Programma

- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Circuiti di distribuzione e pompe di calore
- Conclusione

Programma

- **Introduzione**
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Conclusione

Cosa fa il progettista

Punto di partenza: **esigenza di un servizio**

→ sceglie un insieme di componenti per formare un sistema idoneo a fornire un servizio

- **Dimensionamento**
  - Scelta dei componenti da mettere insieme per fornire il servizio
- **Prestazione energetica**
  - Verifica della prestazione energetica in condizioni reali di esercizio dei componenti scelti

Calcolo di dimensionamento

Serve per stabilire la taglia di apparecchi e componenti

- Determina kW, diametri, portate …
- **In "condizioni di progetto"** → l'impianto "deve farcela" in condizioni estreme
- Calcolo "**dalla parte della sicurezza**" (esempio: carico termico …)
- Conseguenza: sovradimensionamento, condizioni mai raggiunte nell'esercizio, frequenti problemi di marcia a regime ridotto o ridottissimo
- Di solito tollerabile una scarsa precisione (taglie disponibili a gradini ampi)

… **Facile finchè sono caldaie**:

- la potenza massima disponibile è indipendente dalle condizioni climatiche
- costo modesto del kW installato

… **Critico con altri tipi di generatori**: **Pompa di calore**

→ **prestazione minima** in condizioni di esigenze massime

→ **costo elevato** del kW installato

Prestazione energetica

- **Calcolo di prestazione (energia, MJ, kWh, m³ di metano)**
  - **Serve per valutare la prestazione dell'impianto in esercizio**
    - **Prestazione in condizioni standard → limiti di legge, certificazione energetica**
    - **Prestazione in condizioni reali → diagnosi energetica**
  - Calcolo in condizioni medie
  - Calcolo tenendo conto di condizioni ragionevoli
  - Necessaria una buona precisione
  - **Deve essere "validato" con la verifica delle prestazioni reali**

… in condizioni variabili durante la stagione →

→ calcolo per periodi scegliendo un giorno rappresentativo

- accettabile se le prestazioni variano progressivamente e linearmente con le condizioni di funzionamento → **calcolo mensile**
- non sufficiente quando le condizioni e prestazioni varino molto rapidamente e non linearmente con le condizioni di funzionamento
  → **calcolo per bin**, simulazioni dinamiche …

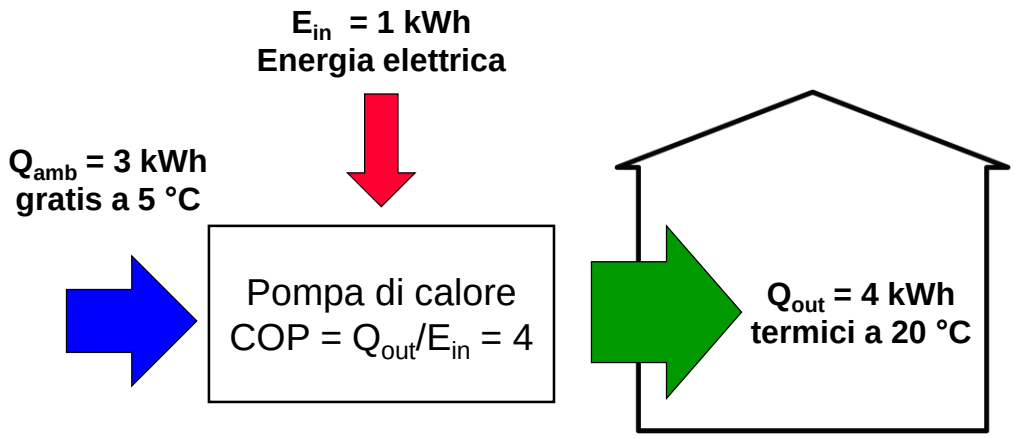
Programma

- Introduzione
- **Pompe di calore: le basi teoriche**
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Conclusione

La pompa di calore

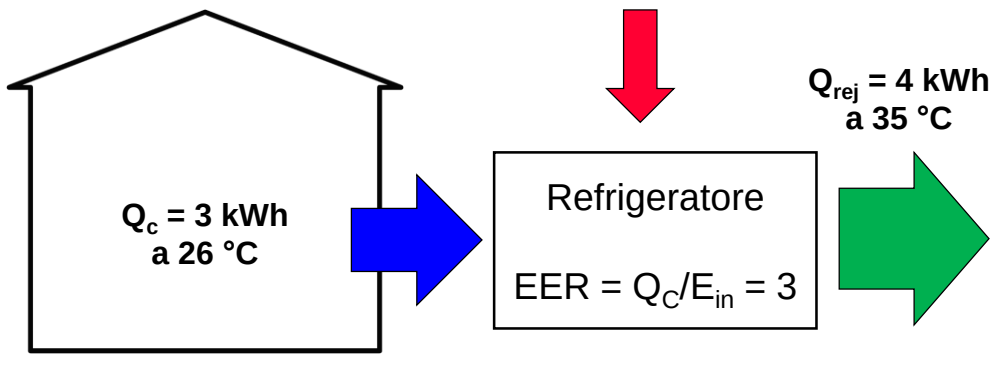
- **E' una macchina che consente di trasferire del calore**
  - **Da un corpo a bassa temperatura (sorgente fredda)**
  - **Ad un corpo a temperatura maggiore (sorgente calda)**
- Per effettuare questo trasferimento è necessario spendere, in alternativa:
  - **energia meccanica**, che viene trasformata in calore
  - **energia termica ad alta temperatura**
- Utilizzo tipico: macchine frigorifere
- COP di una pompa di calore è il rapporto fra
  - energia termica utile trasferita (**fornita alla sorgente calda**)
  - energia elettrica, meccanica o termica spesa

Pompa di calore



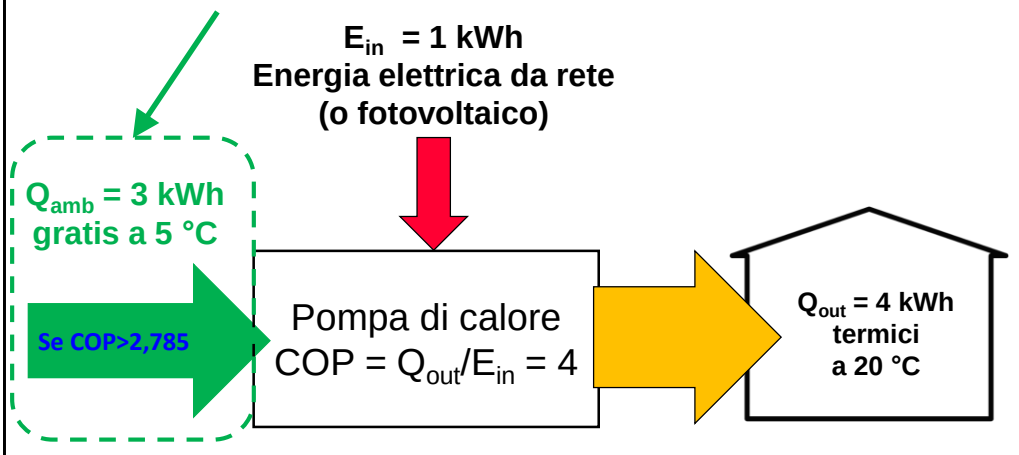
COP: rapporto fra il calore trasferito al pozzo caldo e l'energia assorbita

Refrigeratore

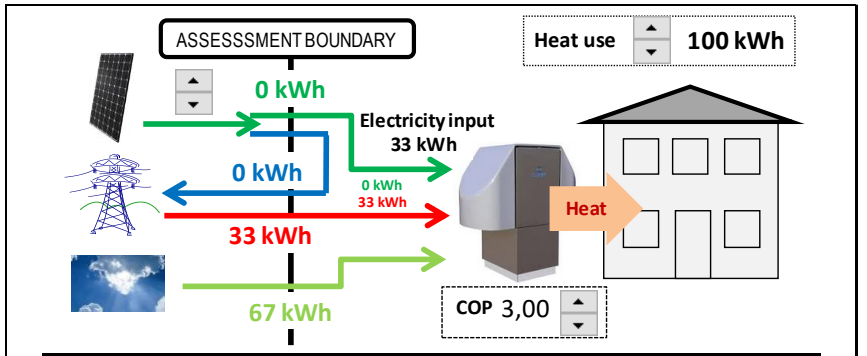


EER: rapporto fra il calore estratto dalla sorgente fredda e l'energia assorbita

Quota «legalmente» rinnovabile

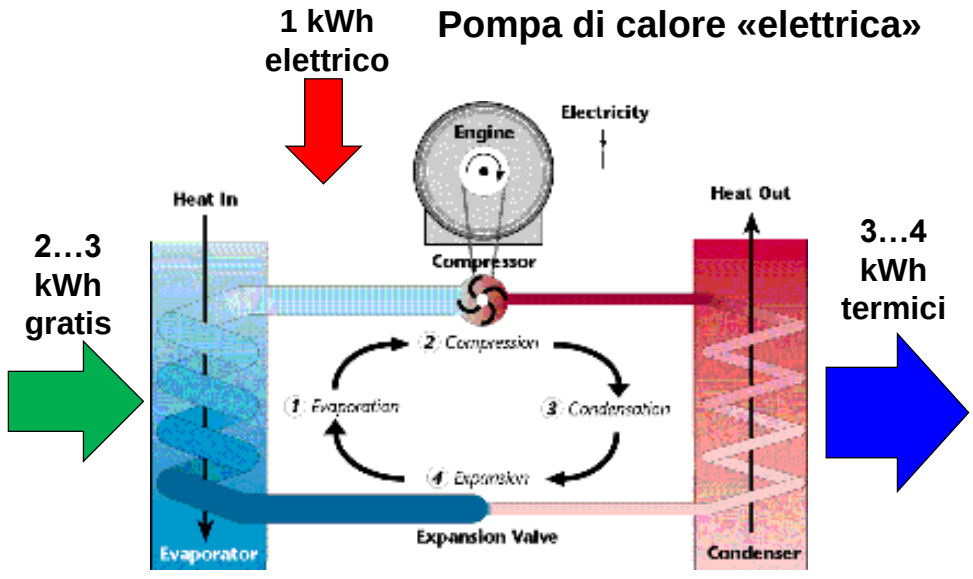


«Legalmente» perché così è ai fini di legge secondo regolamenti europei.
Poiché anche l'energia da rete

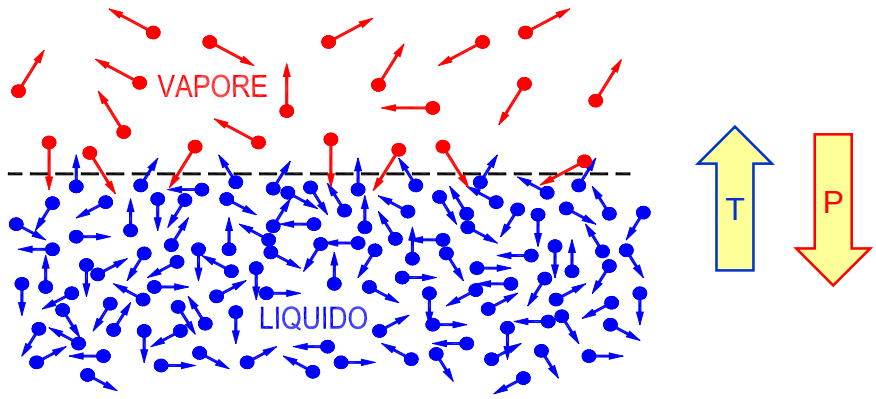


		E	fPnren	fPren	EPnren	EPren1	EPren2	EPtot	RER	RER
		kWh			kWh	kWh	kWh	kWh	tot	nrb-os
+ Delivered energy	PV	0	0,00	1,00	0		0	0		
- Exported energy	PV	0	0,00	1,00	0		0	0		
+ Environment heat	HP	67	0,00	1,00	0		67	67		
+ Delivered energy	Grid	33	1,95	0,47	64	16		80		
TOTAL STEP A					*64*	*16*	*67*	*147*	*56,2%*	*45,6%*
Rendimenti					*155%*			*68%*		

Pompa di calore «elettrica»



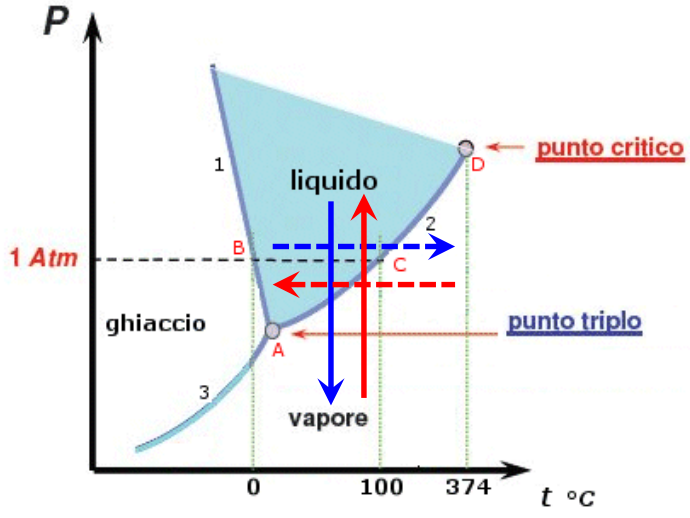
Equilibrio acqua/vapore



L'aumento di temperatura fa aumentare il numero di molecole di acqua che sfuggono dalla superficie → aumenta l'evaporazione

L'aumento di pressione fa aumentare il numero di molecole di acqua che collidono con la superficie dell'acqua e vi si immergono → aumenta la condensazione

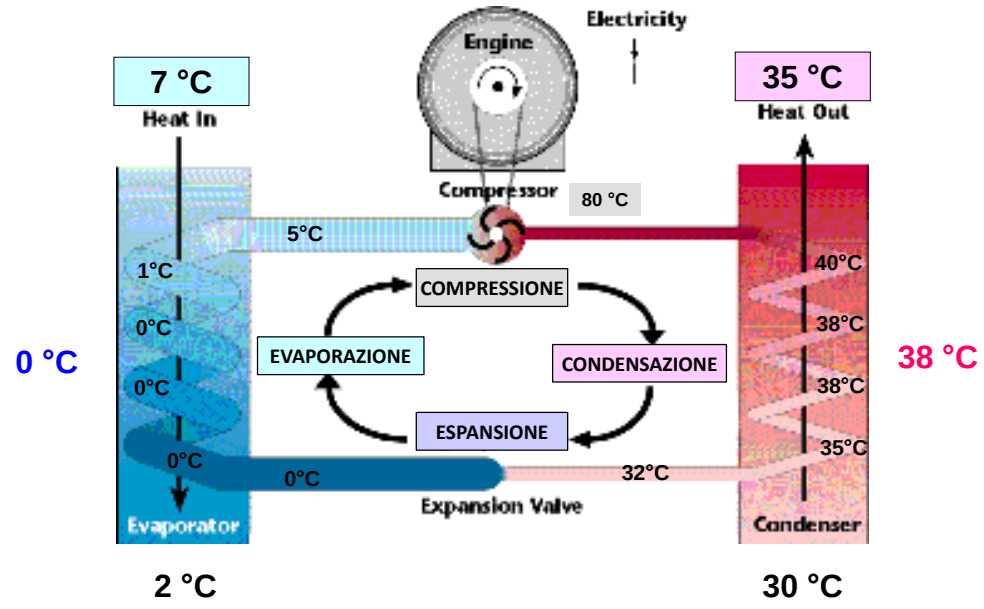
Diagramma di stato P-T



E' possibile far evaporare un liquido o condensare un vapore sia agendo sulla temperatura che agendo sulla pressione.

