAMENTE COSTANTE.

ATTENZIONE ALLA PENDENZA DELLA CARATTERISTICA DELLA POMPA

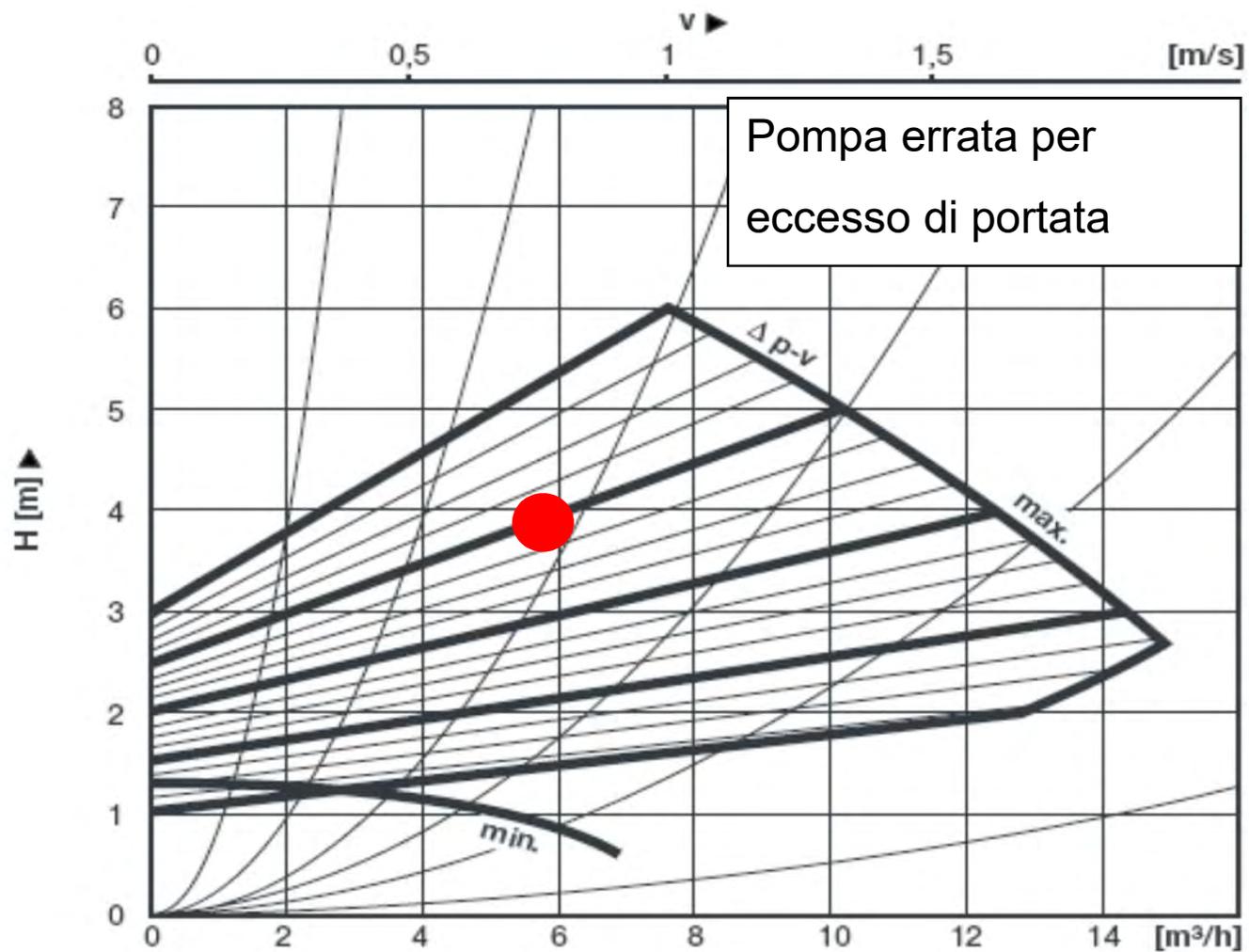
Dimensionamento della pompa

- ❑ Portata: potenze corpi scaldanti, ΔT 20 ° C
- ❑ Prevalenza (valori indicativi):
 - 1,2...2,0 m c.a per le valvole
 - 1,0...2,0 m c.a. per le tubazioni
 - Perdita in caldaia + accessori
 - ... totale 2...5 m c.a. (mai oltre perché altrimenti si superano i 3 m c.a. a portata nulla)
- ❑ Impostazione: curva a pressione proporzionale
- ❑ Indicare l'estremo della curva che passa per il punto di lavoro
- ❑ Verificare che la pompa sia adatta per portata nulla

