

PROGETTAZIONE CON POMPA DI CALORE

CRITERI DI PROGETTAZIONE E APPLICAZIONI A SISTEMI IBRIDI

SETTEMBRE 2025

01 Le basi teoriche della pompa di calore

02 Criteri di progettazione impianti a pompa di calore

03 Esempi pratici di progettazione

04 Pompa di calore e fotovoltaico

**Che cos'è una pompa di calore?
... e che cosa è un refrigeratore?**

- La caldaia è un «trasformatore» di energia, l'energia chimica del combustibile è «convertita» in calore dalla reazione di combustione e poi ceduta spontaneamente all'acqua e poi all'ambiente riscaldato.

Risponde al primo principio della termodinamica, non si può avere all'uscita più dell'energia immessa.

- La pompa di calore è un «trasferitore» di energia: con poca energia è possibile trasferirne tanta.

Risponde al secondo principio della termodinamica, l'energia trasferita può essere più di quella utilizzata

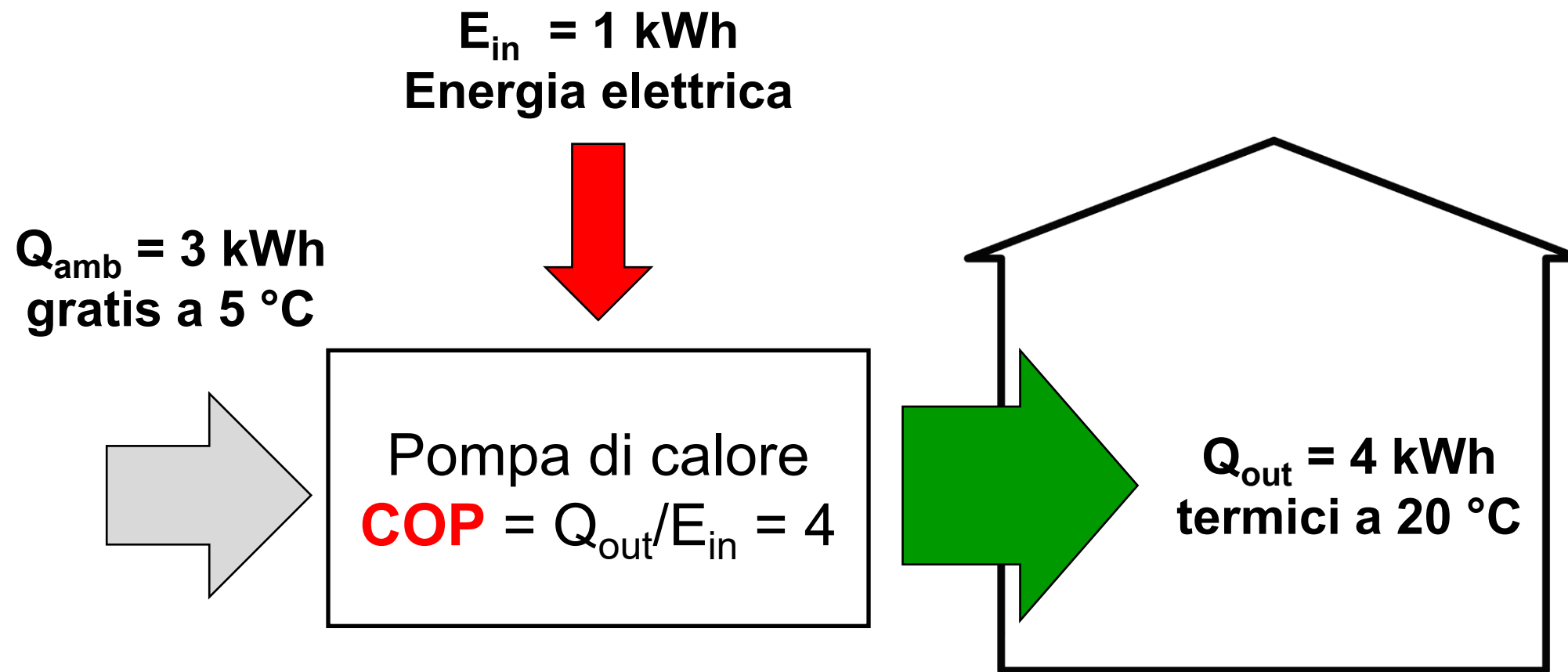
«Efficienza» è...

Effetto utile ottenuto

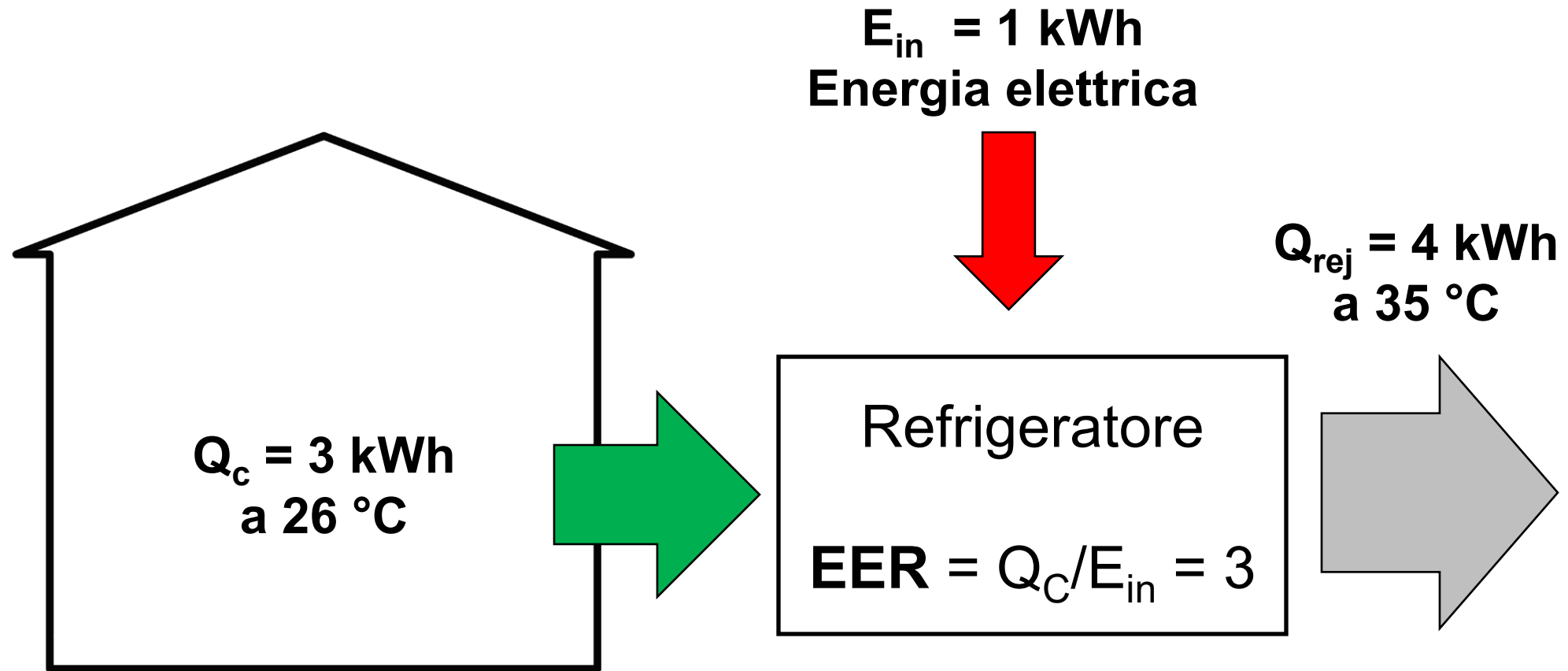
Risorse impiegate

Esempi di efficienza:

- Km percorsi con un litro di carburante
- Pezzi prodotti per ogni ora di lavoro



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



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

«Efficienza» è...