Si può far bollire un liquido creando una depressione aspirando il vapore

Si può far condensare un vapore comprimendolo



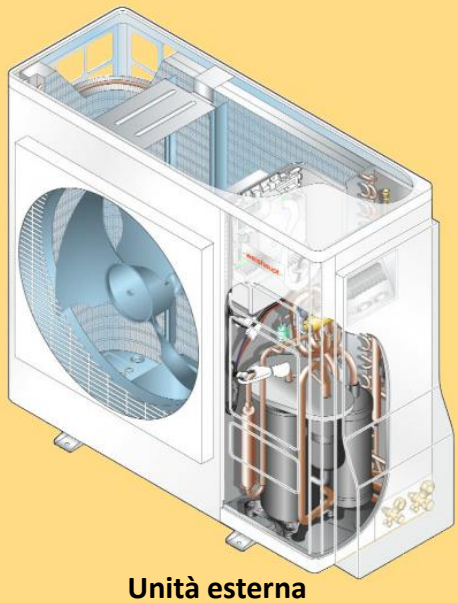
Ciclo frigorifero

- Il compressore aspira il gas dall'evaporatore:
  - diminuisce la pressione nell'evaporatore
  - il liquido evapora nell'evaporatore ed assorbe il calore di evaporazione
  - la temperatura nell'evaporatore scende → 0 °C
  - l'evaporatore assorbe calore dalla sorgente fredda
  - la portata di gas diminuisce all'abbassarsi della temperatura
- Il compressore comprime il gas nel condensatore:
  - aumenta la pressione nel condensatore
  - il gas condensa e rilascia il calore latente di evaporazione
  - la temperatura nel condensatore aumenta → 38 °C
  - il condensatore cede calore al pozzo caldo
  - la potenza assorbita aumenta con la temperatura e la pressione
- La valvola di espansione riporta il liquido nell'evaporatore

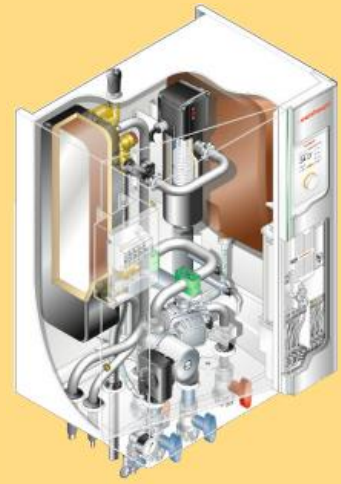
Perché varia la prestazione

- Il calore viene trasferito sotto forma di calore latente, caricandolo sul gas per evaporazione e scaricandolo per condensazione
- La quantità di calore trasferita è proporzionale alla massa di gas che viene fatta evaporare, compressa e fatta condensare

1. **All'aumentare del salto di temperatura**, aumenta il salto di pressione → il lavoro di compressione aumenta → **il COP diminuisce**
2. Il compressore è una macchina volumetrica:
   al diminuire della temperatura di evaporazione diminuisce la densità del gas → diminuisce la massa di gas trasferito, **diminuisce la potenza utile**
3. Il compressore è una macchina volumetrica:
   all'aumentare della temperatura di condensazione aumenta la pressione finale → aumenta il lavoro di compressione sull'unità di massa di gas trasferito, **aumenta la potenza assorbita dal compressore**



Unità esterna



Unità interna

Varianti realizzative

- Monostadio: ottimizzate in un'unica condizione, richiedono volume d'acqua maggiore per limitare intermittenza
- Inverter: più flessibili, COP alto a carico ridotto
- Monoblocco: non necessitano di collegamenti alta pressione, rischio gelo acqua se all'esterno
- Splittate: nessun rischio gelo, occorrono tubazioni con fluido frigorifero
- Monoblocco da interno: se ad aria, occorre canalizzare

Fattori che influenzano la prestazione

- **Temperature delle sorgenti calda e fredda**
  - **Ridurre la temperatura di mandata dell'impianto**
    - **Uso di impianti a pannelli**
  - **Cercare sorgenti a temperatura più alta possibile**
    - **Flussi di scarto (aria di ventilazione)**
    - **Terreno, acqua di falda ("geotermiche")**
    - **Acque superficiali: laghi, corsi d'acqua**
- **Carico della pompa di calore**
  - **A carico parziale il COP cambia**
- **Altri fattori**
  - **Brinamento** (pompe di calore con sorgente fredda aria)

Prestazione delle pompe di calore

- Rendimento η equivalente di un pompa di calore: COP x rendimento di produzione dell'energia elettrica (43%)

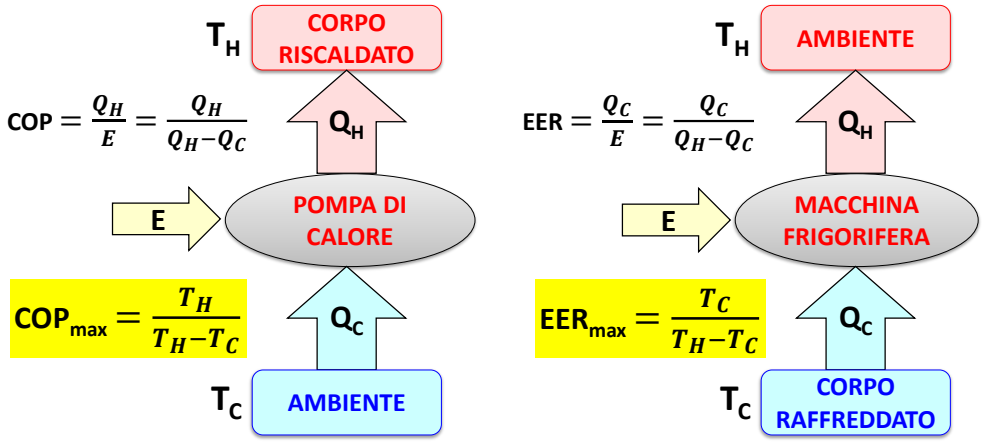
COP 3,0 → η = 3,0 x 0,43 = 129 %

(0,43 = 1,05 / 2,42)

- Date le temperature delle sorgenti, esiste un COP (oppure un EER) massimo teorico che nessuna pompa di calore (o refrigeratore) potrà mai superare.

COP ed EER massimi teorici

Date le temperature delle sorgenti, esiste un COP (oppure EER) massimo teorico che nessuna pompa di calore può superare

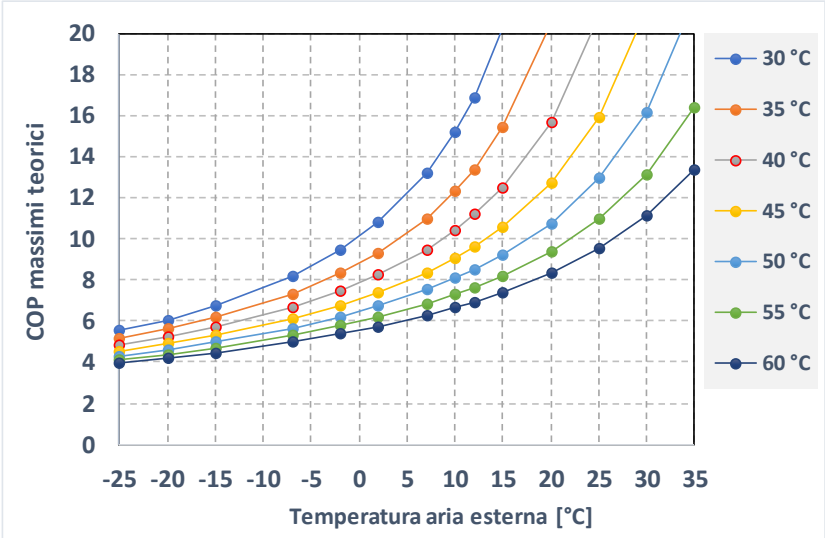


COP massimo teorico

- **Temperatura sorgente fredda** **-5 °C = 268 K**
- **Temperatura pozzo caldo** **55 °C = 328 K**

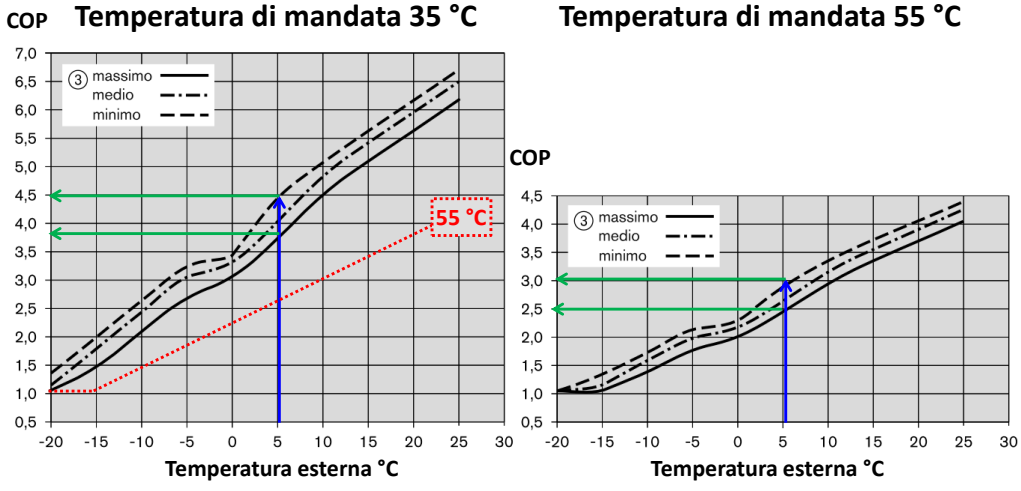
$$COP_{MAX} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = \frac{328}{328 - 268} = 5{,}46$$

Rendimento equivalente teorico 5,46 x 0,43 = 2,35



$$COP_{MAX} = \frac{T_{abs,HOT}}{T_{abs,HOT} - T_{abs,COLD}} = \frac{T_{°C,HOT} + 273{,}15}{\Delta T}$$ **x 0,3…0,5 in pratica**

Variabilità del COP di una tipica pompa di calore aria/acqua



Rendimento di II principio

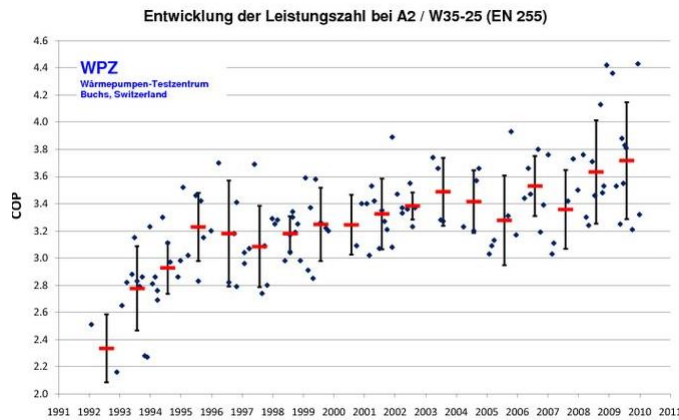
Rendimento di II principio, **rapporto fra**

- **COP effettivo** della pompa di calore
- **COP teorico** massimo
  con le medesime temperature delle sorgenti

$$\eta_{IIprincipio} = \frac{COP}{COP_{MAX}}$$

UNI-TS 11300-4
Le interpolazioni si effettuano sul rendimento di 2° principio.
Le estrapolazioni sono effettuate con rendimento di 2° principio costante

Evoluzione del COP delle pompe di calore



Condizioni : A2 – W35/25
http://www.ntb.ch/ies/competences/heat-pump-test-center-wpz.html?L=1

La potenza resa

La potenza massima utile erogabile da una pompa di calore dipende fortemente dalle temperature delle sorgenti

In particolare, diminuisce al ridursi della temperatura della sorgente fredda …

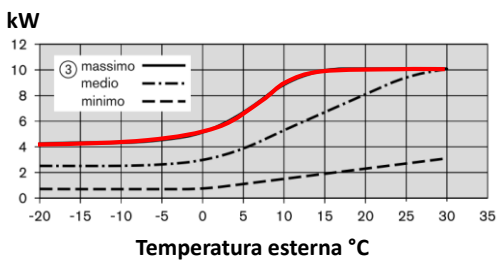
… NON ESISTE UNA «POTENZA UTILE»

- Esiste solo una potenza massima assorbita

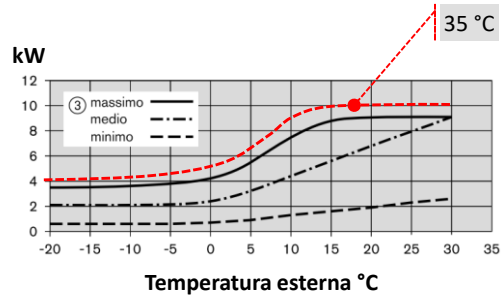
Le macchine sono spesso identificate con sigle che si riferiscono alla potenza utile con aria esterna a 7°C che **NON E'** la condizione di progetto

Variabilità della potenza utile di un pompa di calore aria/acqua
Potenza elettrica massima assorbita 3 kW
La potenza utile dipende dalla temperatura della sorgente fredda

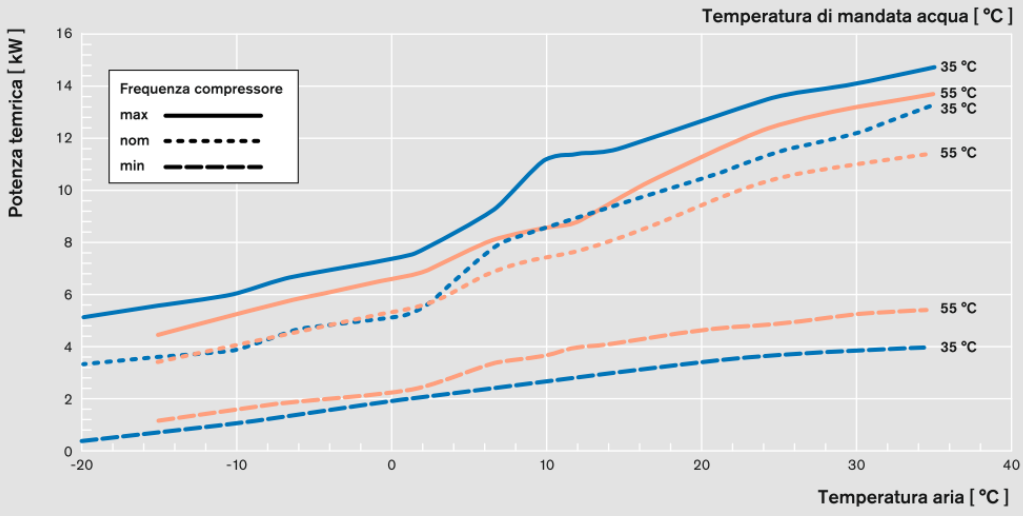
Temperatura di mandata 35 °C



Temperatura di mandata 55 °C



Variabilità della potenza utile di un pompa di calore aria/acqua
Potenza elettrica massima assorbita 3 kW
La potenza utile dipende dalla temperatura della sorgente fredda



Programma

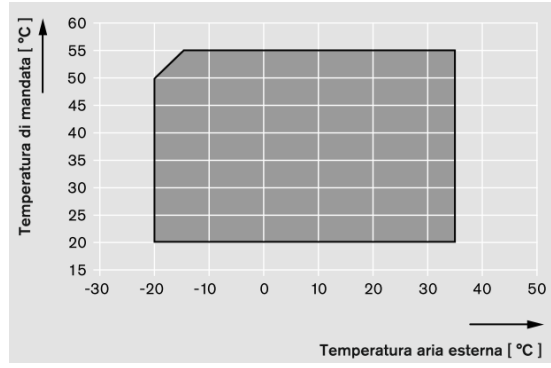
- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- **I dati delle pompe di calore**
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Conclusione

Dati delle pompe di calore

- **Gas frigorifero** utilizzato
- Tipo di **sorgente fredda** e limiti di temperatura
- Tipo di **sorgente calda** e limiti di temperatura
- **Potenza utile**, potenza assorbita e **COP**
- Effetto del **carico parziale**
- Effetto del **brinamento**
- **Dati idraulici** per pompe ad acqua
- Dati di **portata d'aria** per pompe ad aria
- Potenza degli **ausiliari** elettrici non compresi nel COP
- Altri dati utili per l'installazione (ingombri, quote max., …)

Tipi delle sorgenti e limiti di funzionamento

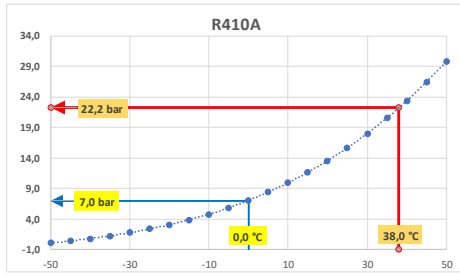
- Sorgente fredda
  - A = Aria
  - W = Acqua
  - B = Acqua glicolata o salamoia
- Pozzo caldo
  - W = Acqua
  - A = Aria

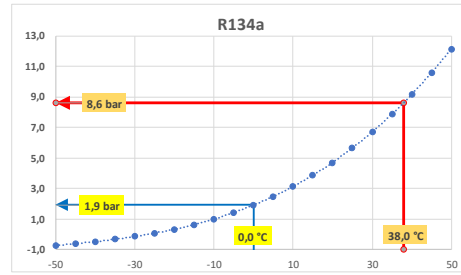


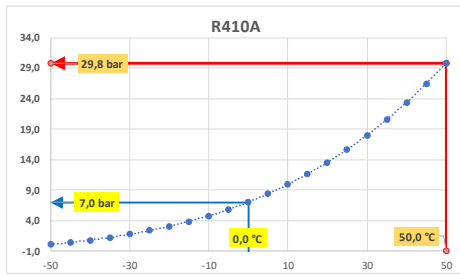
3.4.4 Condizioni ambiente

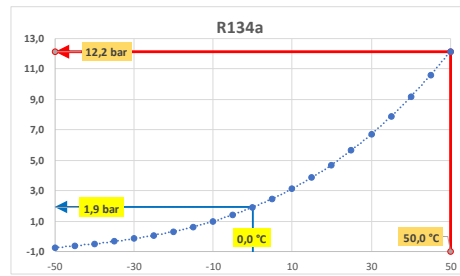
Limite temperatura esercizio - riscaldamento	-20 °C … +30 °C
Limite temperatura esercizio - raffrescamento	0 … +46 °C

I salti di temperatura si traducono in salti di pressione. Al di fuori del campo di lavoro la pompa di calore si blocca.