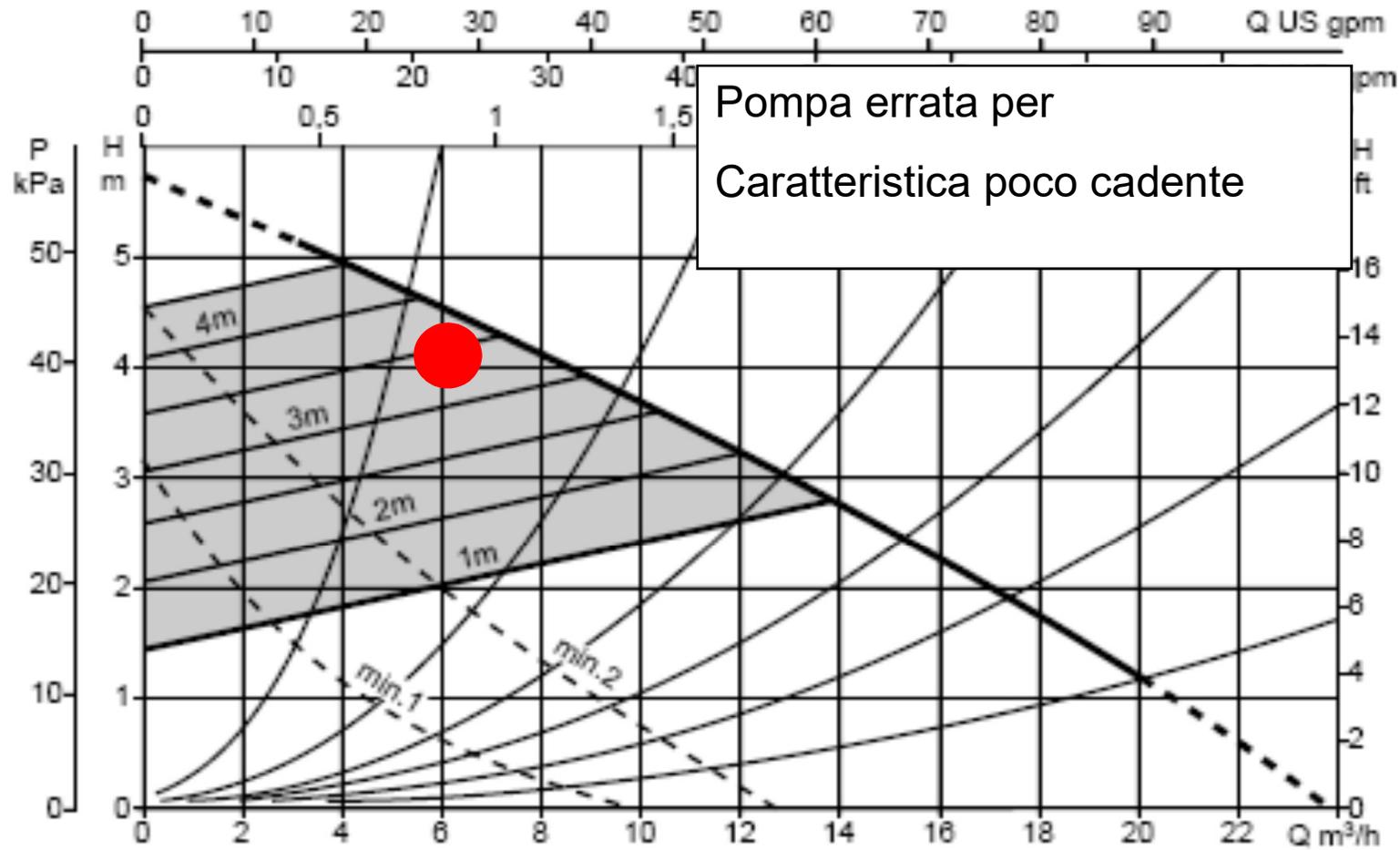
10/01/2023



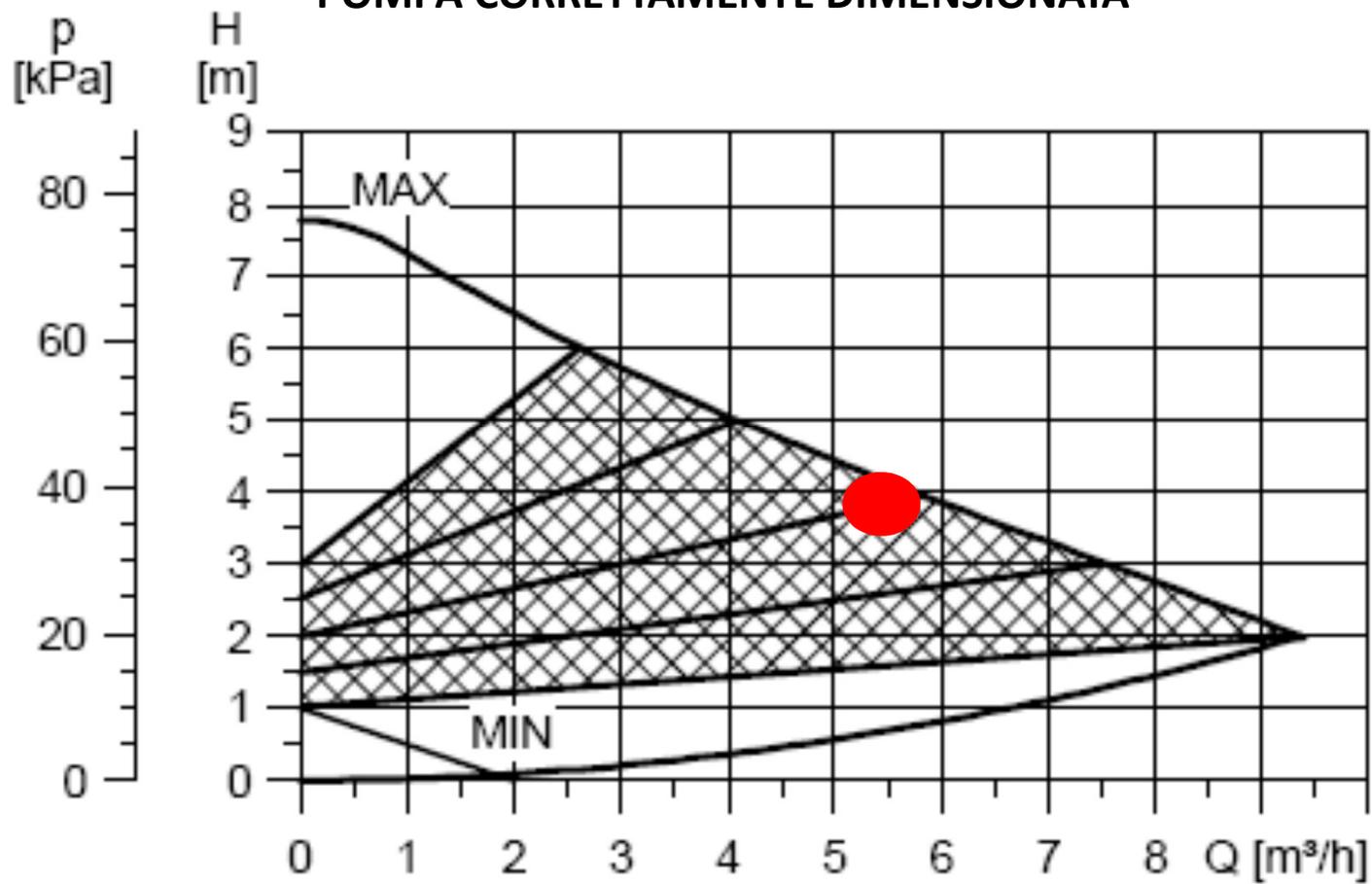
10/01/2023



10/01/2023

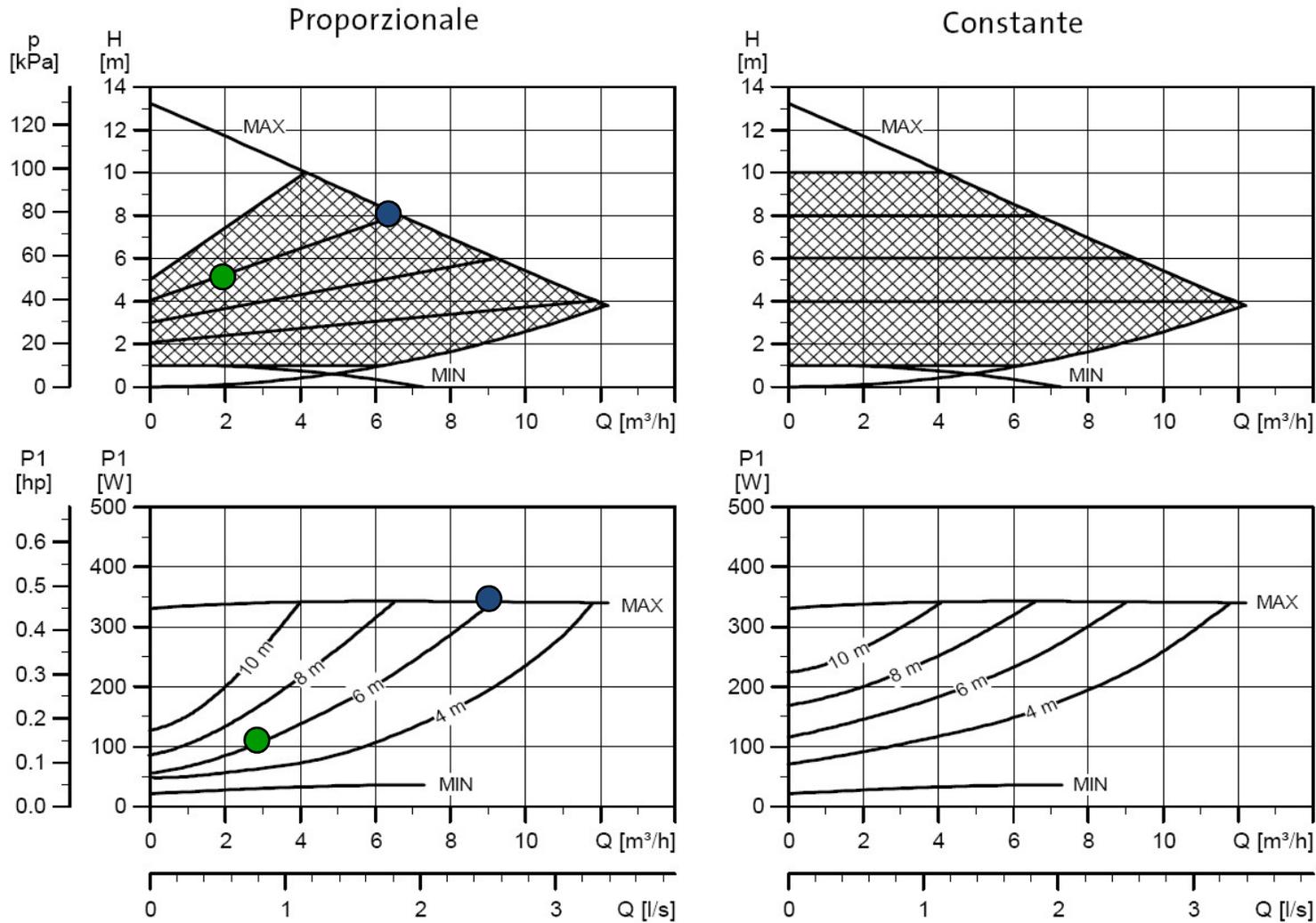


POMPA CORRETTAMENTE DIMENSIONATA