Effetto utile ottenuto

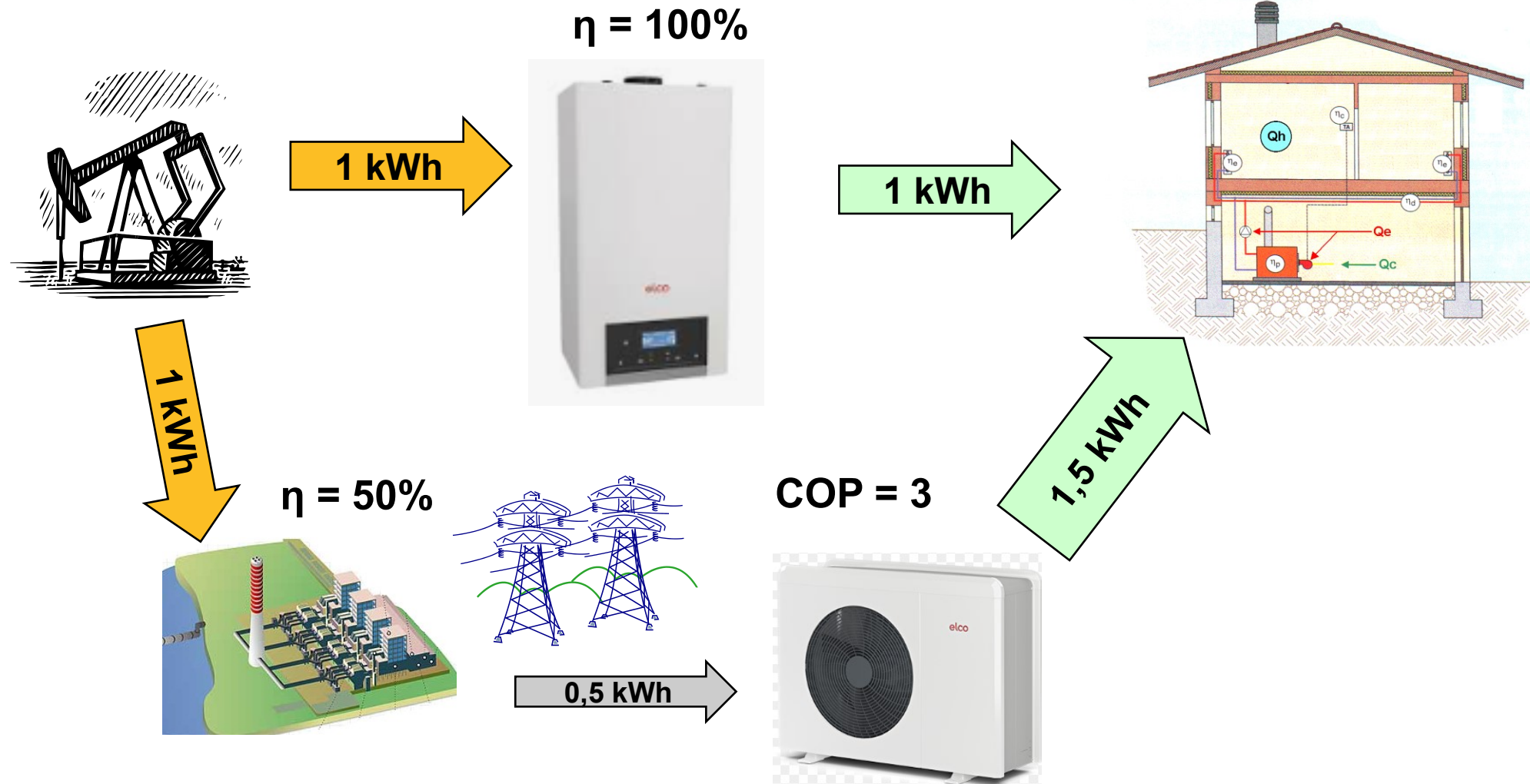
Risorse impiegate

Esempi di efficienza:

- Km percorsi con un litro di carburante
- Pezzi prodotti per ogni ora di lavoro

**Attenzione a valutare
correttamente
le risorse impiegate.**

**Se soluzioni diverse usano
risorse diverse occorre un
«fattore comune»**



Nel confrontare l'efficienza di pompa di calore e caldaia, occorre ricordare che le «risorse impiegate» non sono le stesse. 1 kWh elettrico, per essere generato e reso disponibile alla presa, necessita mediamente l'impiego di 2 kWh fossili.

Rendimento η equivalente di una pompa di calore elettrica:

COP x rendimento di produzione dell'energia elettrica

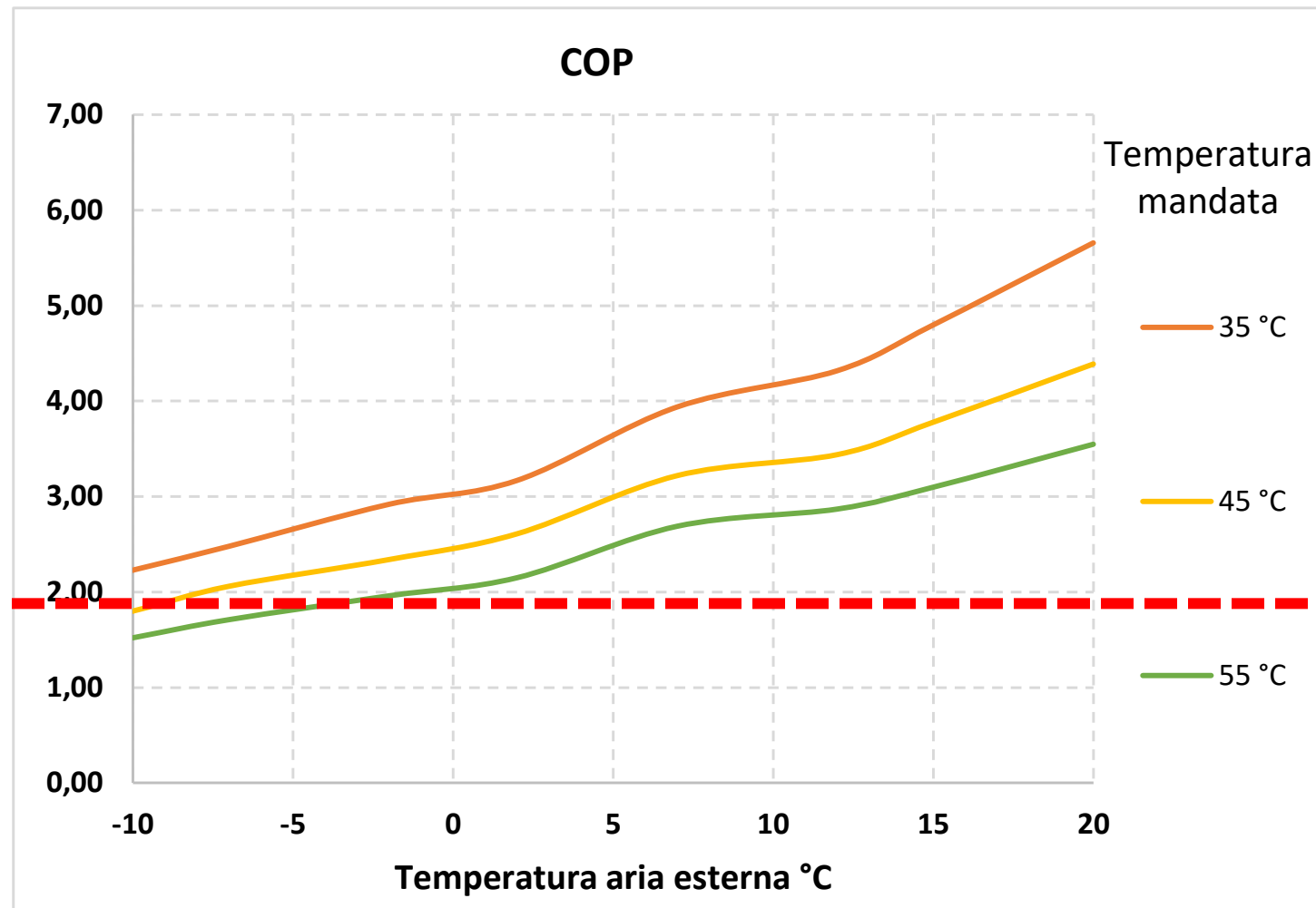
– «Rendimento elettrico» **italiano** = $+1/1,91 \approx 50\%$