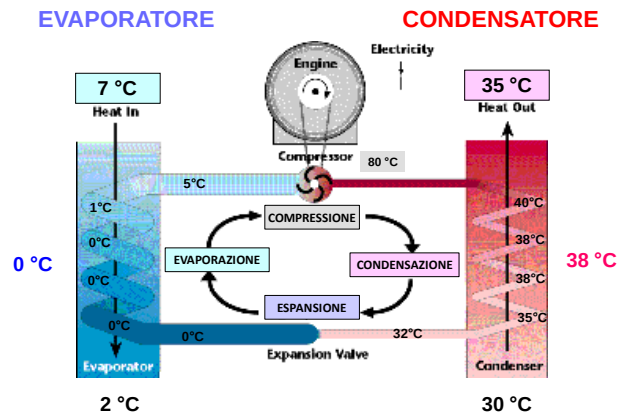


La sorgente aria: quanta ce ne vuole?

ESERCIZIO

Determinare la portata di aria necessaria nelle condizioni indicate nella figura a destra sapendo che la potenza utile ceduta all'acqua è di 7 kW.

E se la sorgente fredda fosse acqua alle stesse temperature?



Potenze e COP

- I costruttori forniscono due dei seguenti tre dati:
  - Potenza utile massima
  - Potenza assorbita
  - COP

  in funzione delle due temperature, indicate con delle sigle tipo A7W35 oppure W5W35

Dati di potenzialità in riscaldamento (EN 14511)

Campo temperatura di mandata acqua in riscaldamento		+20 ... +60 °C
Limite esercizio temperatura aria		-20 ... +30 °C
Differenza di temperatura acqua di riscaldamento	A2 / W35	5 K
Potenzialità nominale in riscaldamento	A2 / W35	3,4 kW
Coefficiente di prestazione (COP)	A2 / W35	3,41
Differenza di temperatura acqua di riscaldamento	A7 / W35	5 K
Potenzialità nominale in riscaldamento	A7 / W35	5,0 kW
Coefficiente di prestazione (COP)	A7 / W35	4,43

- Spesso vengono forniti grafici, altre volte solo i dati strettamente richiesti dalle norme di prodotto

Dati delle pompe di calore

La UNI-TS 11300 richiede i dati in alcuni punti tipici

Tipo sorgente	Temperatura sorgente fredda				Temperatura pozzo caldo riscaldamento ad aria [1]	Temperatura pozzo caldo riscaldamento idronico [2]			Temperatura pozzo caldo produzione acs [3]	
Aerauliche	-7	2	7	12	20	35	45	55	45	55
Acque superficiali di falda		5	10	15	20	35	45	55	45	55
Geotermiche	-5	0	5	10	20	35	45	55	45	55

Pompa di calore	Temperatura sorgente fredda				Temperatura pozzo caldo produzione acs [1]	
Sola produzione acs	7	15	20	35	45	55

Sono ammesse estrapolazioni con una massimo di 5 °C (rendimento di 2° principio costante)

Dati delle pompe di calore

La UNI-TS 11300 richiede i dati in alcuni punti tipici

Potenza termica utile [kW]			
T aria (sorgente fredda)	T acqua (sorgente calda)		
	35	45	55
-7	4,46	4,42	4,38
2	5,46	5,52	5,57
7	7,94	7,55	7,17
12	8,92	8,29	7,65

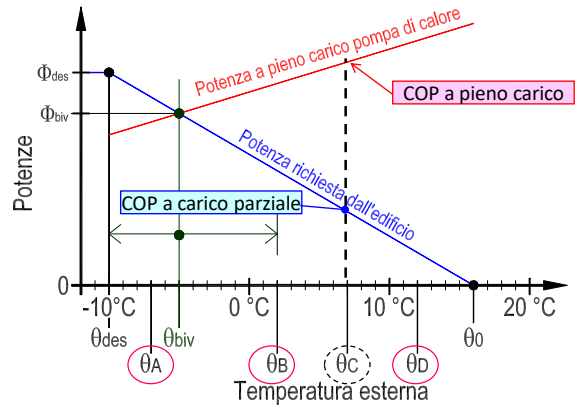
COP			
T aria (sorgente fredda)	T acqua (sorgente calda)		
	35	45	55
-7	2,90	2,42	1,55
2	3,74	2,96	2,03
7	4,72	3,59	2,97
12	5,22	3,76	2,72

Sono ammesse estrapolazioni con una massimo di 5 °C (rendimento di 2° principio costante)

SCOP (Seasonal COP)

<u>É un dato riassuntivo calcolato</u> che si basa su una miscelazione teorica dei dati ottenuti in quattro punti di prova (A, B, C e D) in cui il costruttore può scegliere:

- Il clima di riferimento (Oslo, Strasburgo, Atene)
- La potenza relativa della pompa di calore rispetto all'edificio specificando la temperatura bivalente θ_{biv} (temperatura progetto θ_{des})
- Il tipo di regolazione
- Il tipo di impianto
- ...

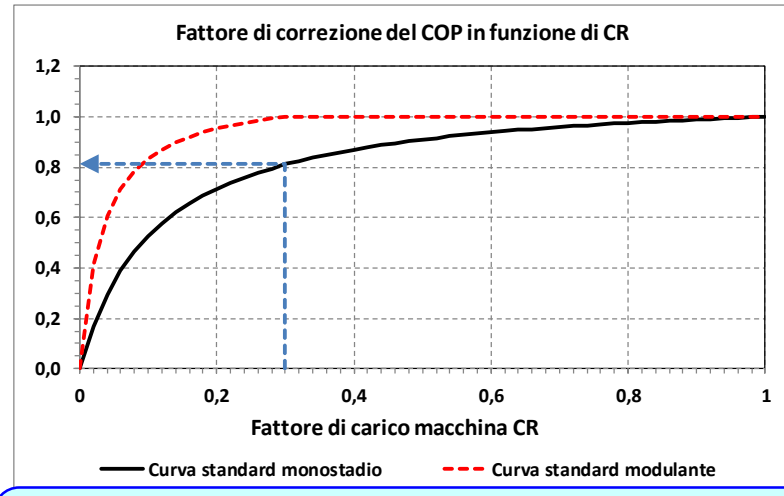


Effetto del carico parziale

- Il COP a carico parziale è diverso dal COP a pieno carico

$$COP_{Px} = COP_{Pmax} \times f_{corr,COP}$$

- **Per macchine inverter miglioramento del COP ai carichi medi**
- **Per macchine ON-OFF: accumulo per limitare le accensioni**
- UNI-TS 11300-4
  - Pompe di calore a compressione: metodo del prEN 14825 (coeff. Cc)
  - Pompe di calore ad assorbimento : tabella di coefficienti in base a CR
- Si ipotizza che il fattore correttivo dipenda solo dal fattore di carico macchina e non dalle condizioni di funzionamento
- Per prevenire l'intermittenza si può aggiungere un serbatoio inerziale (al posto del compensatore idraulico) in modo da garantire un numero limitato di avviamenti. Ad esempio, dimensionato per 15 minuti alla potenza massima della pompa di calore

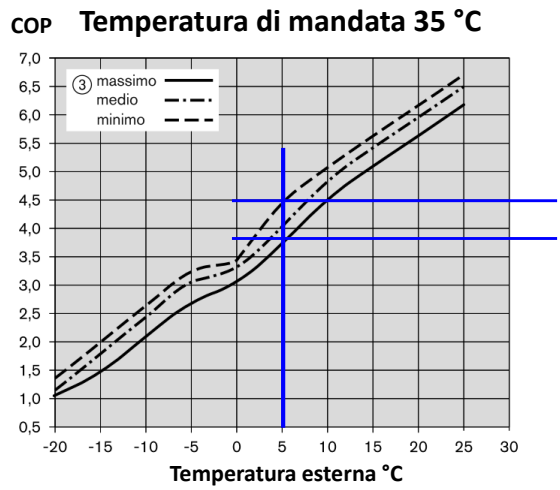


Il fattore di carico macchina "CR" è il rapporto fra potenza istantanea richiesta

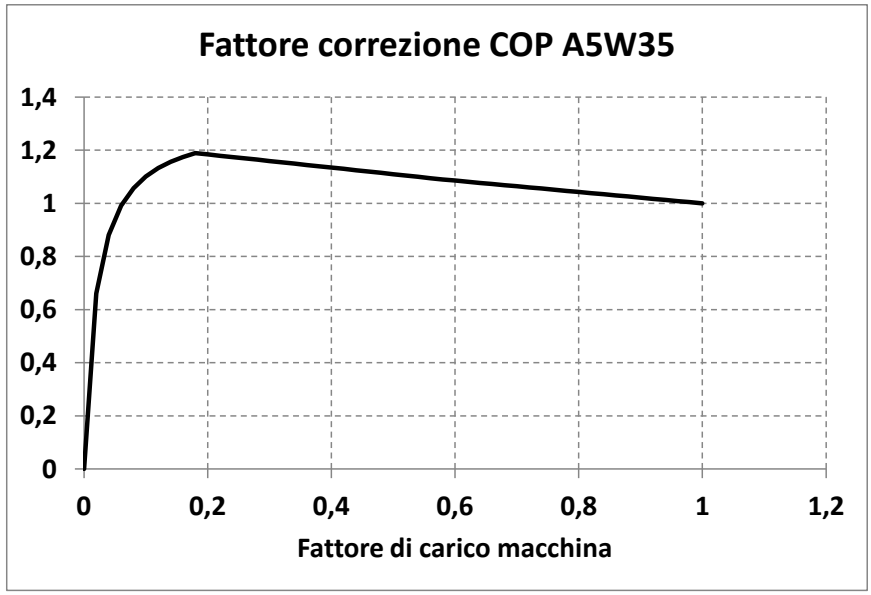
---

potenza massima erogabile nelle medesime condizioni

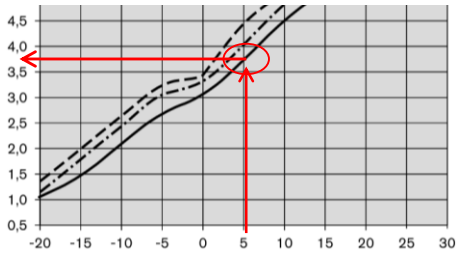
Effetto del carico parziale



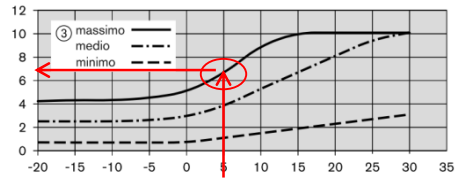
COP da minimo a massimo
4,5/3,8 = 1,18

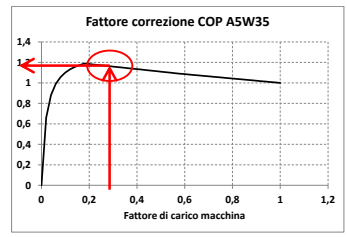


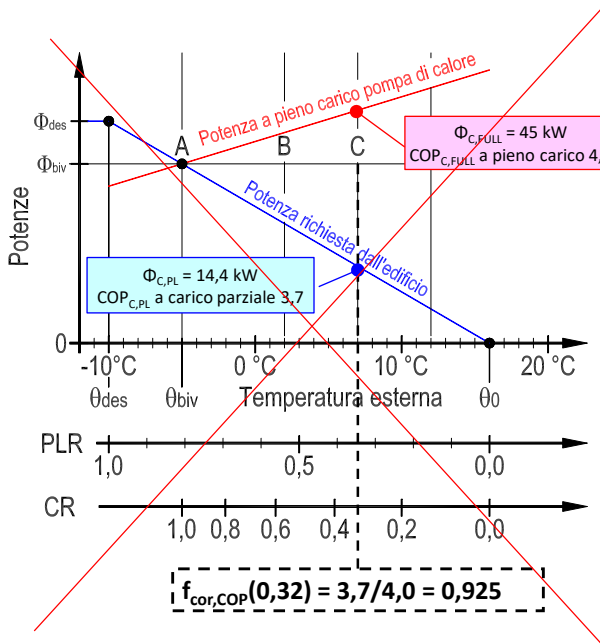
Esempio: carico parziale



- Potenza richiesta 2 kW → A5 W 35
- Grafico COP: A5 W35 → 3,7
- Grafico delle potenze A5 W35 → 7 kW
- CR = 2 kW / 7 kW = 0,29
- Grafico del fattore di correzione per macchina modulante : 0,29 → 1,18
- COP a carico parziale → 3,7 x 1,18 = 4,37







La UNI-TS 11300-4 consentirebbe l'utilizzo dei dati rilevati nei punti di prova dello SCOP per ricavare una curva di correzione del COP

In ognuno dei 4 punti A, B, C, D il costruttore dichiara:
- la potenza utile $\Phi_{X,FULL}$ a pieno carico
- il $COP_{X,FULL}$ a pieno carico
- il $COP_{X,PL}$ a carico parziale

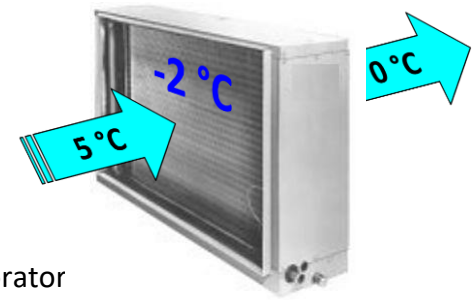
Si potrebbero dunque ricavare
$CR = \Phi_{X,PL} / \Phi_{X,FULL}$
$f_{cor,COP} = COP_{X,PL} / COP_{X,FULL}$
nei 4 punti di prova per identificare la curva di correzione del COP

Purtroppo il dato $COP_{X,PL}$ viene misurato con temperature diverse da quelle per $COP_{X,FULL}$

Descrizione			DES *(progetto)*	A	B	C	D
Temperatura esterna	Test	°C	-10	-7	2	7	12
Potenza edificio	P	kW	5,7	5,0	3,0	1,98	0,88
Fattore di carico parziale	PLR		1	0,88	0,54	0,35	0,15
Potenza a pieno carico	DC	kW		5,05	6,22	7,3	8,18
Carico macchina P/DC	CR			1,00	0,49	0,27	0,11
COP a pieno carico (DC)	COP			3,14	3,91	4,51	5,38
COP a carico parziale (P)	COP'			3,14	5,39	6,68	4,37
Fattore di correzione COP	f_{COP}			1,00	**1,38**	**1,48**	0,81

Temperatura di annullamento del carico: 16 °C

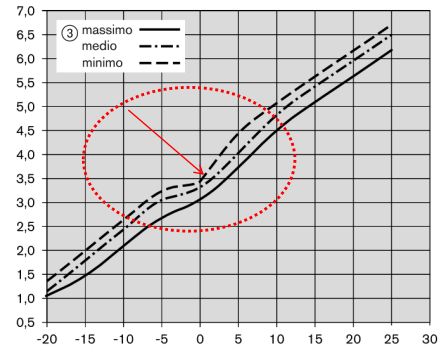
Brinamento



- Affinchè l'evaporatore assorba calore dall'aria deve essere ad una temperatura inferiore
- Quando l'aria è a 5°C, l'evaporatore è a temperatura inferiore a 0 °C → l'umidità dell'aria gela sull'evaporator
- La temperatura del liquido nell'evaporatore diminuisce, il COP peggiora e la potenza utile diminuisce finchè non interviene lo sbrinamento
- Occorre scongelare periodicamente l'evaporatore : resistenze elettriche od inversione del ciclo

Brinamento

- Il brinamento causa una riduzione del COP ed anche della potenza utile… proprio quando fa freddo
- A temperature molto basse, il brinamento si riduce perché si riduce l'umidità contenuta nell'aria.
- Il costruttore non è obbligato a fornire dati specifici per quanto concerne il brinamento
- Il rilievo dei punti di prova obbligatori mostrano solo una parte dell'effetto del brinamento perché le prove hanno una durata breve e vengono condotte con UR fissa
- Condizioni critiche: pioggia oppure nebbia con temperature di 2…5 °C.



Provvedimenti per il brinamento

Il brinamento è un fenomeno fisico inevitabile dovuto all'umidità dell'aria che provoca tre danni:

- Riduzione del COP finchè il brinamento non è rilevato dalla macchina
- Consumo energetico per «scongelare» l'evaporatore
- Tempo di attesa per «scongelare» l'evaporatore

Unica strategia possibile: **limitare i danni**.