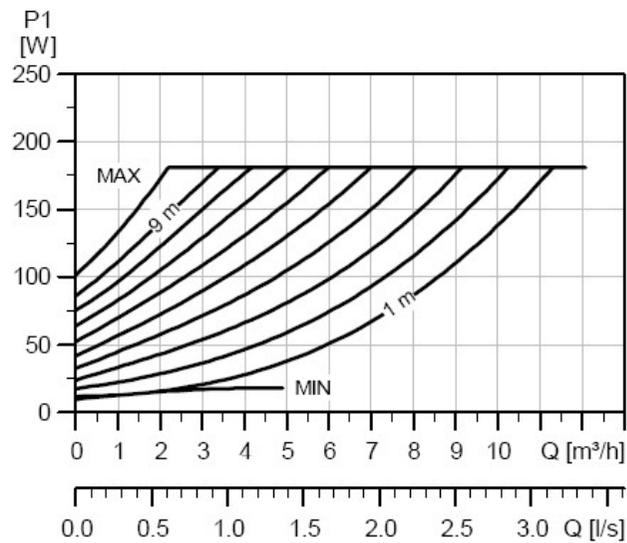
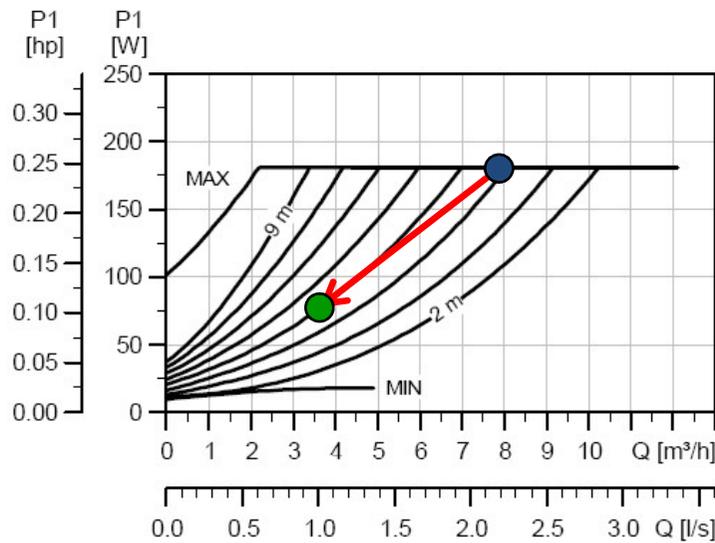
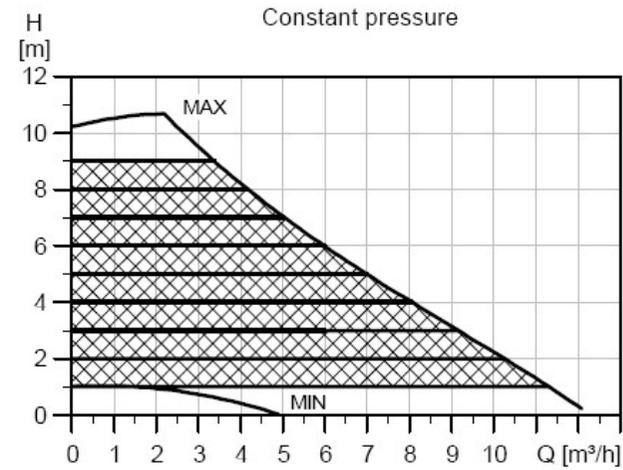
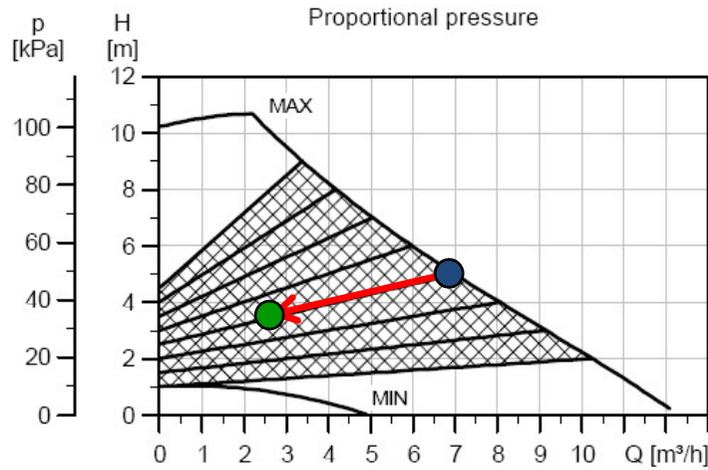