– «Rendimento elettrico» = $+1/2,50 \approx$

In Italia $\rightarrow$ COP 3,0 $\rightarrow \eta = 3,0 \times 0,50 = 150\%$

Per UE $\rightarrow$ COP 3,0 $\rightarrow \eta = 3,0 \times 0,40 = 120\%$

La differenza è giustificata dalla diversa composizione del parco centrali elettriche medio italiano ed europeo



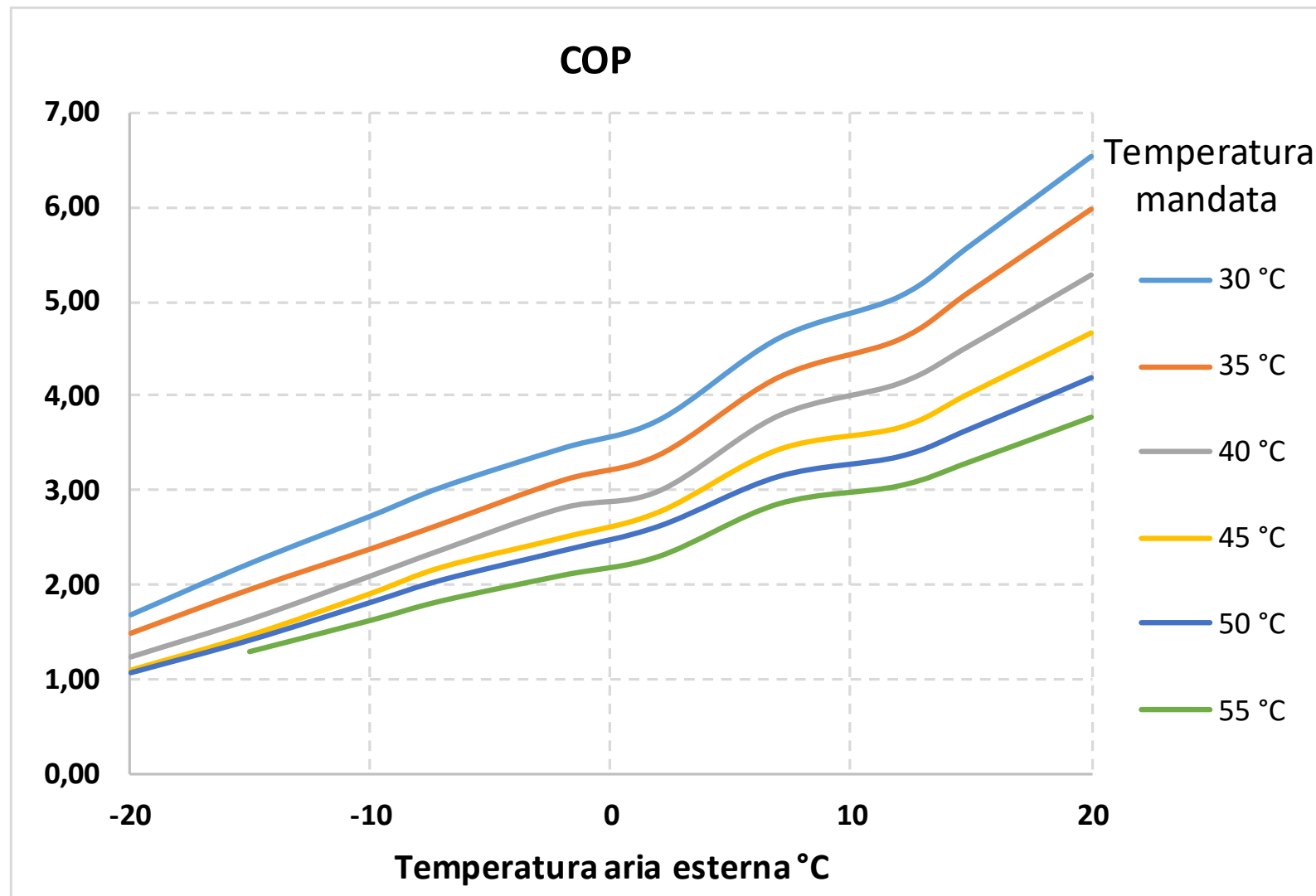
Da un punto di vista puramente energetico in fase di utilizzo, non c'è storia: se non si fanno errori grossolani un sistema a pompa di calore alimentato dalla rete elettrica è più efficiente di un sistema con caldaia a combustibile fossile.

Se poi ci aggiungiamo un po' di FV...

Equivalenza energetica

Energia utile	kWh	100	100	100
COP		4,3	3,5	2,9
Consumo	kWh	23,3	28,6	34,5
	%	100	123	148

La prestazione energetica di una pompa di calore dipende però fortemente dalle temperature delle sorgenti...



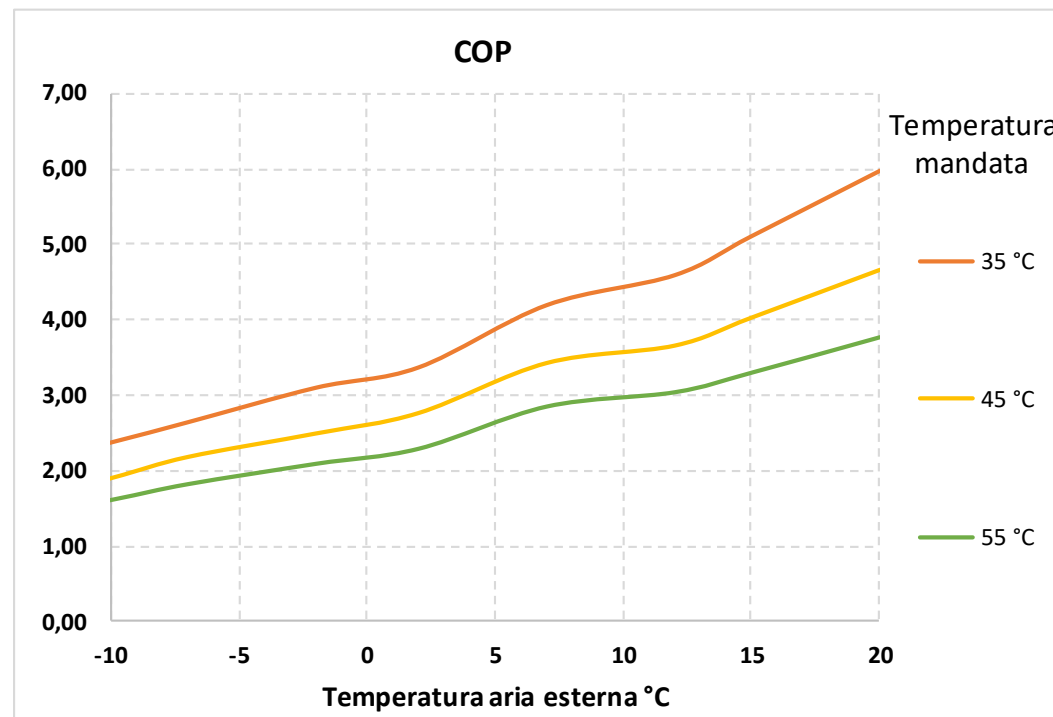
ESERCIZIO

Una pompa di calore alimenta un impianto quando la temperatura esterna è di 6 °C.