- Di regola si inverte il ciclo, per utilizzare una potenza elevata e calore a basso costo e distaccare il blocco di ghiaccio dalle alette
- **Forma dell'evaporatore** per facilitare il distacco della brina
- **Volume di acqua adeguato** **per accumulare nell'impianto il calore necessario allo sbrinamento: X litri / kW minimi**

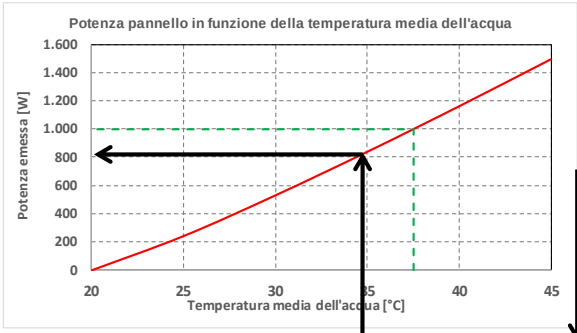
Dati idraulici

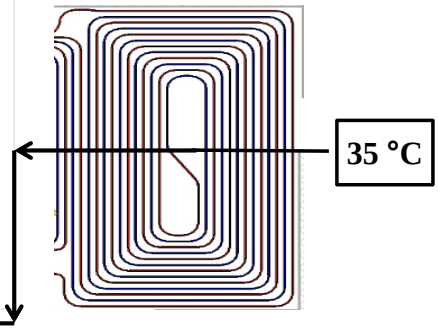
- **Portate minime** negli scambiatori ad acqua
  - Non si può ridurre la portata perché altrimenti…
    - decade il coefficiente di scambio termico a causa della riduzione di velocità
    - aumentano i salti termici fra ingresso ed uscita
- **Perdite di carico** dello scambiatore interno
  - Spesso elevata per generare turbolenza ed un buon coefficiente di scambio termico
    (dal lato fluido frigorifero c'è un cambiamento di fase → max scambio termico)

Circuito idraulico lato acqua

- **Alla pompa di calore occorre garantire una portata minima di acqua**
  → compensatore idraulico o eventuale accumulo usato come compensatore
- **Temperatura di mandata più bassa possibile:** funzionare a temperatura scorrevole ed alternare riscaldamento ed acqua calda sanitaria.
  → **Evitare la miscelazione**
- **Volume minimo di acqua garantito**
  → Per evitare accensioni e spegnimenti frequenti
  → Per avere sufficiente energia per lo sbrinamento

Potenza lato aria in un corpo scaldante



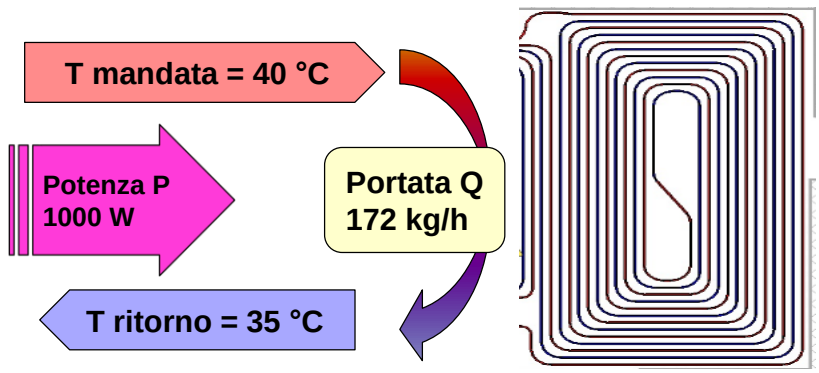


LA POTENZA EMESSA DA UN CORPO SCALDANTE DIPENDE DALLA SUA TEMPERATURA MEDIA

$$P = \left(\frac{T_{med} - T_{amb}}{\Delta T_{ref}} \right)^{n} \cdot P_{nom}$$

n è l'esponente caratteristico del corpo scaldante
Radiatori: n = 1,3 Pannelli n = 1,13…

Relazione fra portata, temperature e potenza trasportata, lato acqua



$$P = (Tmandata - Tritorno) \cdot Q \cdot Cp$$

$$Q = \frac{P}{(Tmandata - Tritorno) \cdot Cp}$$

$$Cp = 1{,}16 Wh/kg \cdot °C$$

Scelta dei corpi scaldanti

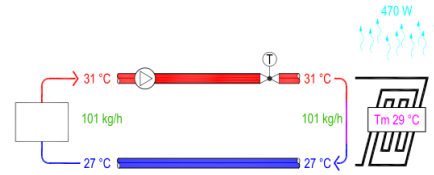
Occorre utilizzare i corpi scaldanti con la temperatura di mandata più bassa possibile…

- Per tutti i corpi scaldanti
  - occorre funzionare 24/24 perché ciò riduce la temperatura media
  - occorre funzionare con un salto termico ridotto perché, fissata la temperatura media necessaria, ciò riduce la temperatura di mandata richiesta
  - occorre utilizzare una compensazione climatica
- Pannelli radianti: sono naturalmente a bassa temperatura media, preferire quelli con meno materiale sopra il pannello
- Radiatori: possibile utilizzarli in edifici molto ben coibentati maggiorando la potenza nominale dei radiatori rispetto alla potenza da erogare (esempio casa)
- Ventilconvettori: potenza ridotta utilizzandoli a bassa temperatura (< 40 °C)

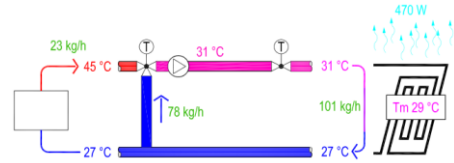
Se la logica è abbassare la massimo la temperatura di mandata, perché scaldare dell'acqua a 30 °C per avere aria a 20 °C?

Circuiti di distribuzione fondamentali

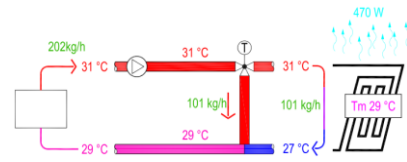
- **Circuito diretto**
  La temperatura deve essere regolata agendo sul generatore. Utilizzato per l'utenza a temperatura più alta



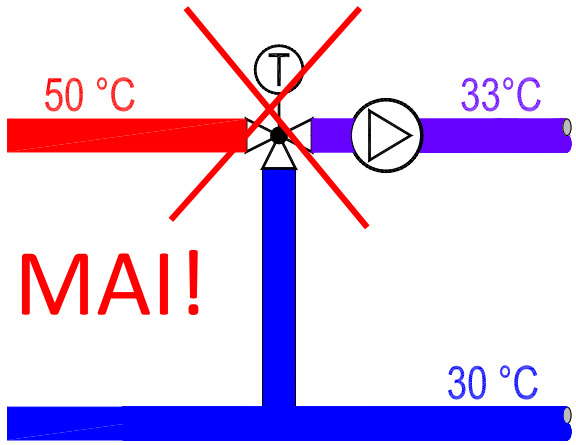
- **Circuito miscelato**
  Utilizzato per alimentare utenze a temperatura inferiore a quella di mandata

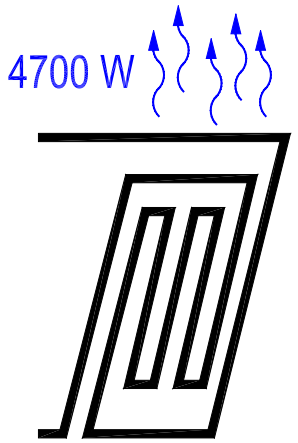


- **Circuito a by-pass**
  L'utenza lavora a temperatura di mandata uguale al generatore ed a portata variabile. Utilizzato per garantire la portata (?).



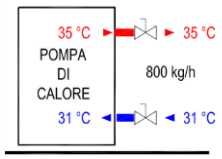
Miscelare?



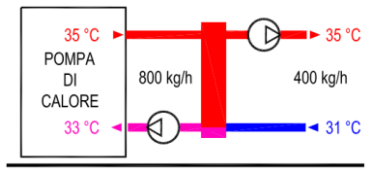


Circuiti di generazione

- **Circuito diretto**
  Portata e temperature di mandata e ritorno nel generatore e nell'impianto sono uguali.

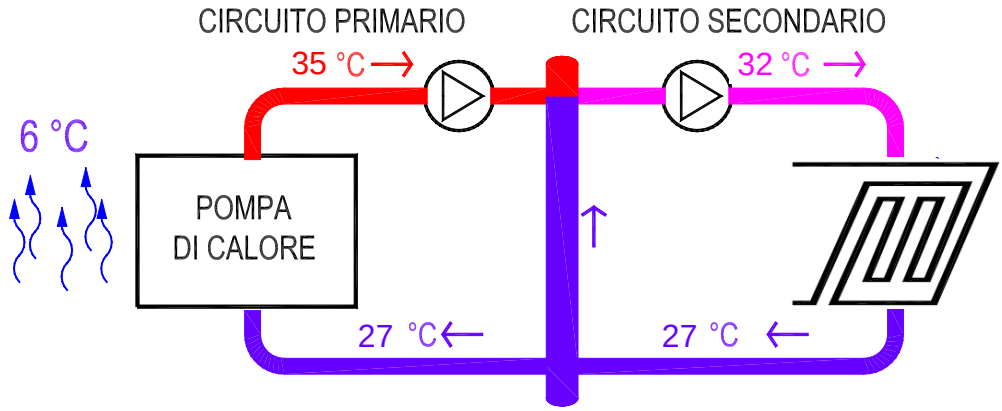


- **Compensatore idraulico**
  Le portate nel generatore e nell'impianto sono indipendenti
  Le temperature nel generatore dipendono dalle portate relative → Attenzione!



La pompa di calore ha un requisito di portata minima.
Se l'impianto non garantisce una portata minima in TUTTE le possibili condizioni di funzionamento occorre un compensatore idraulico

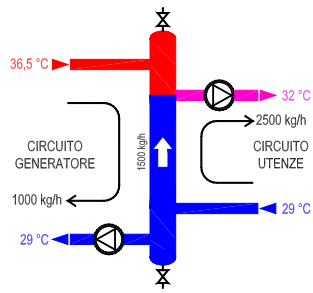
Circuito primario indipendente



Va bene così? Cos'è successo?

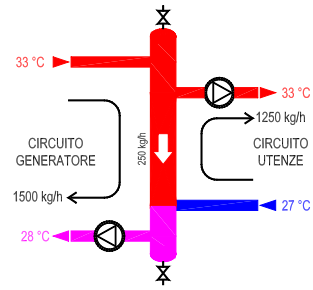
Il compensatore idraulico

QUANDO LA PORTATA NELLE UTENZE É MAGGIORE DELLA PORTATA NEL GENERATORE
LE TEMPERATURE DI RITORNO COINCIDONO
LA TEMPERATURA DI MANDATA DELLA POMPA DI CALORE È MAGGIORE DI QUELLA DELL'IMPIANTO



Pompa di calore KO

QUANDO LA PORTATA NEL GENERATORE É MAGGIORE DELLA PORTATA NELLE UTENZE
LE TEMPERATURE DI MANDATA COINCIDONO
LA TEMPERATURA DI RITORNO IN POMPA DI CALORE È MAGGIORE DI QUELLA DELL'IMPIANTO



Pompa di calore OK

Generatore con portata indipendente

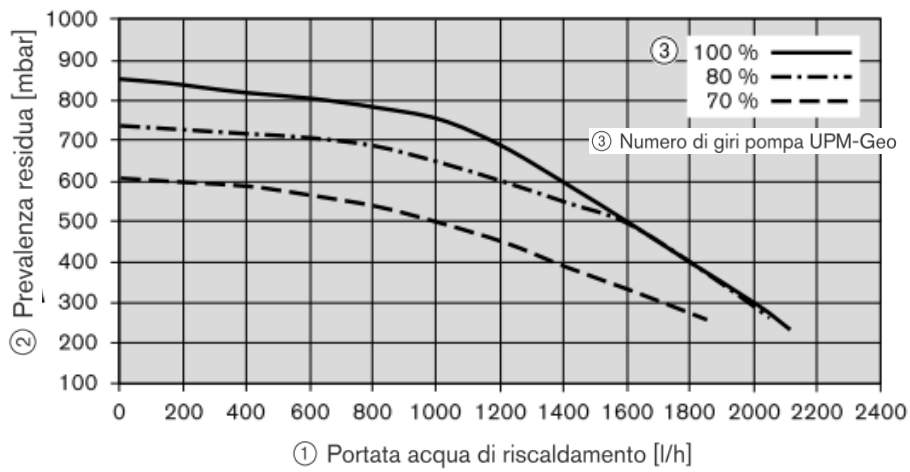
- Portata indipendente in pompa di calore
  - Portata costante → dato di progetto (circuito primario)
  - Portata variabile → comandata dall'elettronica della pompa
- DT in pompa di calore = potenza erogata / portata

- **Se portata pompa di calore > portata utenze**
  - **T mandata pompa di calore = T mandata utenza**
  - T ritorno pompa di calore = T mandata – ΔT p.d.c.
- **Se portata pompa di calore < portata utenze**
  - T ritorno pompa di calore = T ritorno utenza
  - **T mandata pompa di calore = T ritorno + ΔT p.d.c.**

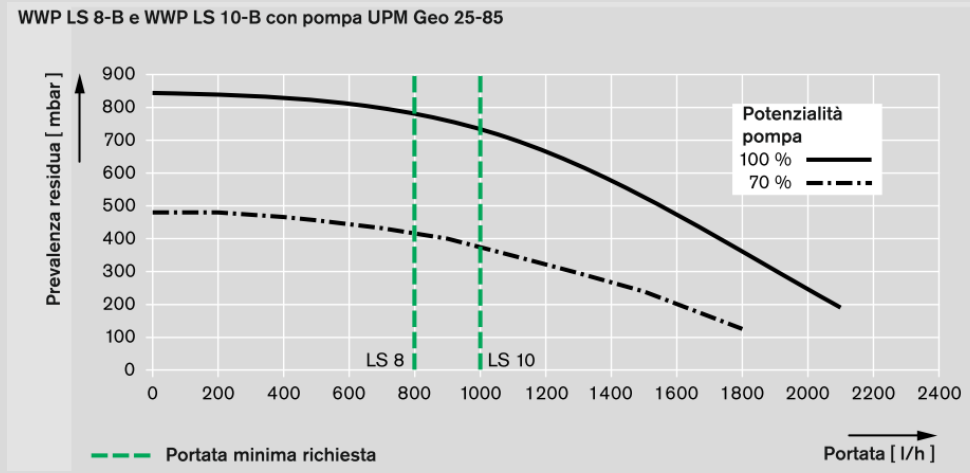
OK

KO

Curva di prevalenza residua

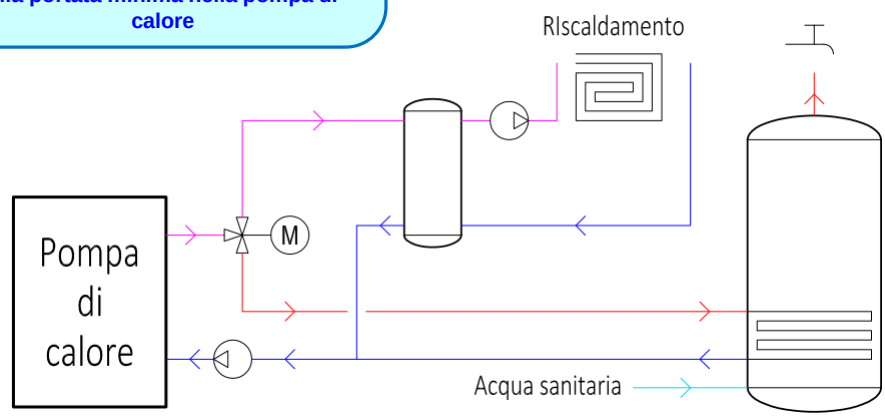


Curva di prevalenza residua

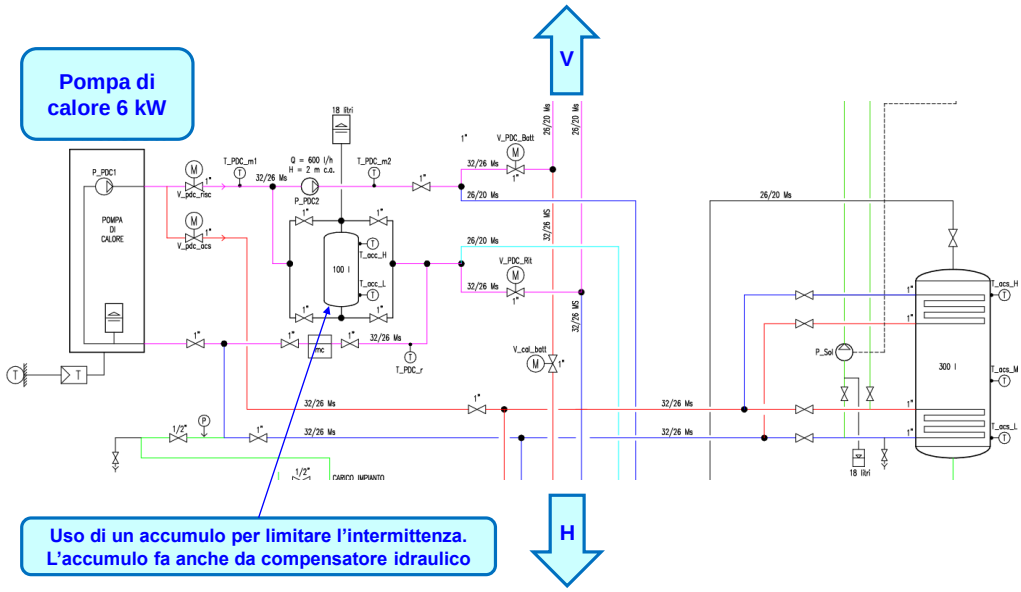


Circuito idraulico semplice.
La pompa di calore deve lavorare alternativamente in riscaldamento (25…35 °C) e produzione di acqua calda sanitaria (> 50 °C)

ATTENZIONE
alla portata minima nella pompa di calore



Circuito idraulico con inversione



Pompe di calore e scambiatori

Evaporatore e condensatore delle pompe di calore sono scambiatori…

- Lato gas frigorifero c'è evaporazione e condensazione, scambio perfetto.
- Lato acqua / aria c'è il potenziale problema dello sporcamento o portata bassa

Pompe di calore ed acqua calda sanitaria: lo scambiatore del bollitore

- Se la superficie di scambio è scarsa…
  - Il salto termico durante la carica è maggiore → la pompa di calore lavora a temperatura di mandata più alta → il COP è più basso
  - Quando la mandata raggiunge il valore massimo, la pompa di calore parzializza e lavora a carico ridotto per cui li tempo di carica finale si allunga notevolmente.