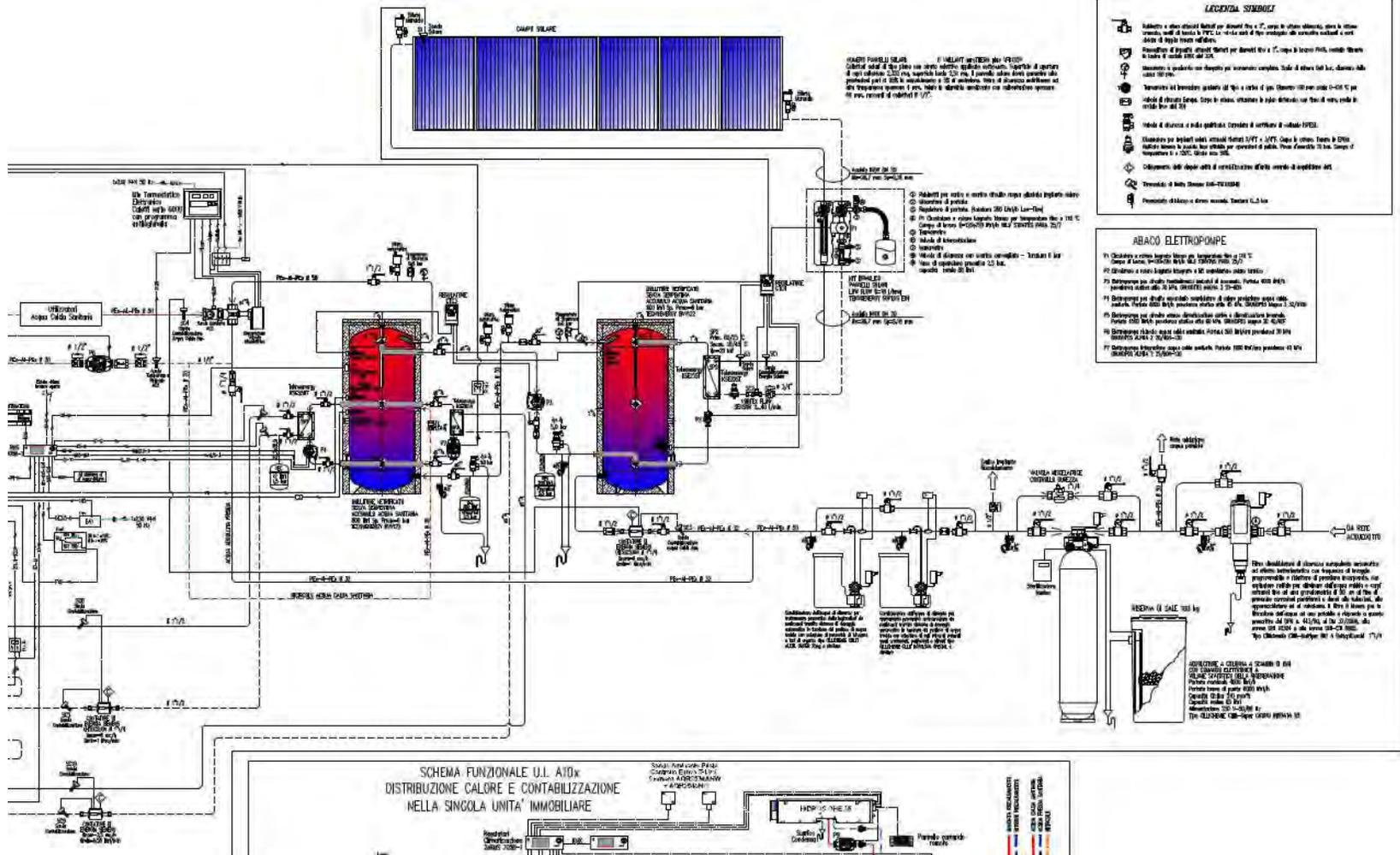
10/01/2023

Corso di progettazione avanzata per impianti termici negli edifici - cod. 171/2011