Quanto costa ogni kWh di calore utile da inviare a:

- 1) Un impianto a pannelli, temperatura di mandata 35 °C
- 2) Ventilconvettori, temperatura di mandata 45 °C di
- 3) Acqua calda sanitaria, temperatura di mandata 55°C
- 4) E con una caldaia?

EE 0,25 €/kWh, gas 0,80 €/Sm³

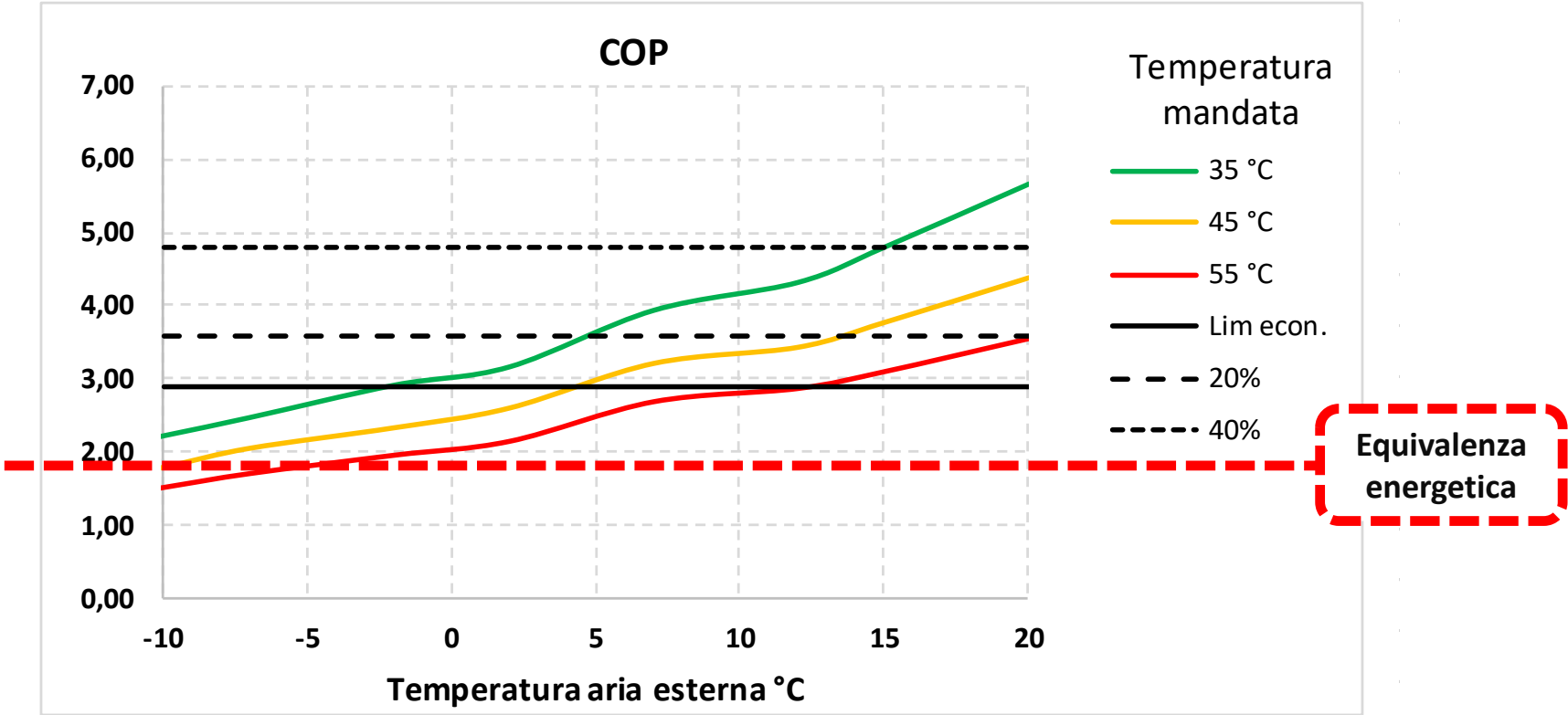


Pompa di calore 35 °C 0,0625 €/kWh

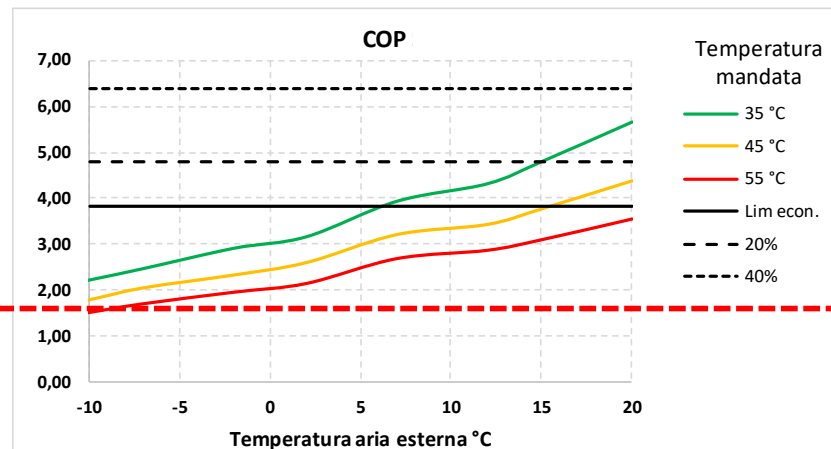
Pompa di calore 45 °C 0,0757 €/kWh

Pompa di calore 55 °C 0,0893 €/kWh

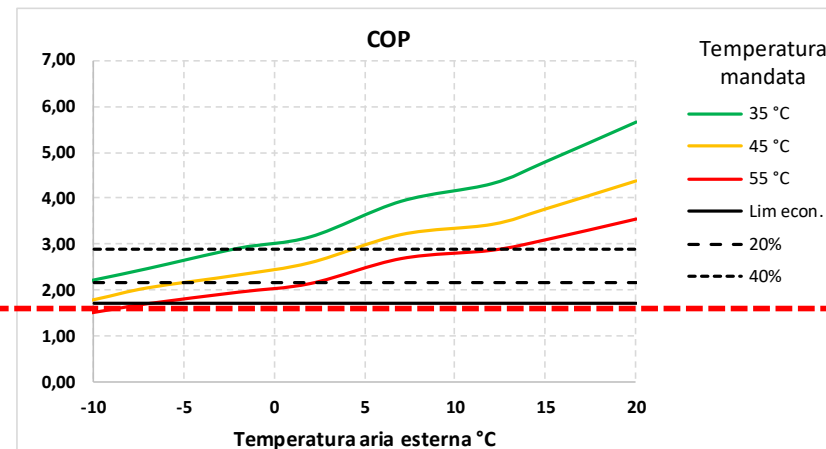
Caldaia 0,0833 €/kWh



Rendimento caldaia	96%	PCI	9,6	kWh/Sm ³
Costo gas	0,80	€/Sm ³		
Costo energia elettrica	0,25	€/kWh	COReq	2,88



Rendimento caldaia	96%	PCI	9,6	kWh/Sm³
Costo gas	0,60	€/Sm³		
Costo energia elettrica	0,25	€/kWh	COPEq	3,84