Scelta del bollitore per una pompa di calore

- **Bollitore a grande volume** → temperatura acqua calda sanitaria più bassa
- **Scambiatore abbondante** → temperatura mandata più bassa e carica rapida

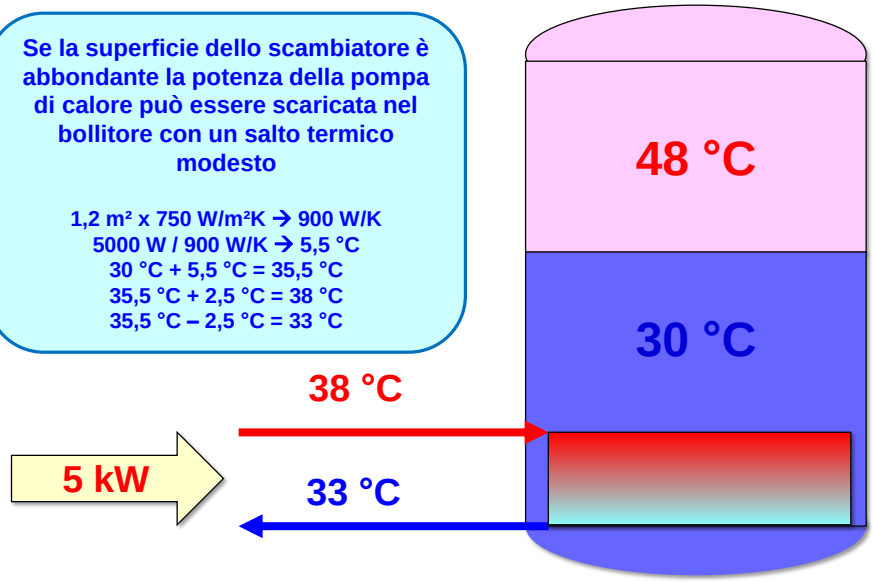
Legionella: sovratemperatura con resistenze o lavaggio chimico
(chi disinfetta i soffioni delle docce?)

… o usare una pompa di calore dedicata per l'acqua calda sanitaria…

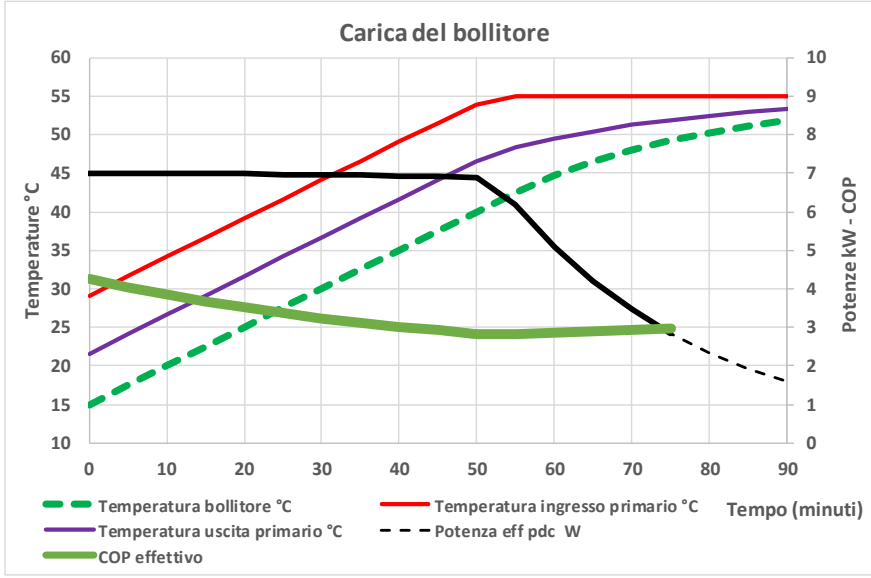
Durante la carica del bollitore…

Se la superficie dello scambiatore è abbondante la potenza della pompa di calore può essere scaricata nel bollitore con un salto termico modesto

1,2 m² x 750 W/m²K → 900 W/K
5000 W / 900 W/K → 5,5 °C
30 °C + 5,5 °C = 35,5 °C
35,5 °C + 2,5 °C = 38 °C
35,5 °C – 2,5 °C = 33 °C



Bollitore abbondante…



Acqua calda sanitaria?

- **Bollitore di dimensione superiore** al consumo totale nell'ora di punta, il contributo della pompa di calore durante il prelievo è modesto
- **Valutare attentamente** produzione acqua calda sanitaria con **pompa di calore dedicata**
- Gestire **bollitore a temperatura minima possibile**, salvo innalzamento periodico anti-legionella (con resistenza…)

Programma

- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- **I bin: cosa sono ed a cosa servono**
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Conclusione

Come calcolare la pompa di calore

Calcolo mensile con temperatura esterna media?

Possibile solo se:

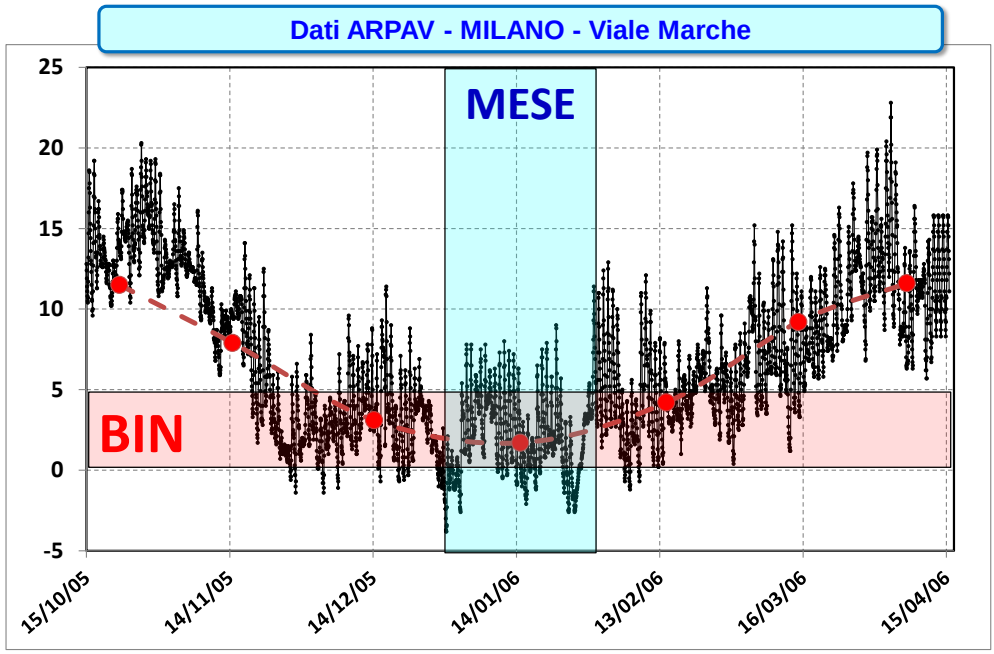
- La temperatura della sorgente fredda è stabile
  → sorgente fredda terreno o corso d'acqua
- La temperatura di mandata è stabile
  → Impianti a pannelli o ventilconvettori

In caso contrario, occorre tenere conto della forte variabilità della prestazione con la temperatura esterna → metodo dei bin

Analisi per intervallo di temperatura esterna anzichè per intervallo temporale

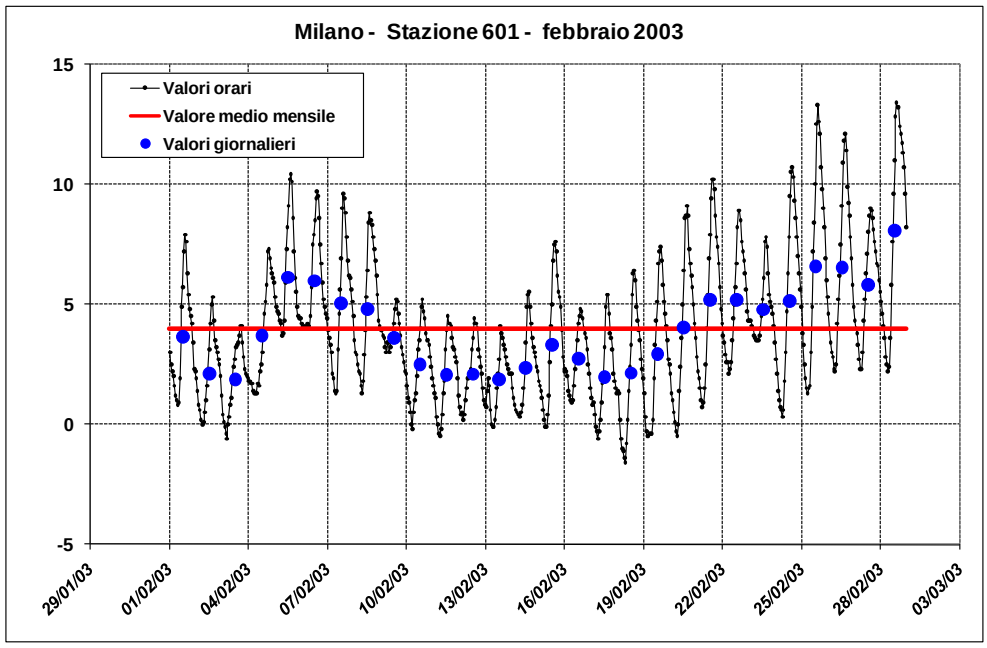
Suddivisione del periodo di calcolo

- **Intervalli di calendario** (mensili)
  - Basata su una suddivisione della stagione di riscaldamento «a calendario»
  - Per ogni intervallo: temperatura e durata
  - Calcolo nelle condizioni di ciascun «giorno medio mensile»
    → Scelta comune nei calcoli tradizionali degli impianti di riscaldamento
- **Intervalli di temperatura** (bin)
  - Suddivisione del campo di temperatura esterna in intervalli (°C)
  - Per ogni intervallo: temperatura e durata
  - Calcolo nelle temperatura media rappresentative di ciascun intervallo
- UNI-TS 11300
  - **Uso dei bin** con sorgente aria o con impianti ad alta temperatura
    → quando c'è un variazione significativa di prestazione nel mese
  - **Calcolo mensile** negli altri casi



Distribuzione in bin, cosa significa

- Suddividere il campo delle possibili temperature esterne in intervalli
- Curva di frequenza
  - Esprime il tempo (durata) in cui la temperatura è compresa nell'intervallo (bin)
- Curva cumulata
  - Esprime il numero di ore per le quali la temperatura è maggiore di quella del bin



Condizione conteggio	Min bin	Med bin	Bin su dati orari	
	°C	°C	h	h
>-5	-5	-5,5	672	0
>-4	-4	-4,5	672	0
>-3	-3	-3,5	672	0
>-2	-2	-2,5	672	0
>-1	-1	-1,5	668	4
>0	0	-0,5	636	32
>1	1	0,5	571	65
>2	2	1,5	484	87
>3	3	2,5	387	97
>4	4	3,5	291	96
>5	5	4,5	199	92
>6	6	5,5	150	49
>7	7	6,5	111	39
>8	8	7,5	74	37
>9	9	8,5	45	29
>10	10	9,5	27	18
>11	11	10,5	15	12
>12	12	11,5	11	4
>13	13	12,5	4	7
>14	14	13,5	0	4
>15	15	14,5	0	0

Dati ARPAV
MILANO - Viale Marche

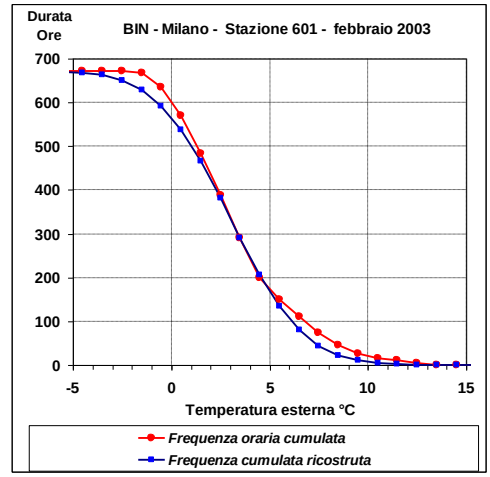
571 ore a temperatura maggiore di 1°C

Differenza: 87ore a temperatura compresa fra 1°C e 2°C

484 ore a temperatura maggiore di 2°C

Dati climatici → curve di durata cumulata

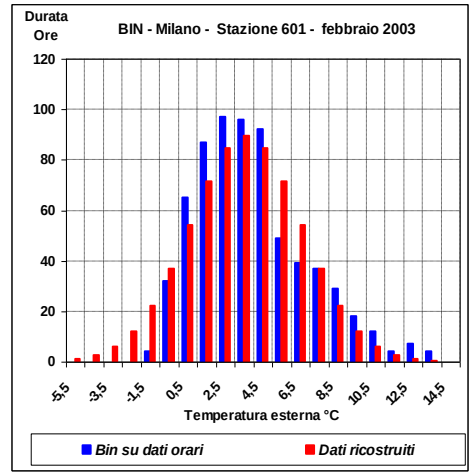
Condizione conteggio	Min bin	Med bin	Bin su dati orari	
	°C	°C	h	h
>-5	-5	-5,5	672	0
>-4	-4	-4,5	672	0
>-3	-3	-3,5	672	0
>-2	-2	-2,5	672	0
>-1	-1	-1,5	668	4
>0	0	-0,5	636	32
>1	1	0,5	571	65
>2	2	1,5	484	87
>3	3	2,5	387	97
>4	4	3,5	291	96
>5	5	4,5	199	92
>6	6	5,5	150	49
>7	7	6,5	111	39
>8	8	7,5	74	37
>9	9	8,5	45	29
>10	10	9,5	27	18
>11	11	10,5	15	12
>12	12	11,5	11	4
>13	13	12,5	4	7
>14	14	13,5	0	4
>15	15	14,5	0	0



Dati ARPAV
MILANO - Viale Marche

Dati climatici → bin

Condizione conteggio	Min bin	Med bin	Bin su dati orari	
	°C	°C	h	h
>-5	-5	-5,5	672	0
>-4	-4	-4,5	672	0
>-3	-3	-3,5	672	0
>-2	-2	-2,5	672	0
>-1	-1	-1,5	668	4
>0	0	-0,5	636	32
>1	1	0,5	571	65
>2	2	1,5	484	87
>3	3	2,5	387	97
>4	4	3,5	291	96
>5	5	4,5	199	92
>6	6	5,5	150	49
>7	7	6,5	111	39
>8	8	7,5	74	37
>9	9	8,5	45	29
>10	10	9,5	27	18
>11	11	10,5	15	12
>12	12	11,5	11	4
>13	13	12,5	4	7
>14	14	13,5	0	4
>15	15	14,5	0	0



Dati ARPAV
MILANO - Viale Marche

Dati climatici disponibili

- **Dati utilizzati per il calcolo dell'energia UNI-TS 11300**
  - Temperature medie mensili per 101 capoluoghi di provincia
  - Irradiazione solare per 101 capoluoghi di provincia
  - Gradi giorno UNI (sulla base delle temperature medie mensili)

  Per tutte le altre località: interpolazione e correzione con la quota

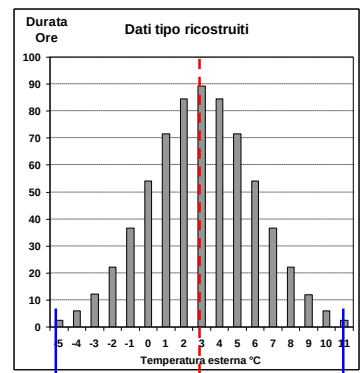
  Dati di qualità accettabile
- **Altri dati climatici**
  - Temperatura di progetto (usati per il calcolo delle dispersioni)
    - Tecnicamente dovrebbe essere: temperatura che ritorna almeno per 48 ore all'anno
    - Di fonte incerta e non omogenea, poco affidabili
  - Gradi giorno DPR 412/93 → solo per determinare la zona climatica
  - Dati da centraline ARPA e da enti diversi
  - https://www.wunderground.com/
  - Anno tipo con dati orari sul sito www.cti2000.it per le provincie italiane