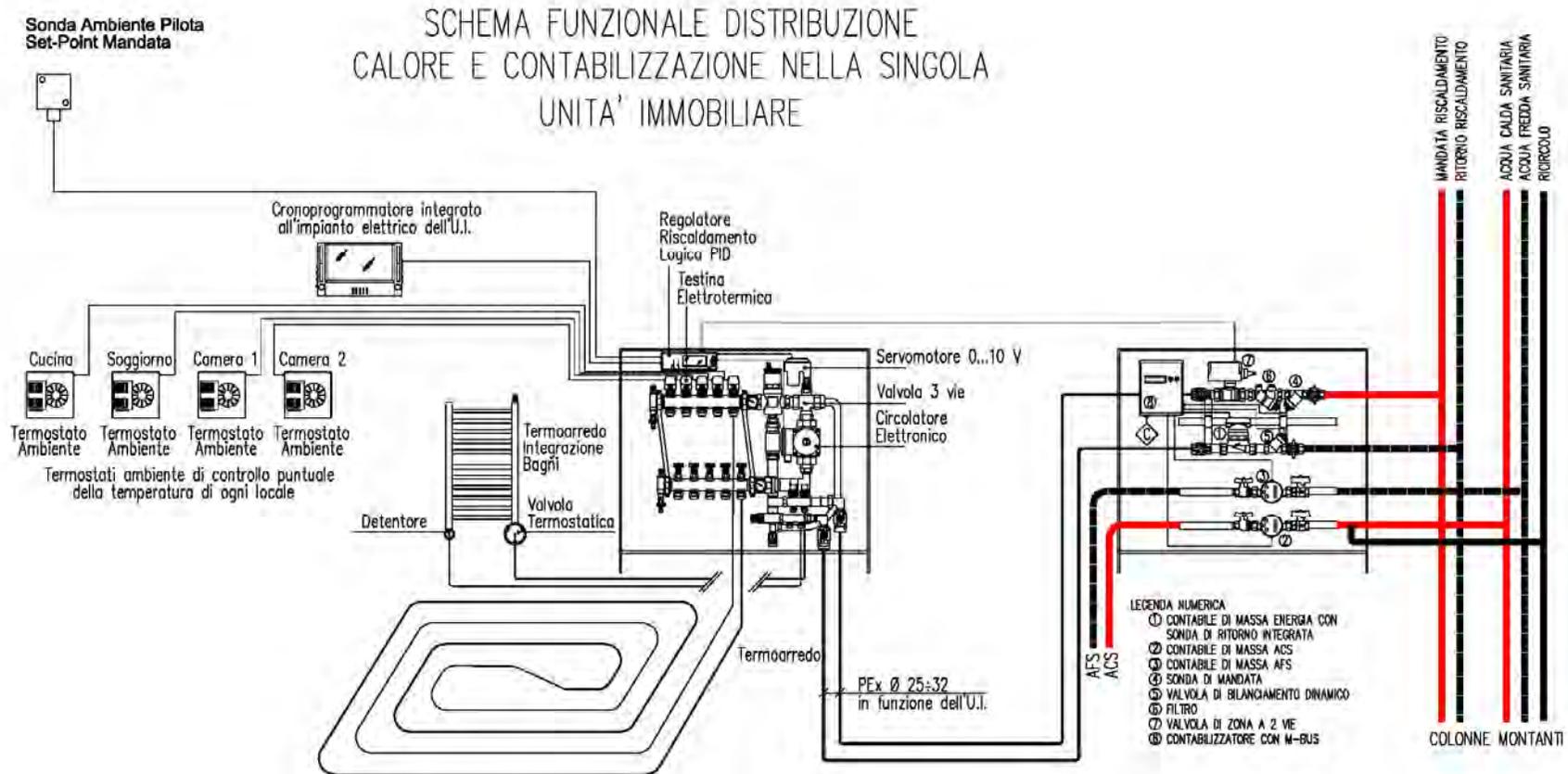


10/01/2023



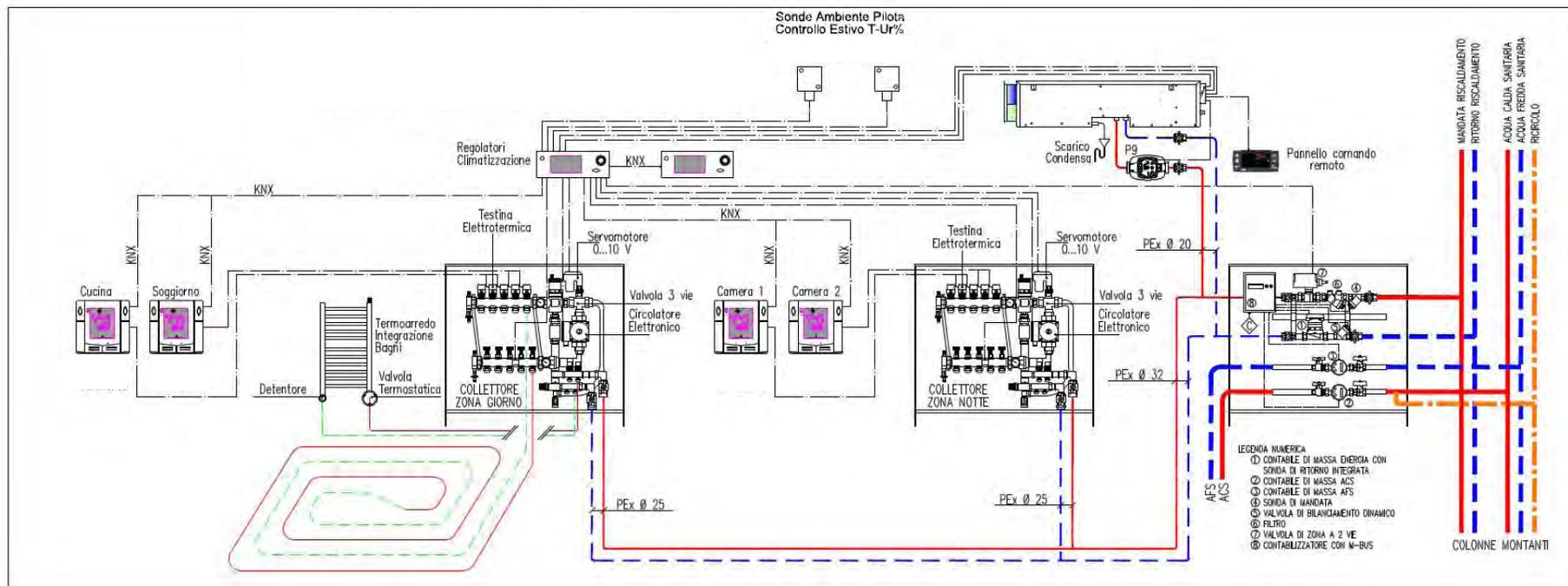


Schema Funzionale Edificio composto 12 unità immobiliari senza VMC



Schema Funzionale e schema di regolazione riscaldamento

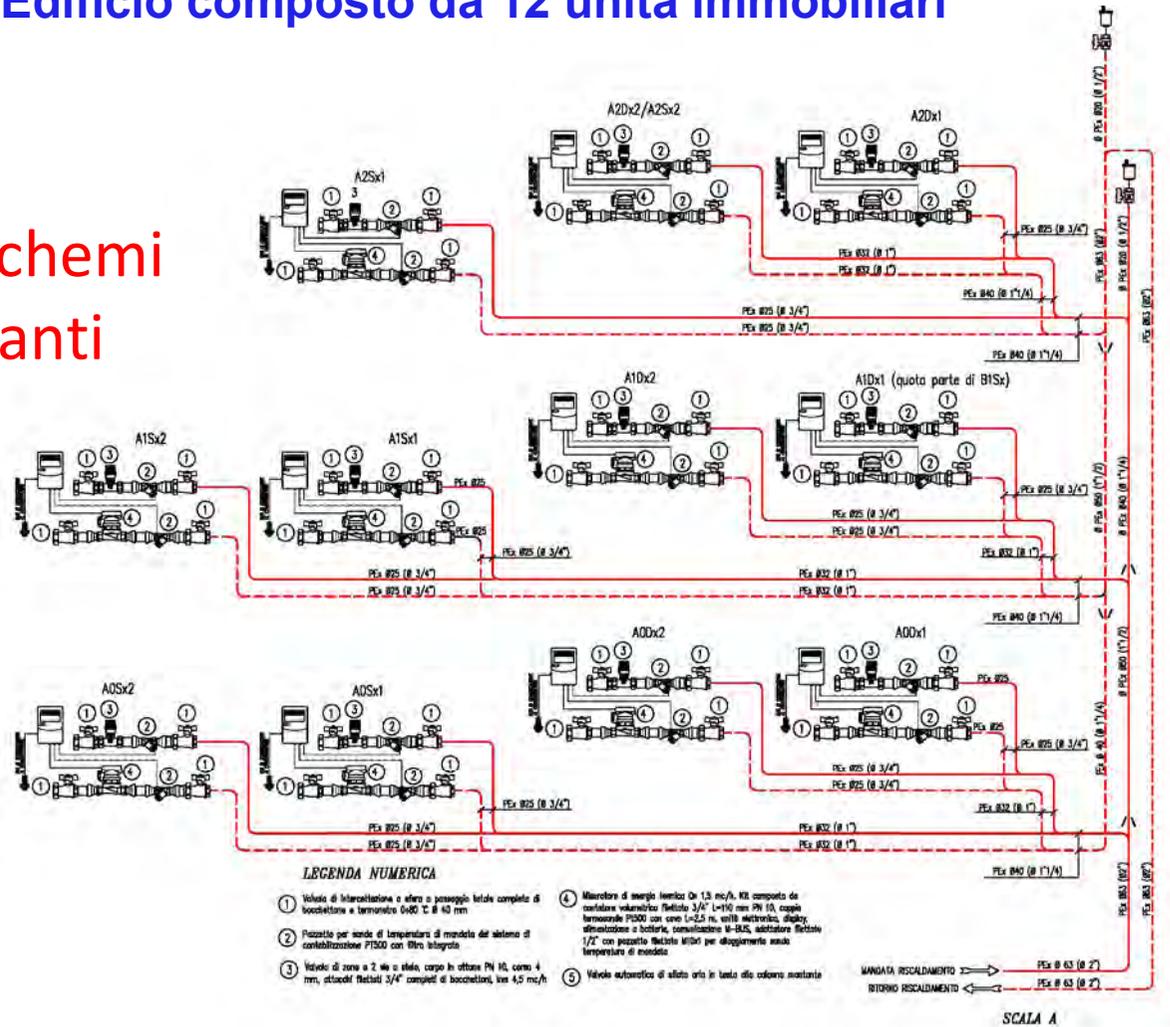
Schema Funzionale Edificio composto da 5 unità immobiliari con VMC



Schema Funzionale e schema di regolazione riscaldamento, climatizzazione estiva e VMC