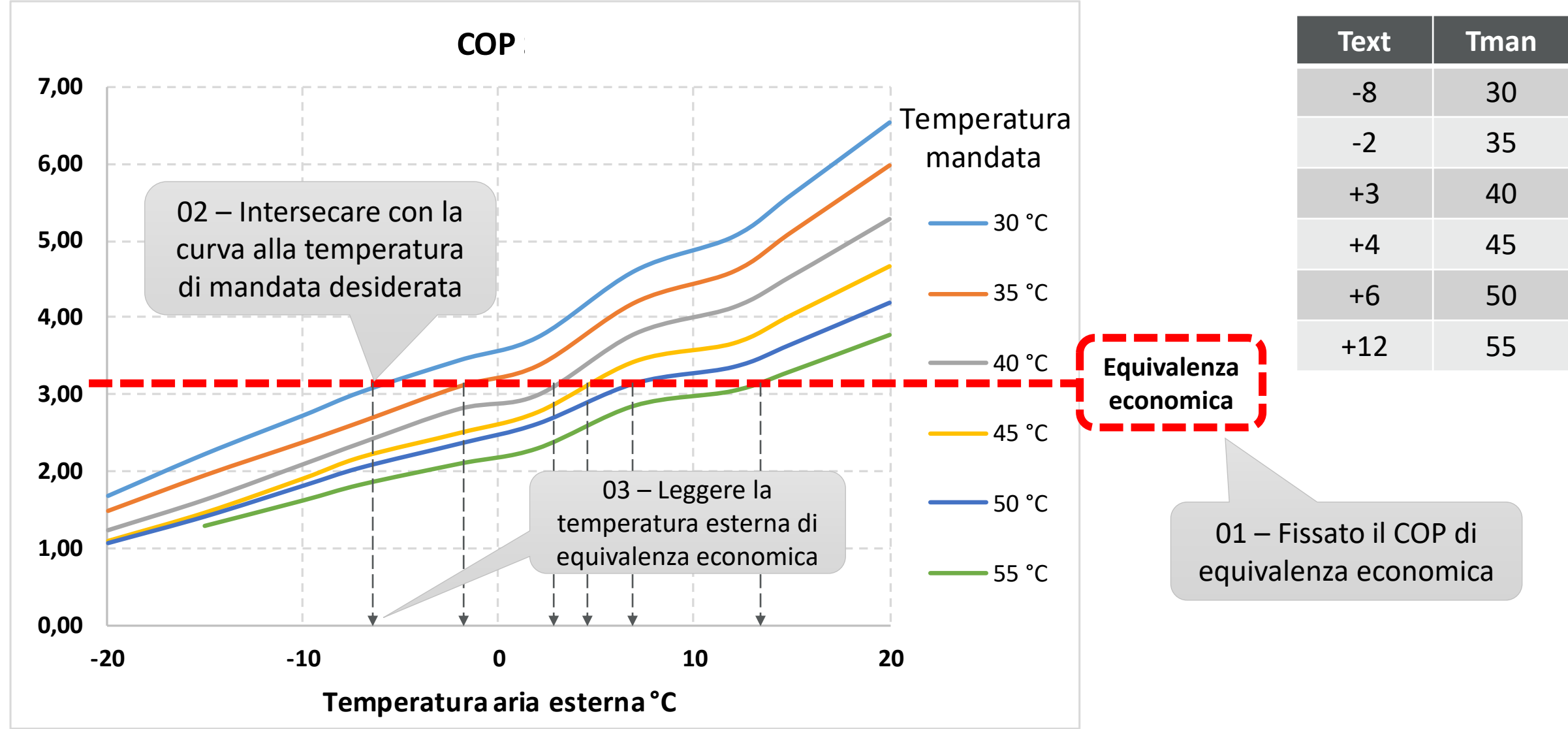


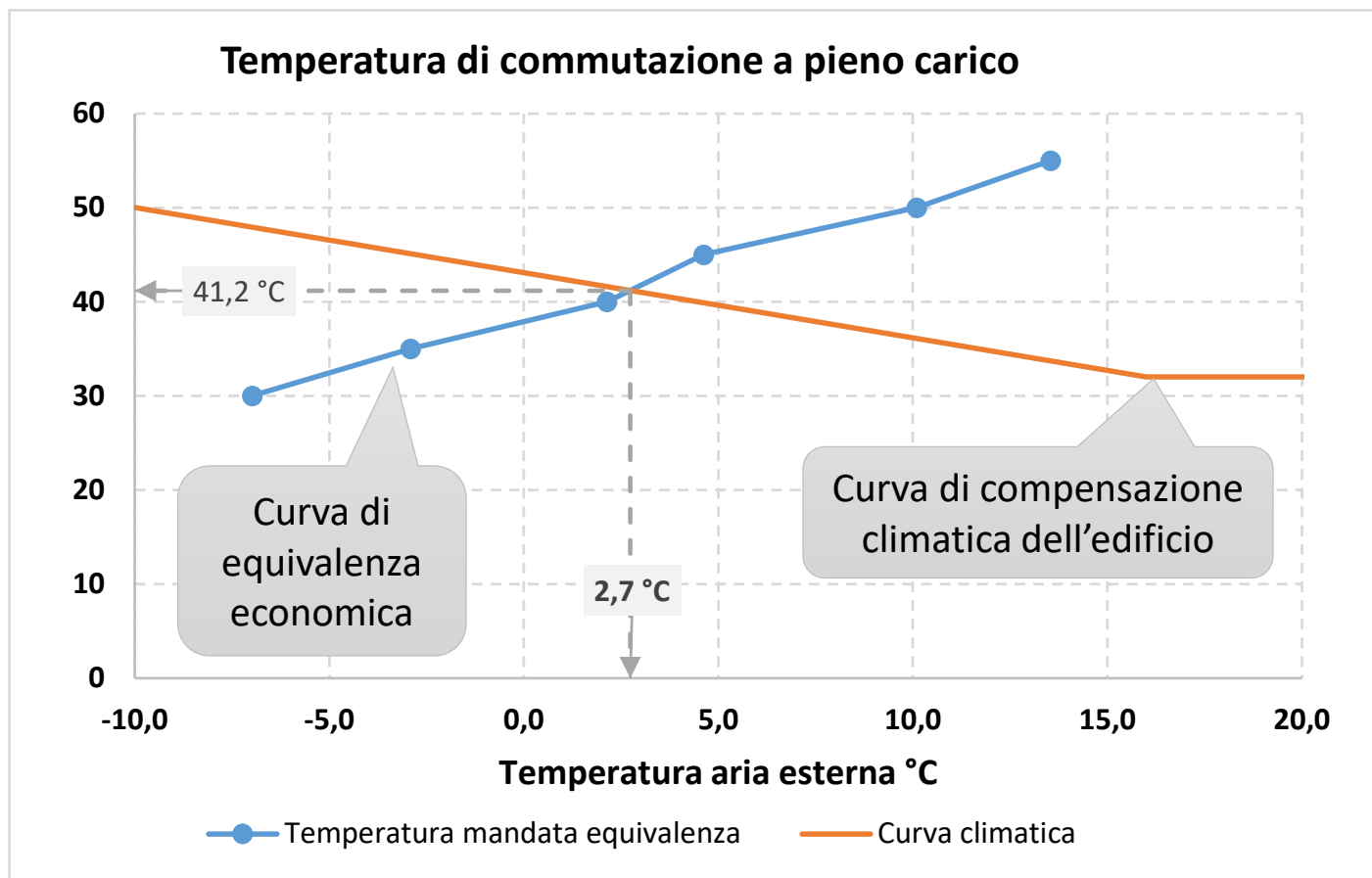
Rendimento caldaia	96%	PCI	9,6	kWh/Sm³
Costo gas	0,80	€/Sm³		
Costo energia elettrica	0,15	€/kWh	COPEq	1,728

Equivalenza energetica

L'equivalenza economica gestionale dipende dalle tariffe gas e energia elettrica...
Date le tariffe di luce e gas, esiste un COP di equivalenza economica all'utilizzo

$$COP_{eq} = \frac{P_{el} \left[\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right] \times PCI_{gas} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right] \times \eta_{cald}}{P_{gas} \left[\frac{\text{€}}{\text{Sm}^3} \right]}$$





Per ogni temperatura esterna dell'aria esiste una temperatura di mandata di equivalenza economica di gestione.

La temperatura di mandata di equivalenza cresce con la temperatura esterna

Incrociando questa curva con la curva climatica si ottiene la temperatura di commutazione ideale

Idealmente non serve il funzionamento contemporaneo, o conviene la pompa di calore o la caldaia.