Soluzione transitoria CTI

… in attesa di avere distribuzioni di frequenza standard mensili affidabili (anno tipo CTI)

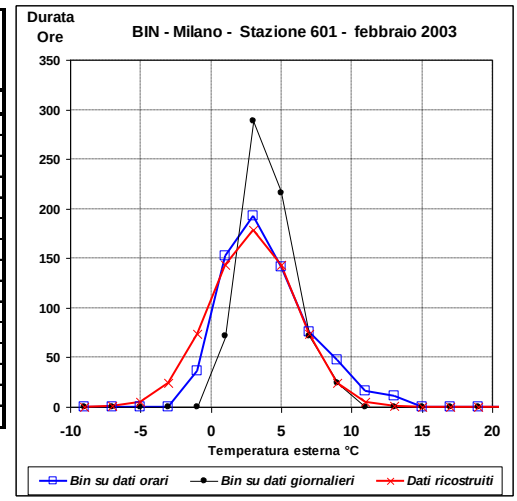
→ Ricostruzione dei dati climatici

- Base comune:
  temperatura media mensile
  → centro della campana di Gauss
- Ampiezza della variabilità mensile:
  - **in base al soleggiamento**
  - **corretta in modo che nel mese più freddo l'ultimo bin preso in considerazione coincida con la temperatura di progetto**

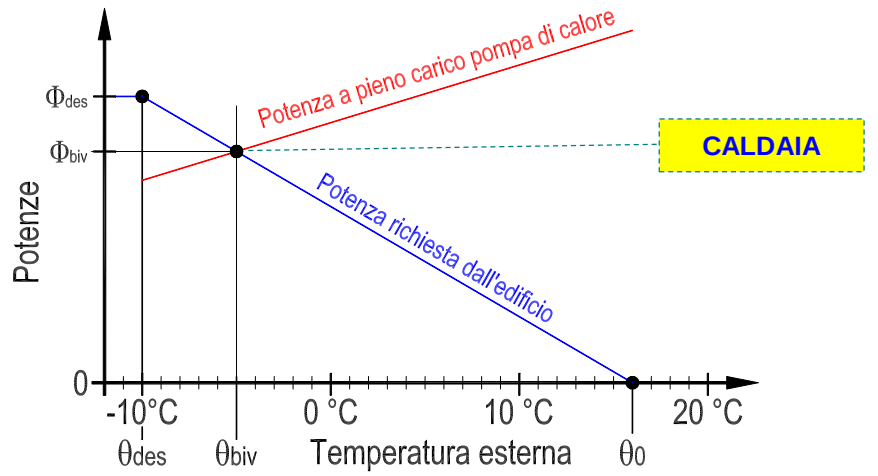


Dati climatici reali/ricostruiti

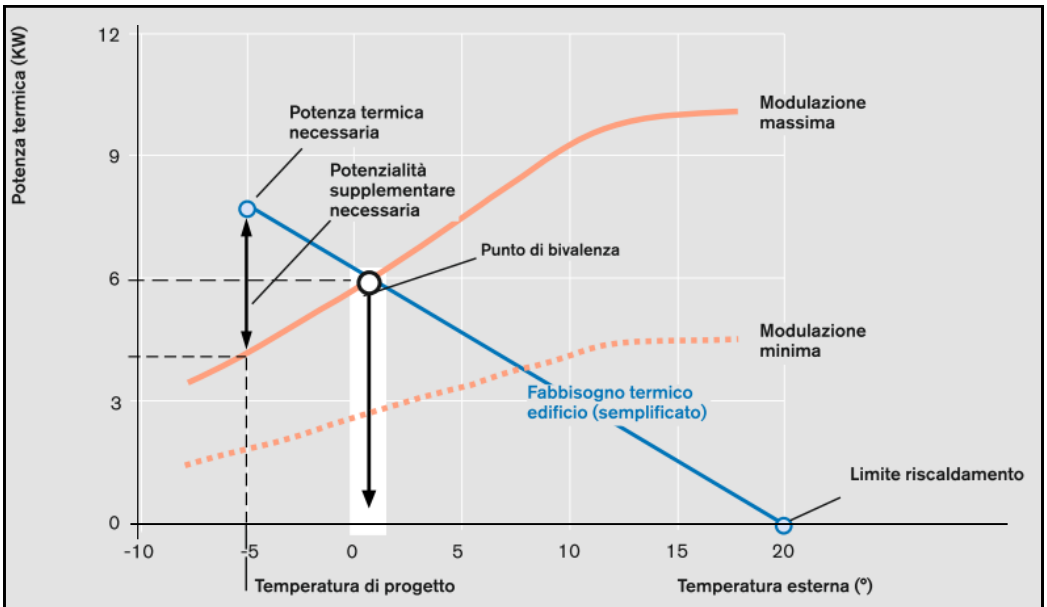
Condizione conteggio	Min bin	Med bin	Bin su dati orari		Bin su dati giornalieri		
	°C	°C	h	h	gg	h	h
>-10	-10		672		28	672	
>-8	-8	-9	672	0	28	672	0
>-6	-6	-7	672	0	28	672	0
>-4	-4	-5	672	0	28	672	0
>-2	-2	-3	672	0	28	672	0
>0	0	-1	636	36	28	672	0
>2	2	1	484	152	25	600	72
>4	4	3	291	193	13	312	288
>6	6	5	150	141	4	96	216
>8	8	7	74	76	1	24	72
>10	10	9	27	47	0	0	24
>12	12	11	11	16	0	0	0
>14	14	13	0	11	0	0	0
>16	16	15	0	0	0	0	0
>18	18	17	0	0	0	0	0



Dati ARPAV
MILANO - Viale Marche



APPLICAZIONE DEI BIN AL DIMENSIONAMENTO
Alla temperatura di progetto la potenza utile deve essere sufficiente



Perché usare i bin?

Complicazioni di calcolo con i bin:

Occorre ricostruire i dati

E' necessario raccordarsi ad un metodo mensile…

Vantaggi

- **Calcolo dell'energia del sistema di back-up**
- **Verifica del dimensionamento della pompa di calore**
- **Maggiore precisione**

I BIN NON SONO UN «METODO DINAMICO»

Programma

- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- **Calcolo energetico con i bin**
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Conclusione

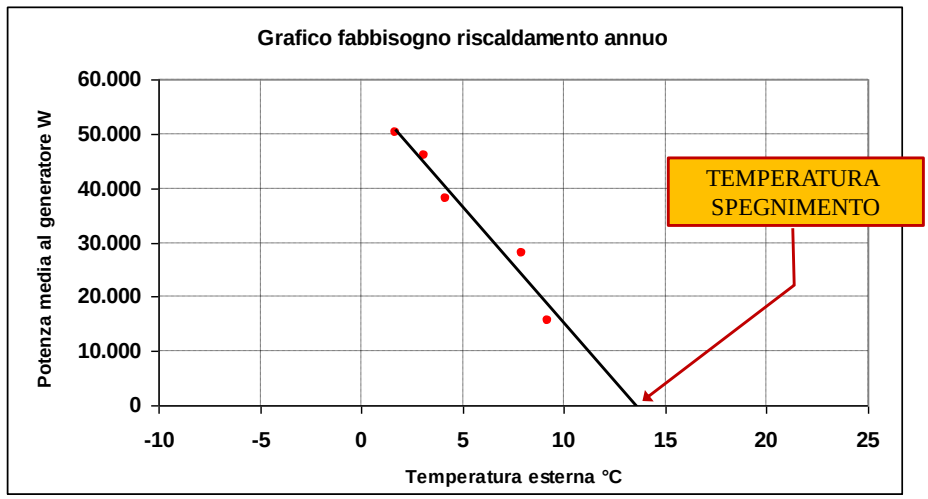
Metodologia di calcolo

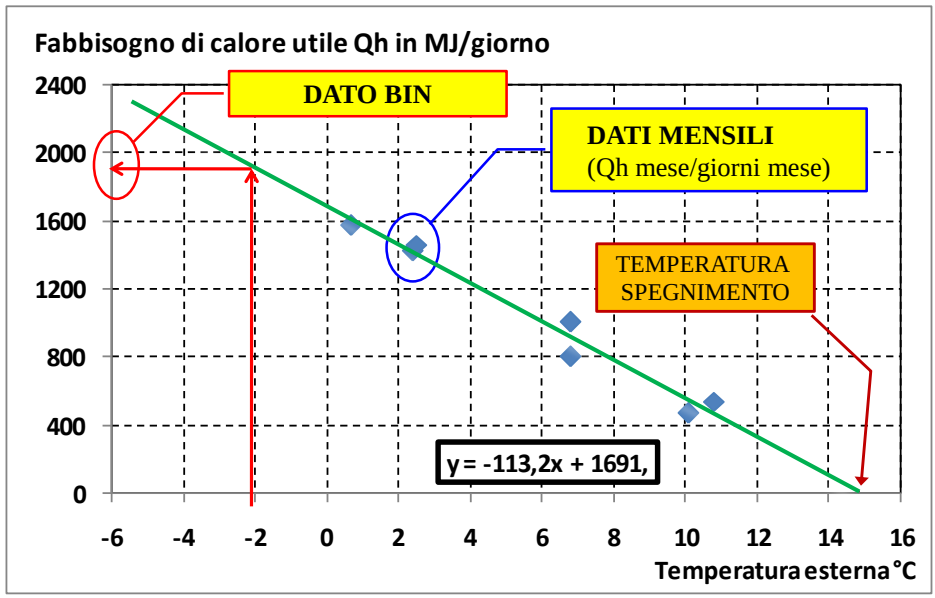
1. **Suddividere il periodo di calcolo in intervalli di calcolo** (bin o mese)
2. **Calcolo dell'impianto di riscaldamento e sanitario**, dell'energia richiesta e delle temperature dell'acqua e della sorgente **per ogni intervallo di calcolo** definito
3. **Valutare il funzionamento in sanitario (COP, potenza, durata), se presente**
   Considerare il funzionamento a pieno carico – Tenere conto dei limiti operativi
4. **Togliere dal tempo disponibile** la durata di funzionamento in sanitario
5. **Valutazione dell'energia erogabile per riscaldamento** dalla pompa di calore in ogni intervallo di calcolo. Il saldo va attribuito al sistema di back-up (caldaie o altri generatori)
6. **Valutazione del COP per ogni intervallo** tenendo conto di
   - **Temperature** delle sorgenti (sorgente fredda e fluido termovettore)
   - **Carico macchina** della pompa di calore se l'energia da erogare è meno di quella erogabile
7. **Calcolo dell'energia principale , dell'energia ausiliaria e dell'energia a carico del sistema di back-up per ogni intervallo**
8. **Moltiplicazione** dei risultati di ogni singolo **bin per** il rispettivo numero di **ore** e **sommatoria** per determinare il fabbisogno complessivo di energia primaria.

Per passare dal dato mensile ai bin…

- Ripartizione dell'energia mensile per acqua calda sanitaria a carico della pompa di calore:
  → **in base alle durate dei bin**
- Ripartizione dell'energia mensile per riscaldamento a carico della pompa di calore:
  Temperatura di base dei gradi-ora T_{off}
  → **temperatura di spegnimento** del riscaldamento da estrapolazione dei dati mensili
  → valore di default UNI-TS 11300-4: 20 °C
  → *nell'esempio: 14,5 °C → più carico alle basse temperature*
- Per ogni bin:
  gradi-ora = durata bin x ($T_{off} - T_{bin}$)

Grafico potenze mensili edificio campione





Calcolo energetico della pompa di calore

Calcolo mensile con temperatura esterna media?

Corretto solo se:

- La temperatura della sorgente fredda è stabile
  Sorgente terreno o corso d'acqua
- La temperatura di mandata è stabile
  Impianti a pannelli o ventilconvettori

In caso contrario, occorre tenere conto della forte variabilità della prestazione con la temperatura esterna → metodo dei bin

Analisi per intervallo di temperatura esterna anzichè per intervallo temporale

Calcolo delle temperature dell'acqua nell'impianto

Partendo dai dati di energia

si devono calcolare in sequenza, per ogni mese (raccomandazione CTI)

1. Temperatura di mandata e ritorno agli **emettitori**
   - Scelta del tipo e dimensionamento degli emettitori
   - Scelta delle temperature di progetto dell'impianto
2. Temperatura di mandata e ritorno dei singoli **circuiti di distribuzione** (gruppi di emettitori omogenei
   - In base agli schemi circuitali e di regolazione (diretto, miscelazione, by-pass)
3. Temperatura di mandata e ritorno ai **collettori della generazione** in funzione delle temperature e portate dei circuiti di distribuzione collegati
   - Media delle temperature dell'acqua di ritorno dai circuiti di distribuzione, pesata in base alle rispettive portate
4. Temperatura di mandata e ritorno e portata dell'acqua nei **generatori**
   - Scelta del circuito di generazione (**diretto o con portata indipendente**)

Esempio di calcolo: sanitario

Mese di Gennaio, durata totale 744 ore, θ_{media} 3,3 °C, $\theta_{progetto}$ -5,0 °C
Fabbisogno mensile per riscaldamento: 2571 kWh
Fabbisogno mensile per acqua calda sanitaria: 304 kWh

BIN -5,5…-4,5 °C durata 11,9 ore	BIN 4,5…5,5 °C durata 66,3 ore
Fabbisogno bin acqua calda sanitaria: 304 kWh x 11,9 / 744 = 4,8 kWh	Fabbisogno bin acqua calda sanitaria: 304 kWh x 66,3 / 744 = 27,1 kWh
Potenza pieno carico A-5W55: 3,9 kW COP pieno carico A-5W55 : 1,8	Potenza pieno carico A5W55: 5,5 kW COP pieno carico A5W55 : 2,50
Durata produzione acqua calda sanitaria 4,8 kWh / 3,9 kW ≈ 1,25 ore	Durata produzione acqua calda sanitaria 27,1 kWh / 6,7 kW ≈ 5,0 ore
Consumo per acqua calda sanitaria 4,8 kWh / 1,8 ≈ 2,7 kWh	Consumo per acqua calda sanitaria 27,1 kWh / 2,76 ≈ 11 kWh
Tempo residuo per riscaldamento 11,9 – 1,2 = 10,7 ore	Tempo residuo per riscaldamento 66,3 – 5,0 = 61,3 ore

Esempio di calcolo: riscaldamento

BIN -5,5…-4,5 °C durata 11,9 ore	BIN 4,5…5,5 °C durata 66,3 ore
Gradi ora bin = 11,9 x (14,5 – (-5)) = 232 °Ch	Gradi ora bin = 66,3 x (14,5 – 5) = 630 °Ch
Gradi ora mese: 744 x (14,5 – 3,3) = 8332	
Fabbisogno riscaldamento bin: 2571 kWh x 232 / 8332 = 72 kWh	Fabbisogno riscaldamento bin: 2571 kWh x 630 / 8332 = 194 kWh
Potenza pieno carico A-5W32,3: 4,3 kW COP pieno carico A-5W32,3 : 2,6	Potenza pieno carico A5W26,5: 6,8 kW COP pieno carico A5W26,5: 4,5
Potenza richiesta per riscaldamento 72 kWh/ 10,7 h = 6,7 kW Potenza integrazione 6,7 – 4,3 = **2,3 kW**	Potenza richiesta per riscaldamento 194 kWh / 61,3 h = 3,2 kW Fattore di carico macchina 3,2 / 6,8 = 47%
Consumo per integrazione 2,3 kW x 10,7 h = 25 kWh	Fattore correzione COP a 0,47 = 1,09 COP corretto 4,5 x 1,09 = 4,9
Consumo per riscaldamento (72 - 25) → 47 kWh / 2,6 ≈ 18 kWh	Consumo per riscaldamento 194 kWh / 4,9 ≈ 39,6 kWh

Uso dei bin, riassunto…

- Non è un metodo dinamico ma solo una diversa suddivisione della stagione invernale in intervalli elementari
- Rispetto al metodo mensile:
  - Si perdono le differenze fra autunno e primavera
  - Si considera una gamma più ampia di condizioni di funzionamento
- Soluzione 11300: metodo mensile e bin mensili per la pompa di calore

Programma

- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- **Considerazioni progettuali**
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Circuiti di distribuzione e pompe di calore
- Conclusione

Scelta del pozzo caldo

Deve avere la temperatura più bassa possibile

- **Aria interna**
  - Con sistemi ad espansione/condensazione diretta oppure impianto canalizzato
  - Costo elettrico elevato per la movimentazione dell'aria
- **Pannelli radianti**
  - Ottenibili temperature molto basse (22…25 °C) sovradimensionando i pannelli
  - Utilizzabile anche parzialmente in raffrescamento (carico sensibile)
- **Ventilconvettori**
  - Utilizzabili anche in raffrescamento e deumidificazione
  - Temperatura medio/alta, devono essere sovradimensionati
  - Rumorosi, inducono consumo elettrico
- **Radiatori**
  - Utilizzabili solo con forte sovradimensionamento
  - Non utilizzabili in raffrescamento