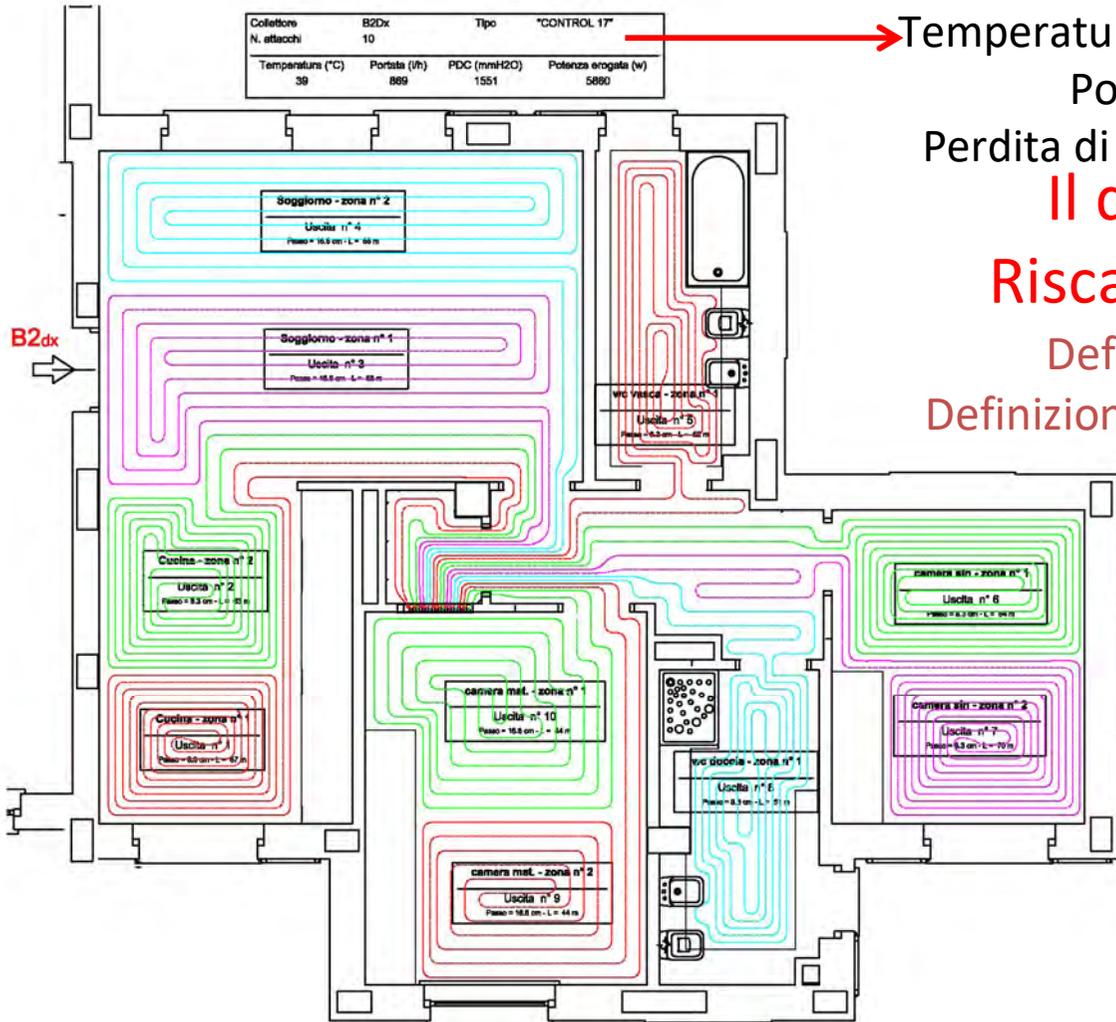
Schema Funzionale Edificio composto da 12 unità immobiliari

Riscaldamento Schemi Colonne Montanti



10/01/2023

Schema Funzionale Edificio composto da 12 unità immobiliari



→ Temperatura 39 ° C ($T_{est} - 9 ° C$)
Portata 869 l/h

Perdita di carico 1551 mmH₂O

Il dimensionamento del Riscaldamento a pavimento

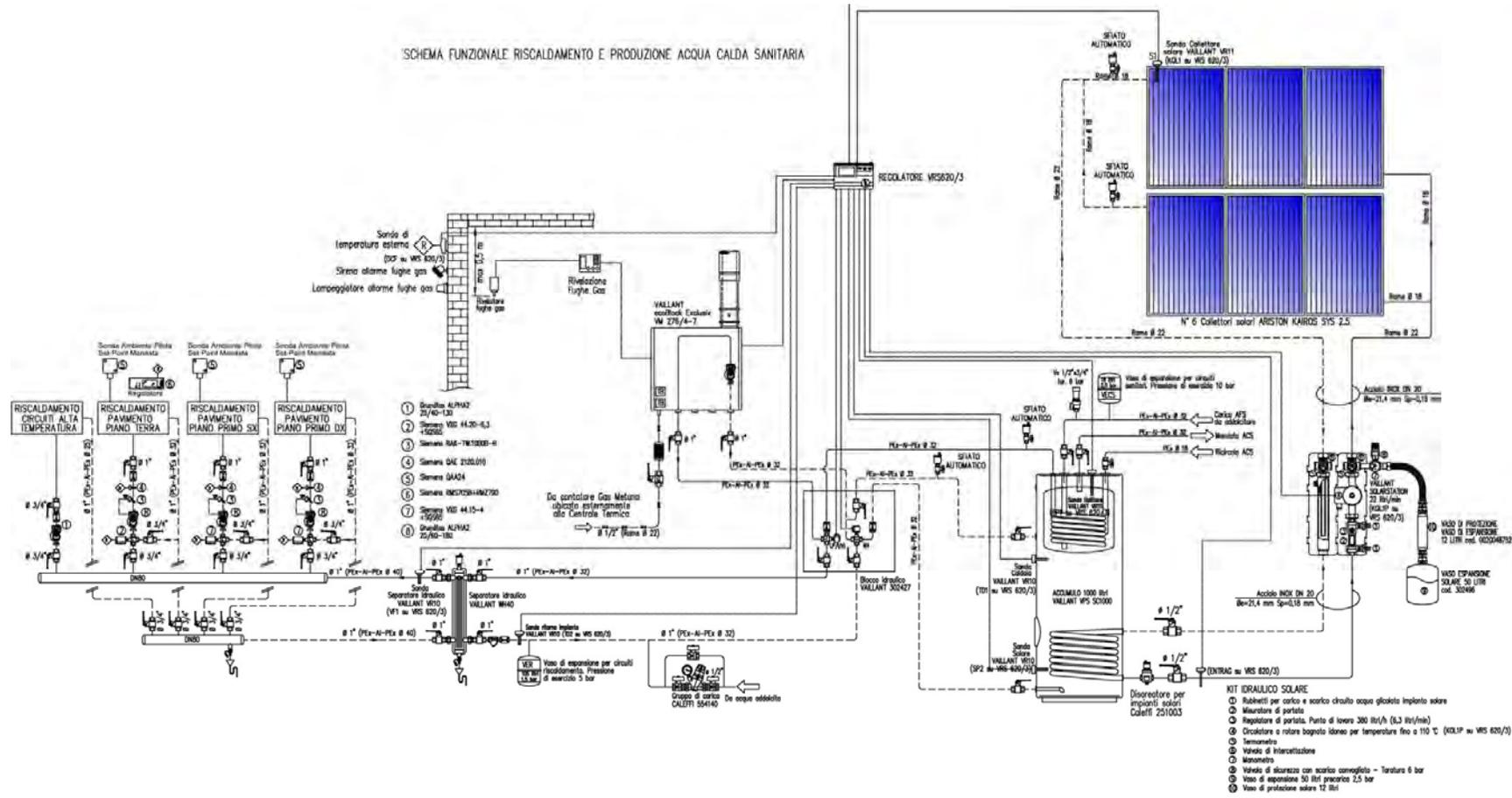
Definizione dei circuiti e dei passi

Definizione delle portate e delle temperature di mandata

10/01/2023

Dimensionamento Impianto

SCHEMA FUNZIONALE RISCALDAMENTO E PRODUZIONE ACQUA CALDA SANITARIA



10/01/2023



L'impianto in opera



Il dimensionamento delle Colonne montanti In funzione delle temperature di progetto