Ci potrebbe essere un zona grigia in caso di collegamento in serie delle due macchine



01 Le basi teoriche della pompa di calore

02 Criteri di progettazione impianti a pompa di calore

03 Esempi pratici di progettazione

04 Pompa di calore e fotovoltaico

- Scelta della sorgente fredda da cui prelevare il calore e limiti di temperatura
- Tipo di pozzo caldo e limiti di temperatura
- Dimensionamento dei corpi scaldanti
- Portate nell'impianto
- Volume di acqua dell'impianto
- Portata nella pompa di calore
- Potenza e consumi degli ausiliari elettrici non compresi nel COP
- Rumore dell'unità esterna
- Servizi a livelli di temperatura diversi
- Dimensionamento della pompa di calore
- Potenza elettrica necessaria
- Requisiti di sicurezza, ambientali e sulle emissioni → refrigerante

*Se il progetto è realizzato in conformità alle norme tecniche vigenti,
si considera eseguito a regola d'arte*

- **EN 12828:2014**

Impianti di riscaldamento negli edifici - Progettazione dei sistemi di riscaldamento ad acqua

- Norma generale sulla progettazione degli impianti di riscaldamento e preparazione di acqua calda sanitaria

- Contiene alcuni principi generali

- Contiene anche prescrizioni relative alla sicurezza superate in Italia da INAIL / ISPESL / DPR 412/93

Norma che necessita di una revisione

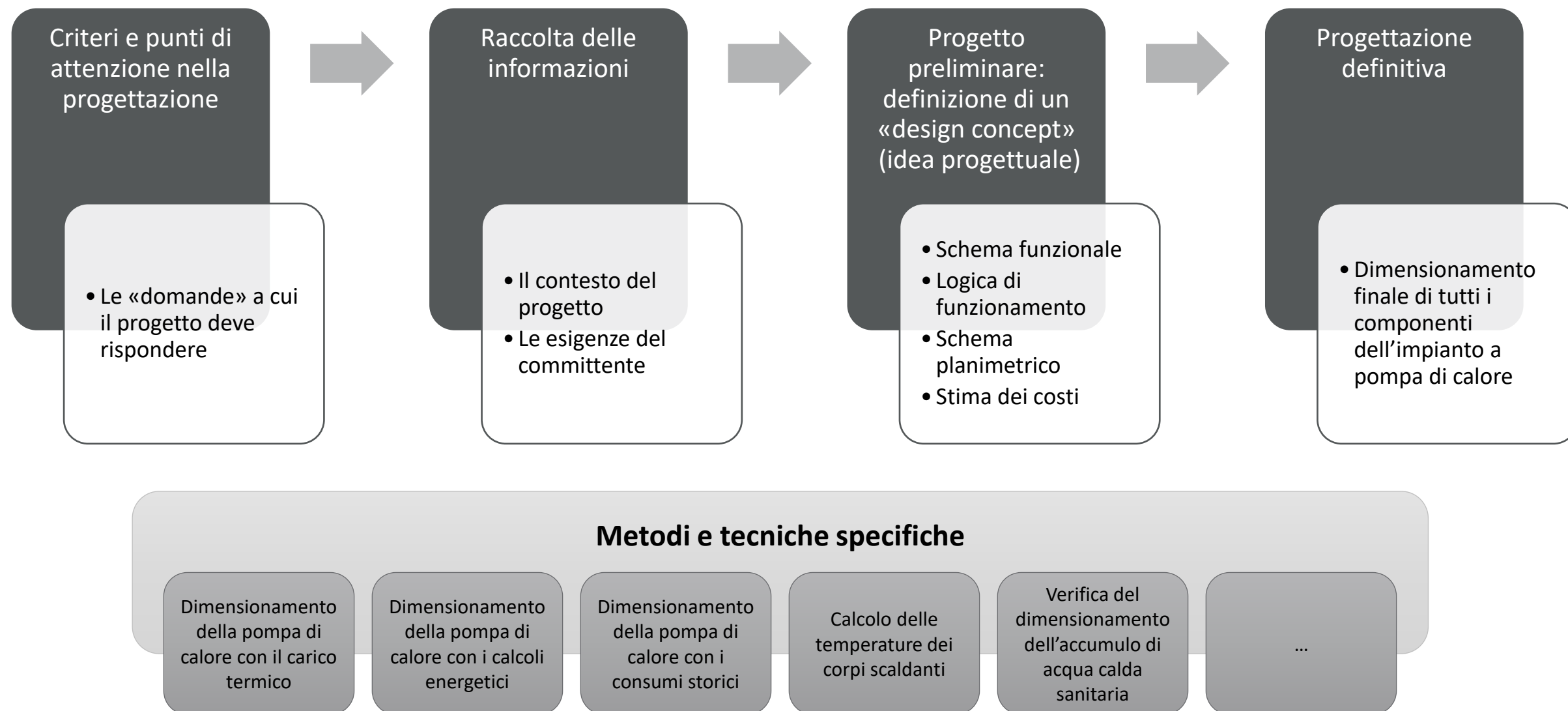
- **EN 15450:2008**

Impianti di riscaldamento negli edifici - Progettazione degli impianti di riscaldamento a pompa di calore

- Integra la norma EN 12828 con prescrizioni specifiche per gli impianti a pompa di calore

- In fase di revisione profonda, dovrebbe andare all'inchiesta pubblica entro fine anno

Nel seguito illustrata la bozza di revisione



- Obiettivo: prestazione energetica stagionale tenuto conto dei vincoli
- Scelta della sorgente fredda
- Scelta della sorgente calda
 - Dimensionamento della potenza nominale dei corpi scaldanti
 - Valutazione dei casi di temperatura di mandata diverse per servizio o per zona
- Dimensionamento della portata nei corpi scaldanti
- Verifica della portata nella pompa di calore
- Dimensionamento della potenza della pompa di calore
- Scelta del volume di acqua dell'impianto
- Requisiti specifici dei vari servizi e delle loro combinazioni
 - Valutazione della modalità di produzione di acqua calda sanitaria
 - Servizi a diversi livelli di temperatura
 - Servizi contemporanei (H+W e C+W)
 - ...
- Impatti ambientali: rumore, perforazione del terreno, uso di prodotti chimici, refrigeranti
- Sicurezza: scoppio, esplosione, tossicità legate al refrigerante

- Raccolta, analisi e definizione di
 - Esigenze del committente
 - Stato del sito
 - Tecnologie applicabili e criteri tecnologici
 - Vincoli regolamentari
 - Definizione di una soluzione costruttiva
 - schema funzionale e logiche di funzionamento
 - schema planimetrico (ubicazione apparecchi)
 - liste dei componenti
 - valutazione costi
 - Dimensionamento dettagliato dei singoli componenti
 - Verifica della prestazione energetica
- **Edifici nuovi**
Foglio bianco, si dimensionano i componenti con criteri specifici per la pompa di calore...
 - **Edifici esistenti**
Si verifica se si ottengono condizioni adeguate per l'utilizzo con pompa di calore
 - temperature impianto
 - potenze richieste
 - opportunità di interventi concomitanti

Aria esterna	Sempre disponibile Economica	Temperatura bassa e variabile Rumore	Usuale
Terreno, scambiatore orizzontale	Temperatura più stabile rispetto all'aria	Circuito acqua esterno Costo e spazio per scambiatore Sensibile al clima	Costoso
Terreno, scambiatore verticale	Temperatura più stabile rispetto all'aria Anche per raffrescamento e free-cooling	Costo e spazio per trivellazione Incertezza prestazione scambiatore a lungo termine Problemi autorizzativi (perforazione falde) Circuito acqua con glicole	
Acqua di falda	Temperatura costante tutto l'anno Anche per raffrescamento e free-cooling	Disponibilità locale Costo energetico di sollevamento e pompaggio Problemi autorizzativi prelievo e restituzione Qualità dell'acqua, filtrazione	Nicchia
Acqua superficiale	Temperatura poco variabile Anche per raffrescamento e free-cooling	Disponibilità localizzata Filtrazione Costo energetico di pompaggio	