→ NECESSARIO CALCOLO DELLA TEMPERATURA DELL'IMPIANTO

Orari di funzionamento

Necessario passare al funzionamento 24/24

- Riduzione della potenza media →
  - Pompa di calore di taglia inferiore
  - Temperatura di mandata inferiore → COP maggiore

- In un edificio nuovo la costante di tempo è di 80…150 ore → 8 ore di spegnimento non hanno alcun effetto
- Effetto intermittenza illusorio con edifici ben isolati: quando si abbassa il termostato, la temperatura scende molto lentamente

→ temperatura sempre diversa in locali diversi

Scelta della sorgente fredda

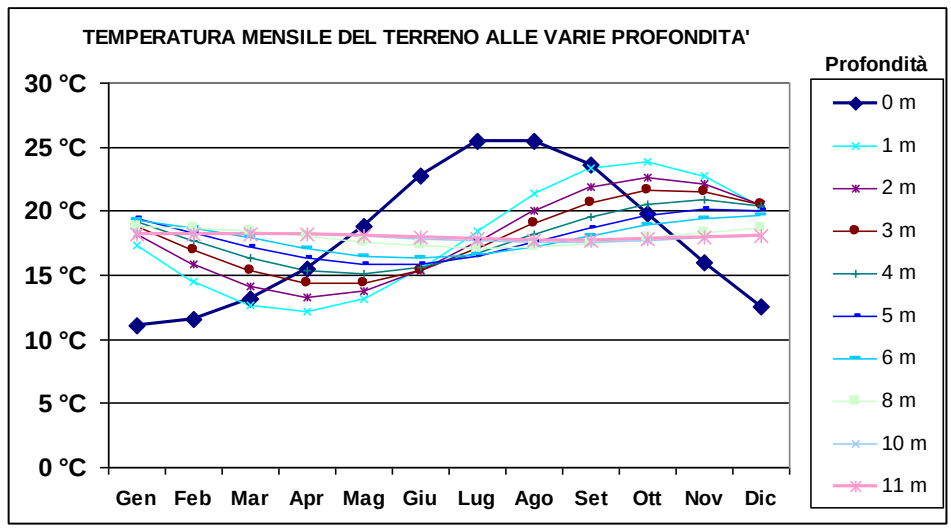
Deve avere la temperatura più alta possibile

- Aria esterna → bin, dimensionamento…
- Aria interna → *non gratuita in inverno*
- Terreno, scambiatore orizzontale
- Terreno, scambiatore verticale
- Acqua superficiale
- Acqua di falda

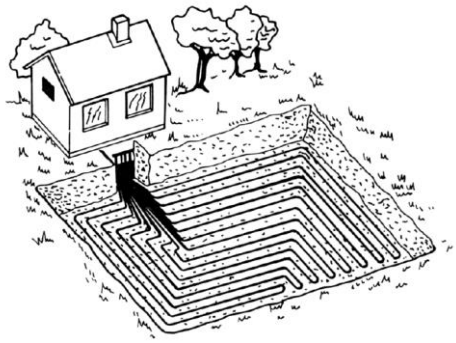
Temperatura del terreno

Il terreno è diviso in due fasce separate

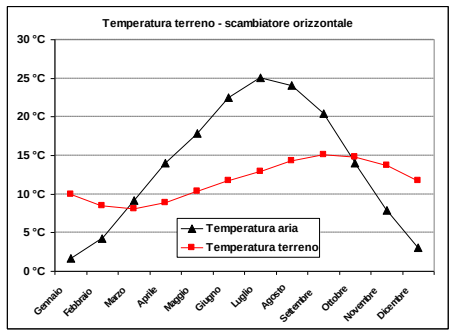
- Fino a circa 10 metri di profondità (zona perturbata):
  - Temperatura media uguale a quella dell'aria esterna
  - Avvicinandosi alla superficie cresce l'influenza della temperatura dell'aria (oscillazione attenuata e sfasata)
  - Uso di correlazioni empiriche per determinare il profilo di temperatura *(ampiezza e sfasamento dell'oscillazione rispetto alla temperatura media)*
- A circa 10 metri di profondità (superficie di discontinuità)
  - Temperatura uguale a quelle media annuale esterna
- Oltre 10 metri di profondità (zona non perturbata)
  - Temperatura crescente con la profondità (in prima approssimazione, temperatura costante)



Terreno, scambiatore orizzontale

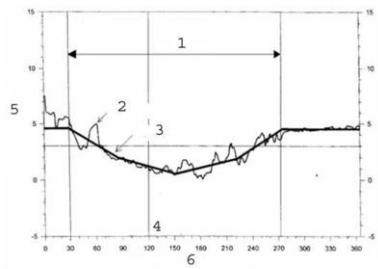


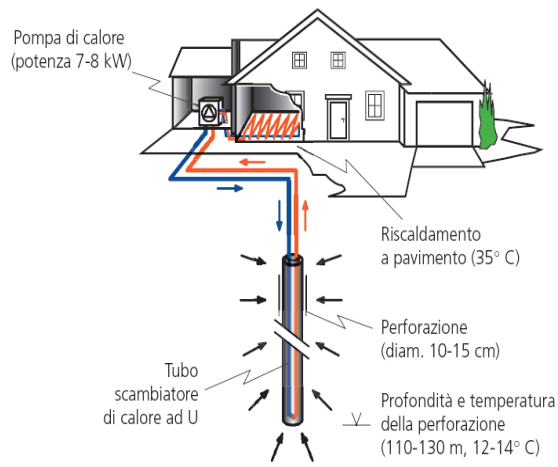
- 1..1,5 metri di profondità…
- Temperatura media annuale
- Componente oscillante sfasata



Terreno, scambiatore verticale

- Disponibili solo dati empirici espressi come W/m con utilizzo max di 1800 h/anno
- Fortemente dipendente da caratteristiche terreno
- Meglio se accoppiato con raffrescamento
- Modello da EN





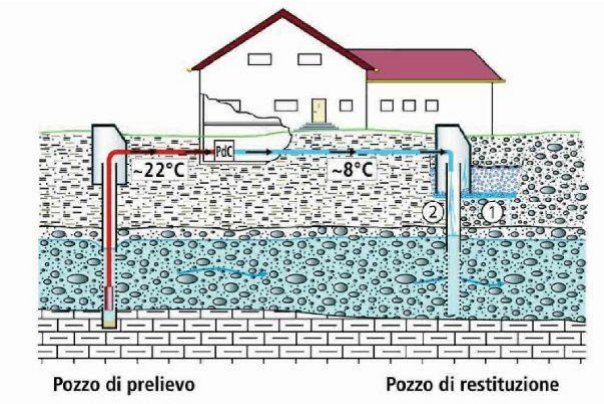
Temperatura dell'acqua

- Per il funzionamento della pompa di calore conta **la temperatura dell'acqua nella pompa di calore**
  - Rispetto al terreno ci deve essere una differenza di temperatura per garantire lo scambio termico (dipende dal tipo di terreno)
- La quantità di calore prelevabile annualmente con continuità è limitata alla capacità termica di un manicotto attorno allo scambiatore.
  - Dipende fortemente dalla tipologia del terreno e dall'eventuale movimento dell'acqua.
  - Convenzionalmente sono individuate delle potenze massime prelevabili per 1800 o 2400 h/anno
    - Verticale: 20 … 100 W/m
    - Orizzontale: 8…32 W/m²
  - Preferibile usare alternativamente il pozzo in riscaldamento e raffrescamento

OCCORRE ANCHE TENERE CONTO DEL CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA DELLE POMPE DEL POZZO

Acqua

- Acqua superficiale: laghi, fiumi, lagune …
  - Temperatura dipendente dal mese in superficie
  - Temperatura dipendente dalla profondità (laghi)
- Acqua di pozzo
  - Temperatura costante dipendente dalla zona
  - A perdere, emissione in superficie
  - Con reimmissione in pozzo di restituzione



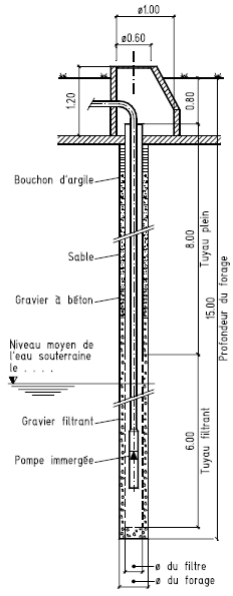
Criticità:

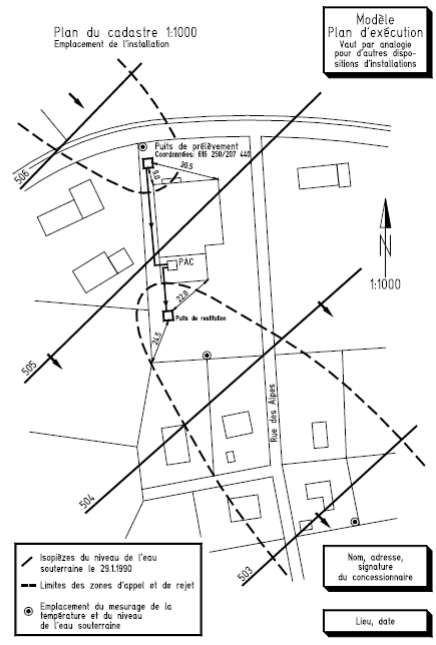
Aspetti autorizzativi

Energia per il sollevamento

Vedi calcolo…

Sembra poca ma dipende molto dal carico medio della pompa di calcolo





Programma

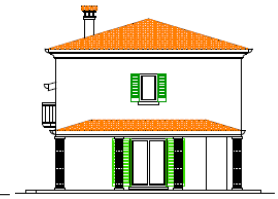
- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- **Esempio di dimensionamento**
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- Conclusione

Esempio di calcolo e dimensionamento

- Villetta isolata da 130 m² utili
- Potenza di progetto a -5°C → ≅ 8 kW
- Pompa di calore aria/acqua, potenza assorbita massima 2,7 kW
- Impianto di riscaldamento a pannelli radianti, dimensionati per temperatura di mandata massima di 35 °C
  … realizzato a radiatori …

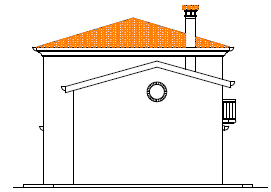
Villetta singola

PROSPETTO NORD - EST



PROSPETTO SUD - EST

PROSPETTO SUD - OVEST



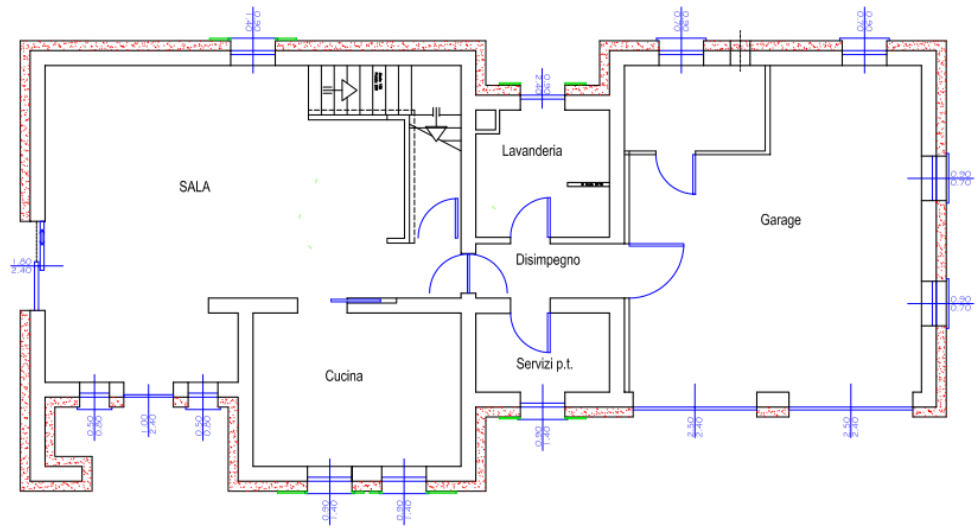
PROSPETTO NORD - OVEST

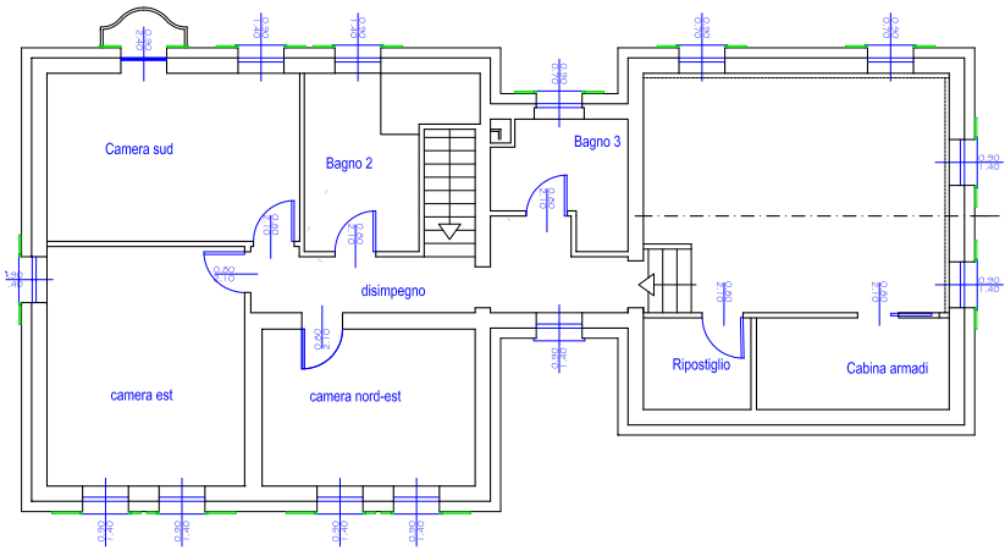
Struttura in muratura con cappotto esterno 16 cm

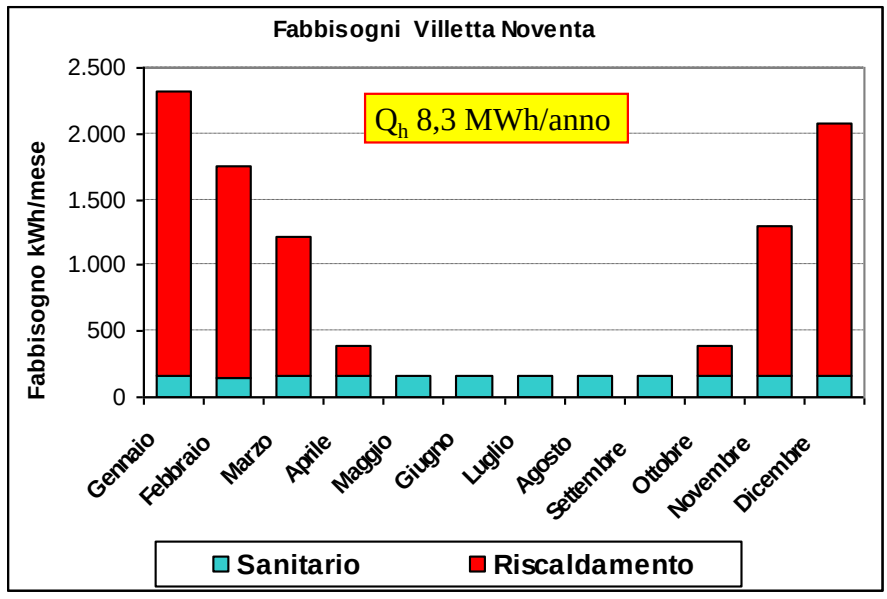
Potenza di progetto 8,2 kW

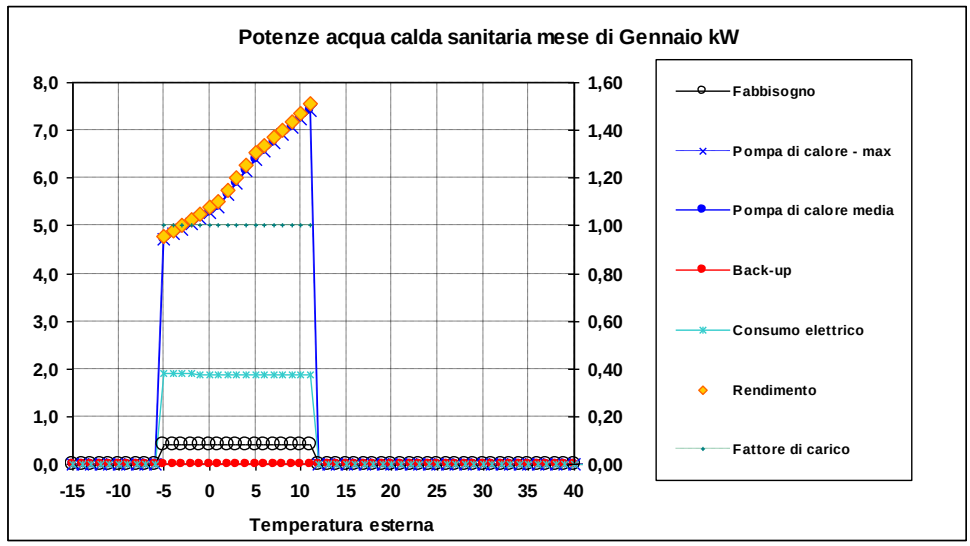
Non ottimizzata dal punto di vista dell'utilizzo di apporti gratuiti