Portata	Watt	T _{MANDATA}	ΔT	T _{RITORNO}	Portata a T _{MAX}
862	5240	34	5,228	28,772	440,608
621	4401	36	6,095	29,905	416,162
1057	6957	36	5,660	30,340	690,834
839	4907	35	5,030	29,970	467,35
893	7141	39	6,877	32,123	893,000

$$q_M = \frac{\dot{Q}_m (T_m - T_r)}{T_M - T_r}$$

Portata totale colonna montante 2907,954
 T_{MAX}=39 °C
 Q_{MAX}=4272 l/h



Ø 42 pressfitting
 Ø 1"1/2 acciaio
 Ø 50 multistrato

Compensazione climatica della PdC

T_M=39° C con T_{est}=-9° C
 T_M=25° C con T_{est}=+15° C

Dimensionamento Impianto

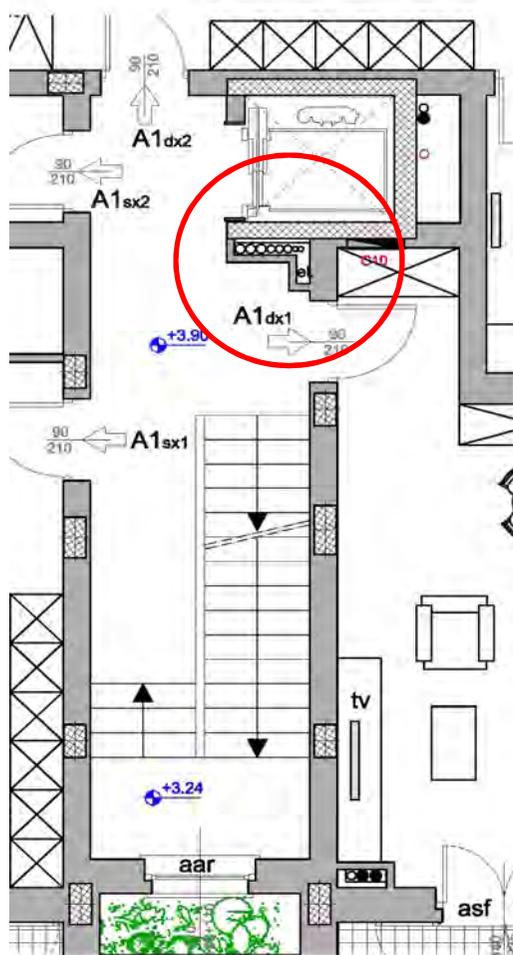
Il dimensionamento delle Colonne montanti

Perdite di carico continue TUBI IN ACCIAIO (pollici) - Temperatura acqua = 50°C

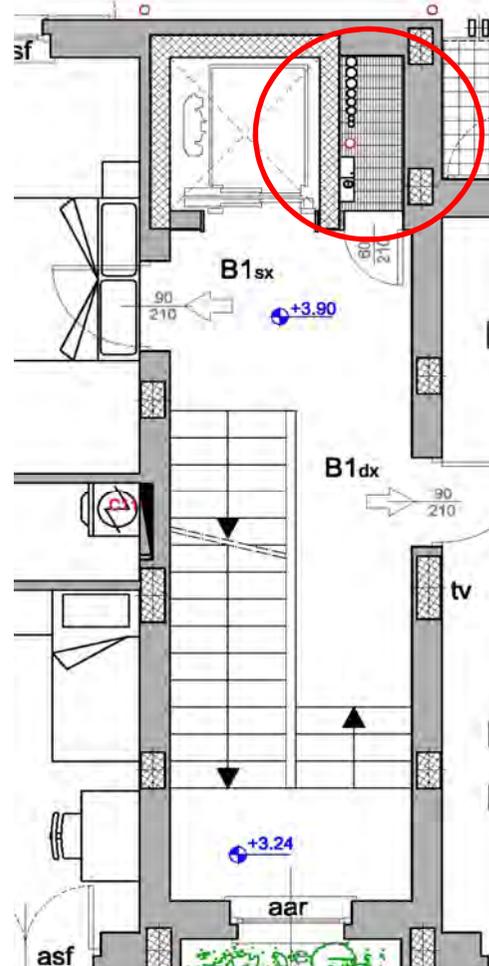
		r = perdite di carico continue, mm c.a./m														
		G = portate, l/h														
		v = velocità, m/s														
r	Ø	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	6"	Ø	r	
2	G	47	94	201	371	777	1.166	2.196	4.374	6.707	13.577	23.813	38.478	G	2	
	v	0,10	0,12	0,15	0,17	0,21	0,23	0,27	0,33	0,36	0,44	0,50	0,57	v		
4	G	69	136	292	538	1.126	1.689	3.182	6.337	9.717	19.669	34.499	55.743	G	4	
	v	0,15	0,18	0,22	0,25	0,31	0,34	0,40	0,47	0,53	0,63	0,73	0,82	v		
6	G	85	169	362	668	1.399	2.098	3.952	7.871	12.069	24.431	42.852	69.240	G	6	
	v	0,19	0,22	0,27	0,31	0,38	0,42	0,49	0,59	0,66	0,78	0,90	1,02	v		
8	G	99	197	422	779	1.631	2.447	4.610	9.181	14.076	28.495	49.978	80.755	G	8	
	v	0,22	0,26	0,31	0,37	0,44	0,49	0,58	0,69	0,76	0,91	1,05	1,19	v		
10	G	112	222	476	878	1.898	2.757	5.194	10.344	15.861	32.106	56.312	90.990	G	10	
	v	0,25	0,29	0,35	0,41	0,50	0,55	0,65	0,77	0,86	1,03	1,19	1,34	v		
12	G	123	245	525	968	2.026	3.039	5.726	11.403	17.485	35.394	62.079	100.308	G	12	
	v	0,27	0,32	0,39	0,46	0,55	0,61	0,72	0,85	0,95	1,14	1,31	1,48	v		
14	G	134	266	570	1.051	2.200	3.301	6.218	12.383	18.987	38.435	67.413	108.927	G	14	
	v	0,29	0,35	0,42	0,50	0,60	0,66	0,78	0,93	1,03	1,23	1,42	1,61	v		
16	G	144	285	612	1.129	2.363	3.545	6.678	13.300	20.393	41.280	72.403	116.989	G	16	
	v	0,32	0,38	0,46	0,53	0,64	0,71	0,83	0,99	1,11	1,32	1,53	1,72	v		
18	G	153	304	652	1.202	2.517	3.775	7.112	14.165	21.718	43.964	77.110	124.595	G	18	
	v	0,34	0,40	0,48	0,57	0,68	0,76	0,89	1,06	1,18	1,41	1,63	1,84	v		
20	G	162	322	689	1.272	2.663	3.994	7.524	14.985	22.977	46.512	81.580	131.817	G	20	
	v	0,36	0,42	0,51	0,60	0,72	0,80	0,94	1,12	1,25	1,49	1,72	1,94	v		
22	G	171	338	725	1.338	2.802	4.203	7.918	15.769	24.179	48.944	85.845	138.709	G	22	
	v	0,37	0,44	0,54	0,63	0,76	0,84	0,99	1,18	1,31	1,57	1,81	2,04	v		
24	G	179	354	760	1.402	2.935	4.403	8.295	16.520	25.330	51.275	89.934	145.316	G	24	
	v	0,39	0,47	0,57	0,66	0,80	0,88	1,04	1,23	1,38	1,64	1,90	2,14	v		
26	G	187	370	793	1.463	3.064	4.596	8.658	17.243	26.438	53.518	93.867	151.671	G	26	
	v	0,41	0,49	0,59	0,69	0,83	0,92	1,08	1,29	1,44	1,72	1,98	2,24	v		
28	G	194	385	825	1.523	3.187	4.782	9.008	17.940	27.507	55.681	97.662	157.802	G	28	
	v	0,43	0,51	0,61	0,72	0,87	0,96	1,13	1,34	1,49	1,79	2,06	2,33	v		
30	G	201	399	856	1.580	3.307	4.961	9.346	18.614	28.541	57.774	101.332	163.733	G	30	
	v	0,44	0,53	0,64	0,74	0,90	0,99	1,17	1,39	1,55	1,85	2,14	2,41	v		
35	G	219	434	930	1.716	3.591	5.388	10.149	20.213	30.993	62.738	110.040	177.802	G	35	
	v	0,48	0,57	0,69	0,81	0,97	1,08	1,27	1,51	1,68	2,01	2,32	2,62	v		
40	G	235	466	999	1.843	3.857	5.786	10.901	21.709	33.287	67.382	118.184	190.963	G	40	
	v	0,51	0,61	0,74	0,87	1,05	1,16	1,36	1,62	1,81	2,16	2,49	2,81	v		
	G	250	496	1.064	1.962	4.108	6.163	11.609	23.121	35.451	71.762	125.868	203.378	G		