- **Pannelli radianti**

- Intrinsecamente a bassa temperatura di mandata, tecnologia consolidata

- **Radiatori su nuovo**

- Necessario dimensionarli in funzione della temperatura di mandata desiderata (ad esempio: 40 °C)
 - Regolazione: valvole termostatiche comode ma non adatte a variazioni di set-point

- **Radiatori su esistente**

- Verificare la temperatura di mandata richiesta in funzione della dimensione dei corpi scaldanti installati
 - Verificare il tipo di connessione dei corpi scaldanti: monotubo, bitubo, ...
 - Valutare l'effetto del funzionamento continuato e/o della coibentazione dell'edificio

- **Ventilconvettori**

- Soluzione per raffrescamento e quando non si può coibentare l'edificio e/o installare pannelli radianti

- **Impianti misti (più livelli di temperatura di mandata)**

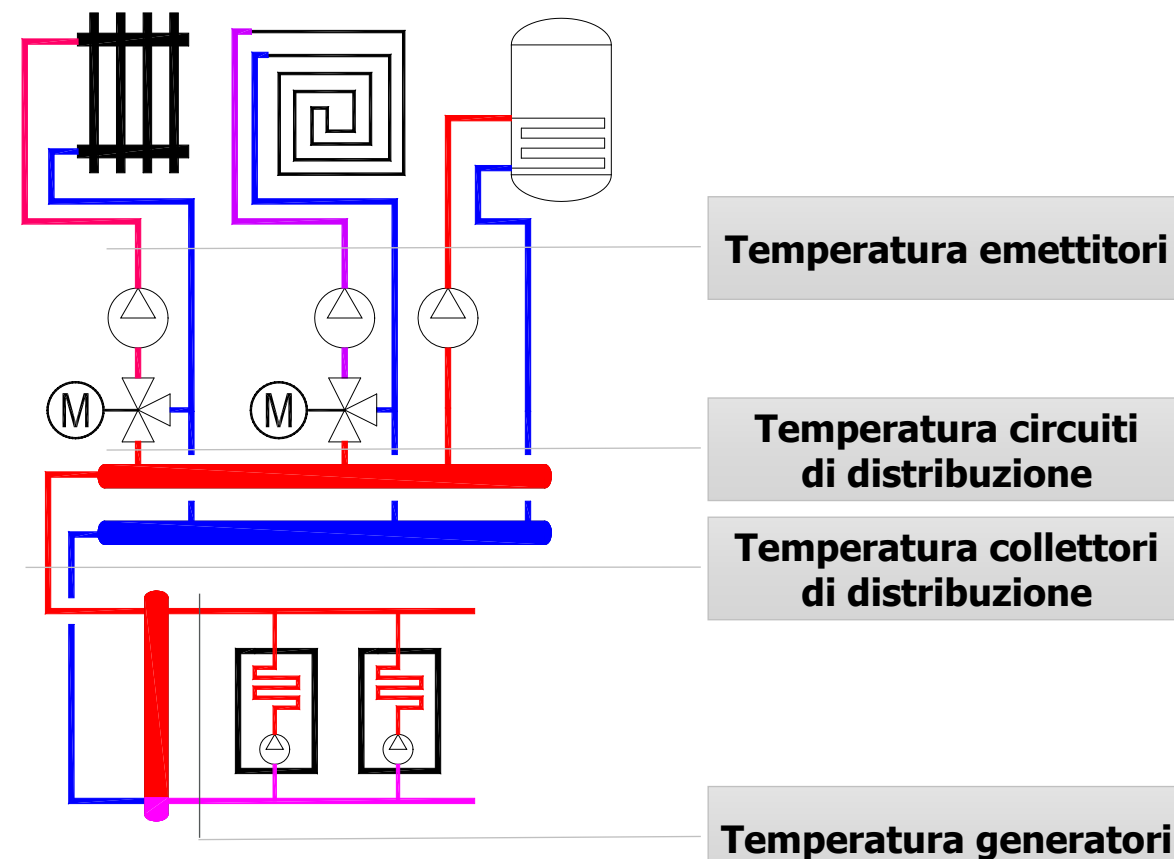
- Separare i circuiti, scegliere fra funzionamento alternato o macchine distinte

- Per valutare l'effetto della scelta dei circuiti idraulici sull'efficienza del generatore, cioè determinare la temperatura di mandata richiesta, occorre analizzare in sequenza:
 - La temperatura richiesta dagli emettitori
 - La temperatura dei circuiti di distribuzione
 - La temperatura ai capi del generatore

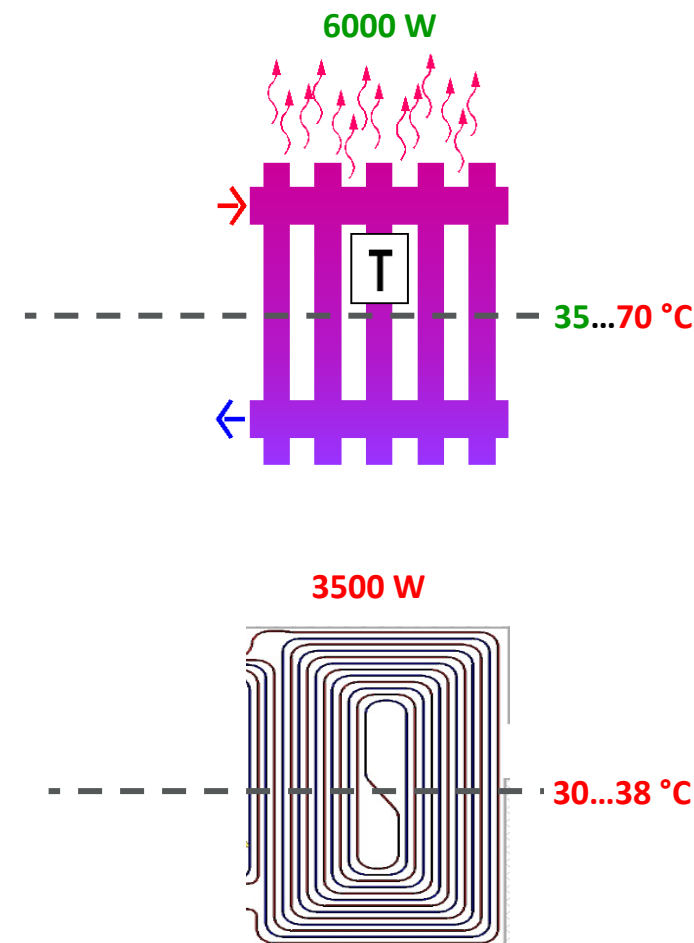
Procedendo dagli emettitori al generatore, le temperature di mandata e di ritorno possono solo aumentare.

Calcolo UNI-TS 11300
da effettuare con attenzione.