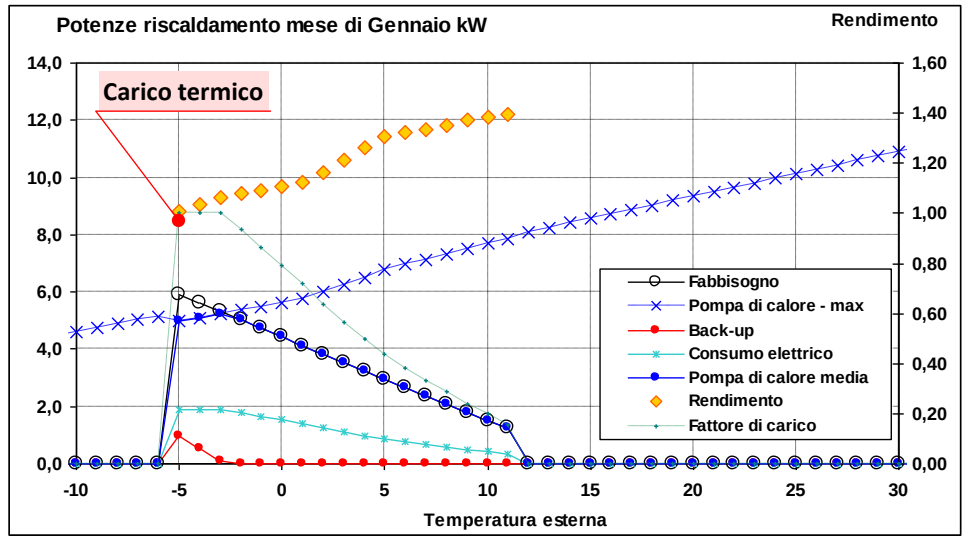
Villetta esempio




Camera sud
Bagno 2
Bagno 3
disimpegno
camera est
camera nord-est
Ripostiglio
Cabina armadi


Fabbisogni Villetta Noventa
Fabbisogno kWh/mese
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
Qh 8,3 MWh/anno
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre
Sanitario
Riscaldamento


Potenze acqua calda sanitaria mese di Gennaio kW
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
-15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40
Temperatura esterna
Fabbisogno
Pompa di calore - max
Pompa di calore media
Back-up
Consumo elettrico
Rendimento
Fattore di carico

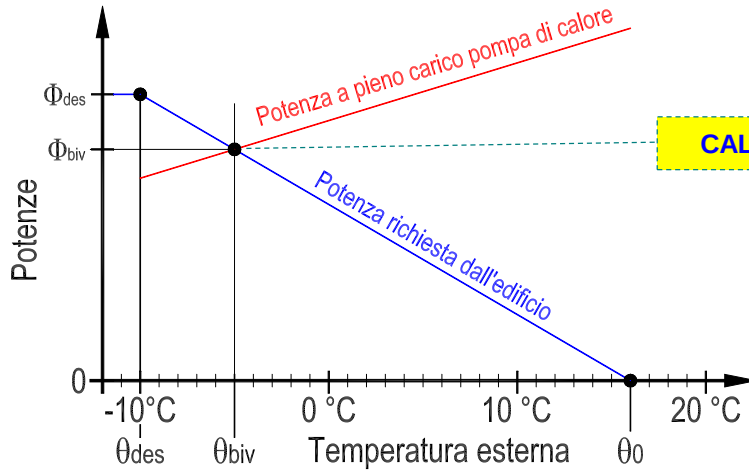

Potenze riscaldamento mese di Gennaio kW
Rendimento
Carico termico
14,0
12,0
10,0
8,0
6,0
4,0
2,0
0,0
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
-10 -5 0 5 10 15 20 25 30
Temperatura esterna
Fabbisogno
Pompa di calore - max
Back-up
Consumo elettrico
Pompa di calore media
Rendimento
Fattore di carico

Programma

- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- **Dimensionamento in base ai dati energetici**
- Conclusione

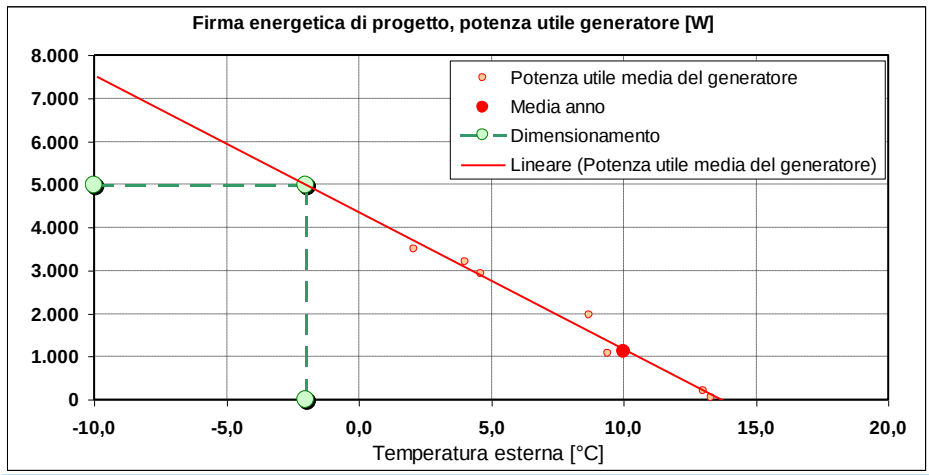
Dimensionamento della pompa di calore

- **Metodi di dimensionamento tradizionali (potenza):**
  - forte sovradimensionamento
  - costi elevati, pompa di calore non competitiva
- **Dimensionamento con calcoli di energia:**
  - Dimensionamento più preciso
  - Valorizza gli elevati apporti degli edifici ben isolati
  - Si può tenere conto dell'inerzia dell'edificio aumentando la temperatura di progetto (esempio: -5 °C → -1 °C)
- **Dimensionamento con l'energia** *(firma energetica di progetto)*
  - Calcolare il fabbisogno di energia mensile di progetto
  - Calcolare la potenza media di progetto mensile
  - Costruire il grafico potenza mensile / temperatura esterna media mensile
  - Interpolare con una retta e leggere la potenza richiesta alla temperatura di progetto



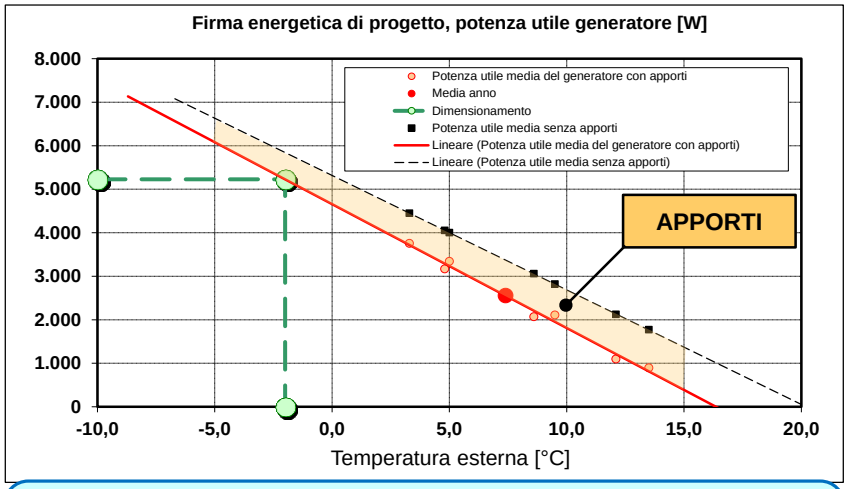
APPLICAZIONE DEI BIN AL DIMENSIONAMENTO
Alla temperatura di progetto la potenza utile deve essere sufficiente

Firma energetica di progetto

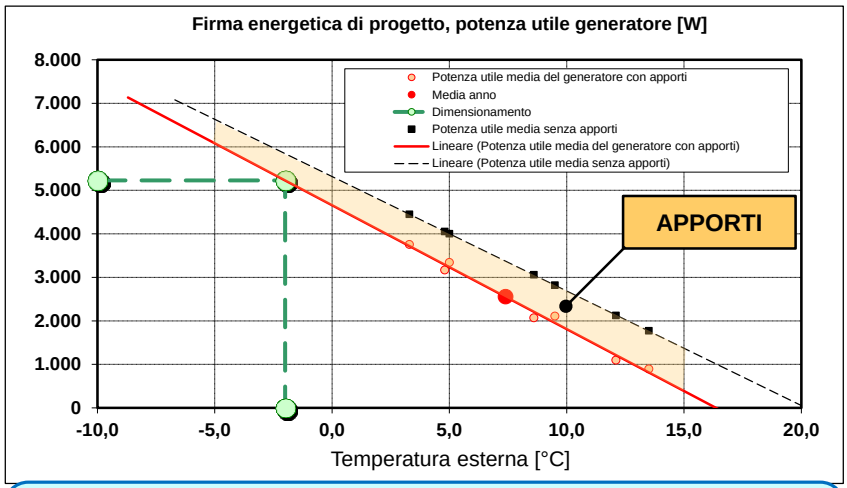


Dimensionamento standard 8,5 kW a -5 °C

Con firma energetica di progetto e bonus per inerzia edificio 5 kW a -2 °C
→ Rischio! → concordare prima!



DIMENSIONAMENTO TRADIZIONALE: 8,5 kW a -5 °C →
→ Con n = 0,3 h^{-1} e senza fattori esposizione 6,8 kW a -5 °C →
→ Con apporti gratuiti 6,0 kW a -5 °C →
→ Con inerzia edificio 5,0 kW a -2 °C →



DIMENSIONAMENTO CON L'ENERGIA NEL CASO DI UN EDIFICIO
Fattori di rischio nel dimensionamento con l'energia:
Presenza apporti gratuiti nelle giornate più fredde
Valutazione ponti termici e ventilazione

Dove trovare i dati…

- Esporta → Involucro → edificio → energia invernale
  → Energia utile, sommario apporti e perdite

FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE STAGIONE INVERNALE
Sommario perdite e apporti

Edificio : Via Guaiane 87

Categoria DPR 412/93	*E.1 (1)*	-	Superficie esterna	*501,62*	m^2
Superficie utile	*140,30*	m^2	Volume lordo	*610,00*	m^3
Volume netto	*378,81*	m^3	Rapporto S/V	*0,82*	m^{-1}

Dispersioni, apporti e fabbisogno di energia utile:

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]$_t$	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Ottobre	*579*	*100*	*680*	*176*	*178*	*354*	*327*
Novembre	*1626*	*286*	*1912*	*171*	*314*	*485*	*1427*
Dicembre	*2380*	*423*	*2802*	*136*	*325*	*461*	*2342*
Gennaio	*2644*	*471*	*3115*	*162*	*325*	*487*	*2628*
Febbraio	*2177*	*387*	*2564*	*268*	*293*	*561*	*2003*
Marzo	*1820*	*321*	*2141*	*378*	*325*	*703*	*1438*
Aprile	*612*	*107*	*719*	*214*	*157*	*371*	*348*
Totali	***11838***	***2095***	***13933***	***1505***	***1916***	***3421***	***10513***

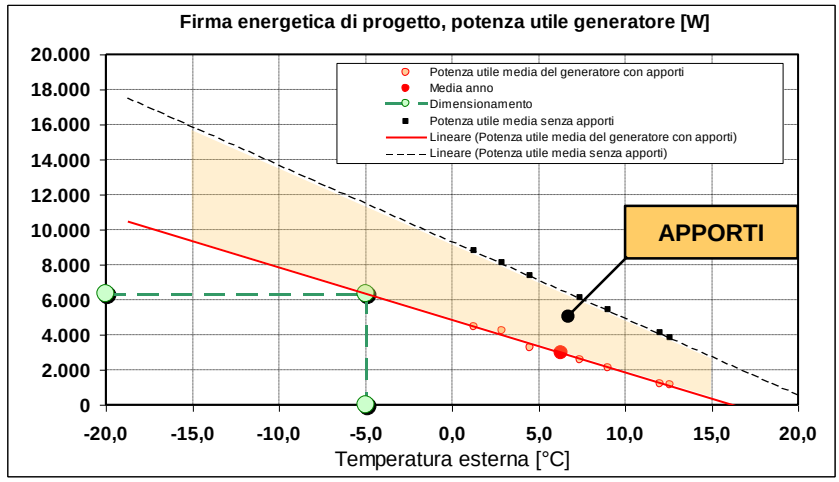
Per costruire i grafici

FIRMA ENERGETICA DI PROGETTO E DIMENSIONAMENTO DEL GENERATORE IN BASE A Q_L e Q_G

Mese		Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Stagione
Giorni periodo	gg	15	30	30	30	30	30	15	183
Temperatura esterna	°C	13,5	9,5	5,0	3,3	4,8	8,6	12,1	7,3
Gradi giorno stagione		*99*	*320*	*457*	*508*	*463*	*347*	*120*	*2.313*
Ore periodo	h	*365*	*731*	*731*	*731*	*731*	*731*	*365*	*4.383*
Ore/giorno attivazione impianto	h/gg	24	24	24	24	24	24	24	
Tempo attivazione impianto	h	*365*	*731*	*731*	*731*	*731*	*731*	*365*	*4.383*
Dispersioni Q_L	*MJ*	2.239	7.073	9.973	11.070	10.103	7.653	2.715	50.826
Energia utile Q_H	*MJ*	978	4.964	8.000	8.993	7.473	4.543	1.079	36.030
Dispersioni Q_L	*kWh*	*622*	*1.965*	*2.770*	*3.075*	*2.806*	*2.126*	*754*	*14.118*
Energia utile Q_H	*kWh*	*272*	*1.379*	*2.222*	*2.498*	*2.076*	*1.262*	*300*	*10.008*
Potenza utile media del generatore senza apporti	*W*	1.809	2.858	4.029	4.473	4.082	3.092	2.194	*3.422*
Potenza utile media del generatore con apporti	W	790	2.005	3.232	3.633	3.019	1.836	872	2.426

Rendimento di emissione		0,97
Rendimento di regolazione		0,99
Rendimento di distribuzione		0,98
Temperatura esterna di progetto	°C	-2
Potenza utile di progetto del generatore	W	5.109

MJ



DIMENSIONAMENTO CON L'ENERGIA NEL CASO DI UN EDIFICIO CONDOMINIALE BEN PROGETTATO
DAL PUNTO DI VISTA DEGLI APPORTI GRATUITI
CALDAIA DI INTEGRAZIONE E SOCCORSO O PDC ABBONDANTE?

Programma

- Introduzione
- Pompe di calore: le basi teoriche
- I dati delle pompe di calore
- I bin: cosa sono ed a cosa servono
- Cenni alla verifica energetica
- Considerazioni progettuali
- Esempio di dimensionamento
- Dimensionamento in base ai dati energetici
- **Conclusione**

Perché pompe di calore?

- **Caldaie**
  - **Obbediscono al primo principio della termodinamica: nessun ulteriore sviluppo futuro possibile**
  - **Emissione locale all'utilizzo**
  - **Facili da utilizzare, basso costo specifico**
  - **Possibile utilizzo su qualunque impianto a qualunque temperatura**
- **Pompa di calore**
  - **Obbedisce al secondo principio della termodinamica**
  - **Energeticamente più efficienti**
  - **Sono al 40…50% del massimo teorico**
  - **Nessuna emissione locale all'utilizzo**
  - **Più complicate da utilizzare, elevato costo specifico all'acquisto**
  - **Richiedono un edificio ben coibentato ed emettitori a bassa temperatura di mandata**
  - **Possono fare anche raffrescamento**

Conviene una pompa di calore?

- **Punto di vista energetico**: se il COP supera 2,4, equivale ad una caldaia che rende il 100% → piace «vincere facile»
- **Punto di vista economico**: occorre valutare il costo del kWh utile
  - 1 Nm^3 di **gas naturale**: 9,4 kWh a 0,80 € → 85 €/MWh utile
  - 1 kWh **elettrico** a 0,25 € / COP 3,0 → 83 €/MWh utile
  - 1 l di **gasolio**: 10,2 x 0,9 kWh a 1,30 € → 140 €/MWh utile

Soluzione valida:

- **Per nuovi edifici** ben coibentati ed **impianti a pannelli**
- Dove **non arriva gas naturale** da rete
- In abbinamento al servizio raffrescamento

… perché altrimenti che ci arriva al QR?!

… hanno ancora margini di sviluppo prestazionale ed economico