10/01/2023

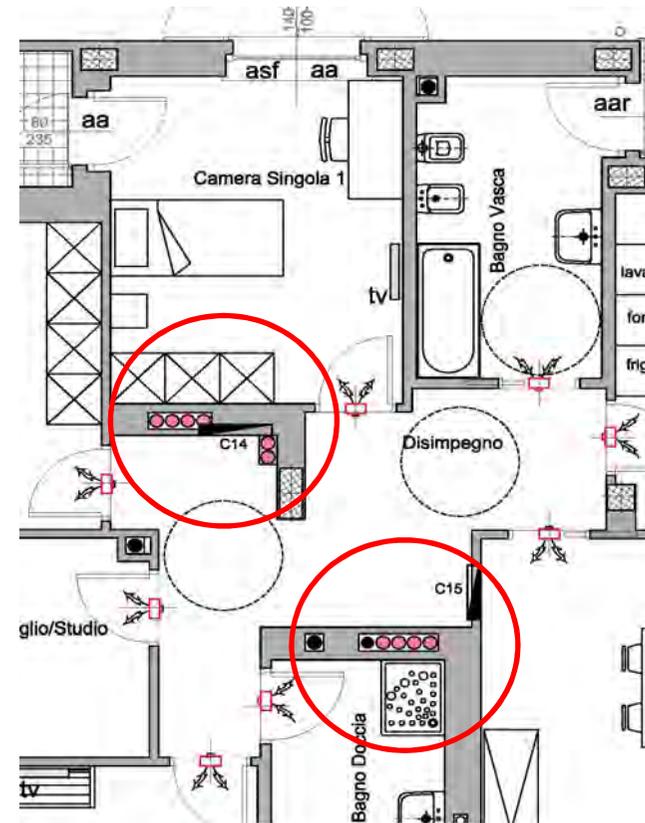
Gli spazi per le colonne montanti



Passaggio impianti
Scala A



Passaggio impianti
Scala B



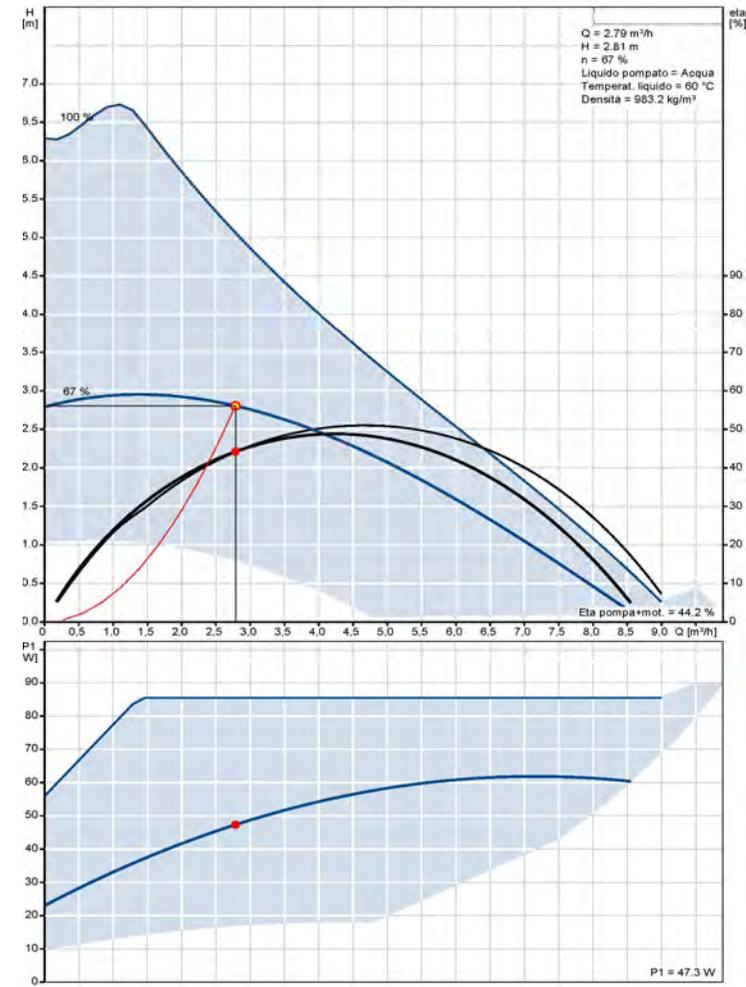
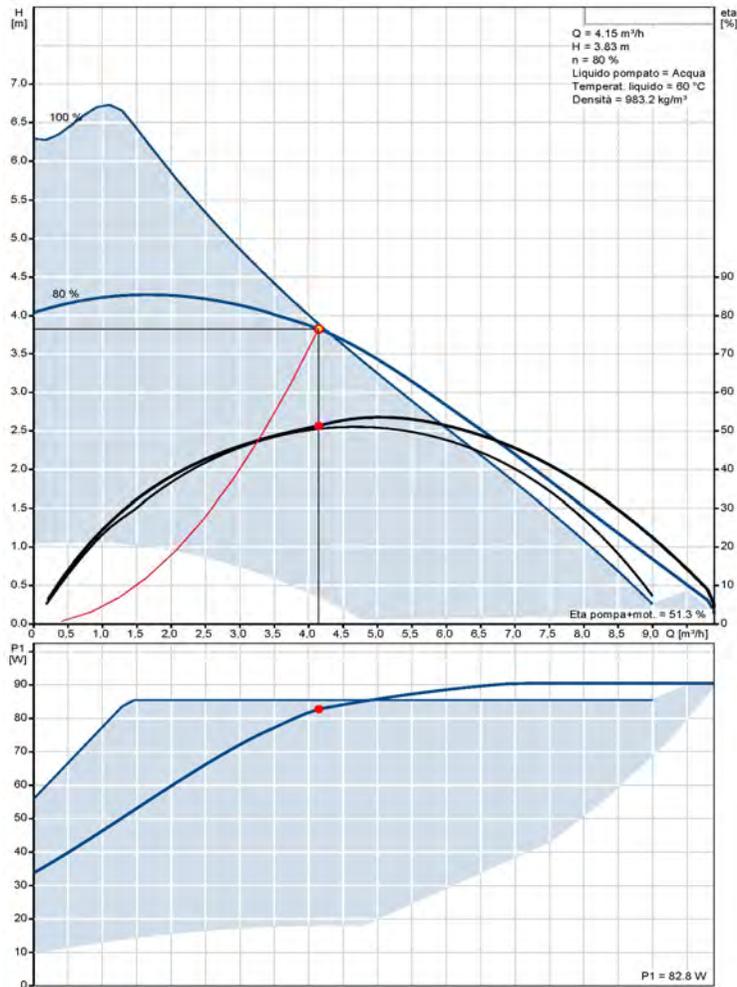
Gli spazi per le colonne montanti



Gli Impianti in opera
Colonne Montanti Fluidi-Elettrici-VMC

Dimensionamento Impianto

Il dimensionamento delle Elettropompe di circolazione



10/01/2023

GRAZIE DELL'ATTENZIONE