Nel caso della pompa di calore è importante che la temperatura di mandata della pompa di calore sia identica alla temperatura di mandata del corpo scaldante

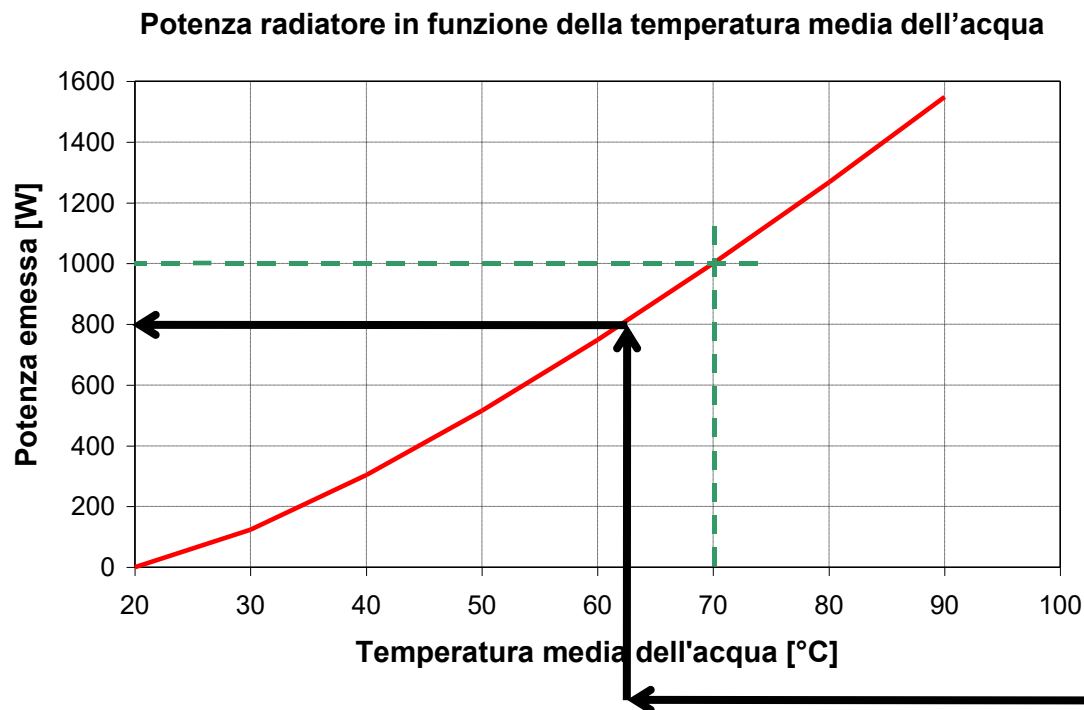
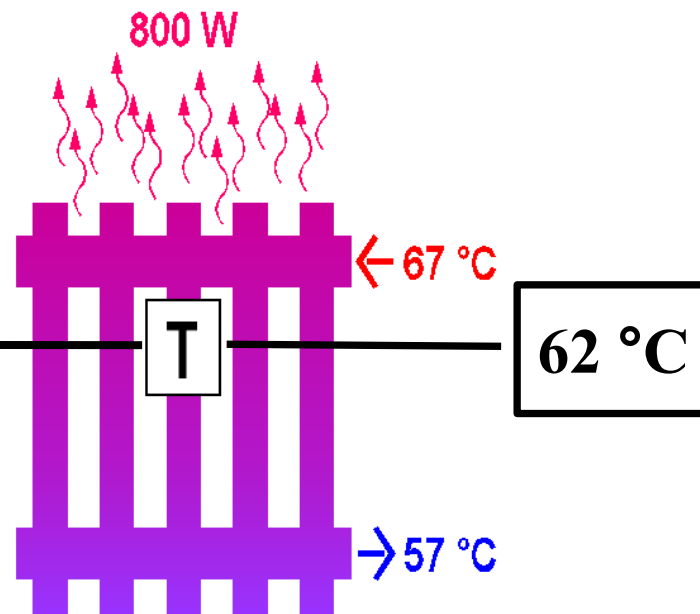


- La temperatura media dei corpi scaldanti dipende da:
 - Tipo di corpo scaldante
 - Dimensionamento relativo alla potenza da erogare
→ *dimensione = potenza nominale e ΔT di riferimento (50 / 60 °C)*
- Tipo di corpo scaldante
 - Pannelli radianti: di regola a bassa temperatura media
 - Radiatori: temperatura media molto variabile in funzione del dimensionamento relativo alla potenza da erogare
 - Ventilconvettori: temperatura media minima di 40...45°C
Difficilmente riducibile altrimenti si rischia discomfort



1000 W
nominali con $\Delta\theta$
= 50 °C

Con $\Delta\theta = 42$ °C
Si erogano
800 W



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

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

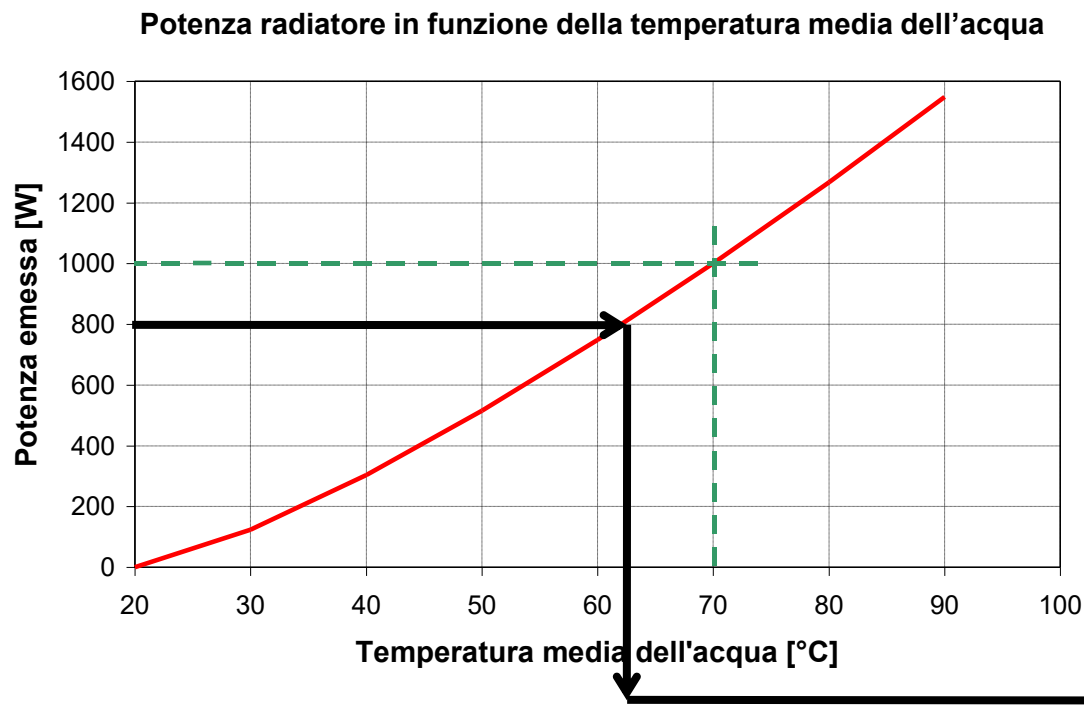
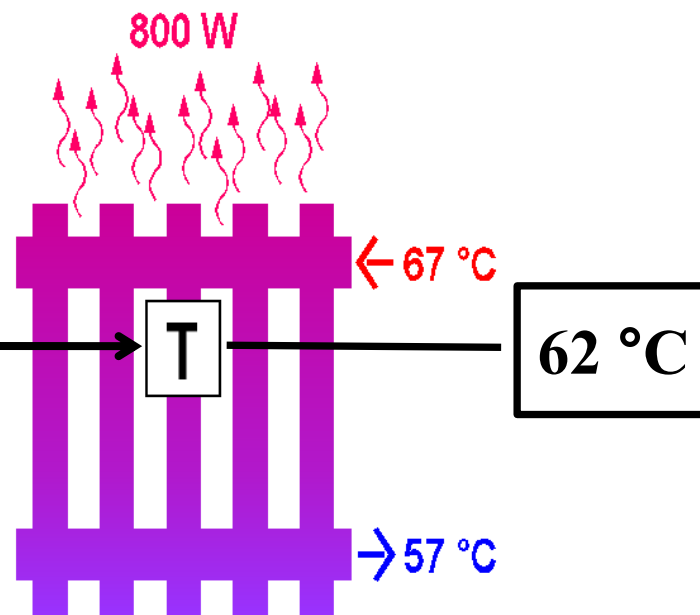
$$T_{med} = \Delta T_{ref} \times \left(\frac{P}{P_{nom}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

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

*n è l'esponente
caratteristico del
corpo scaldante
Radiator: $n = 1,3$
Pannelli $n = 1,13...$*

1000 W nominali
con $\Delta\theta = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Per erogare
800 W
serve $\Delta\theta = 42\text{ }^{\circ}\text{C}$



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

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

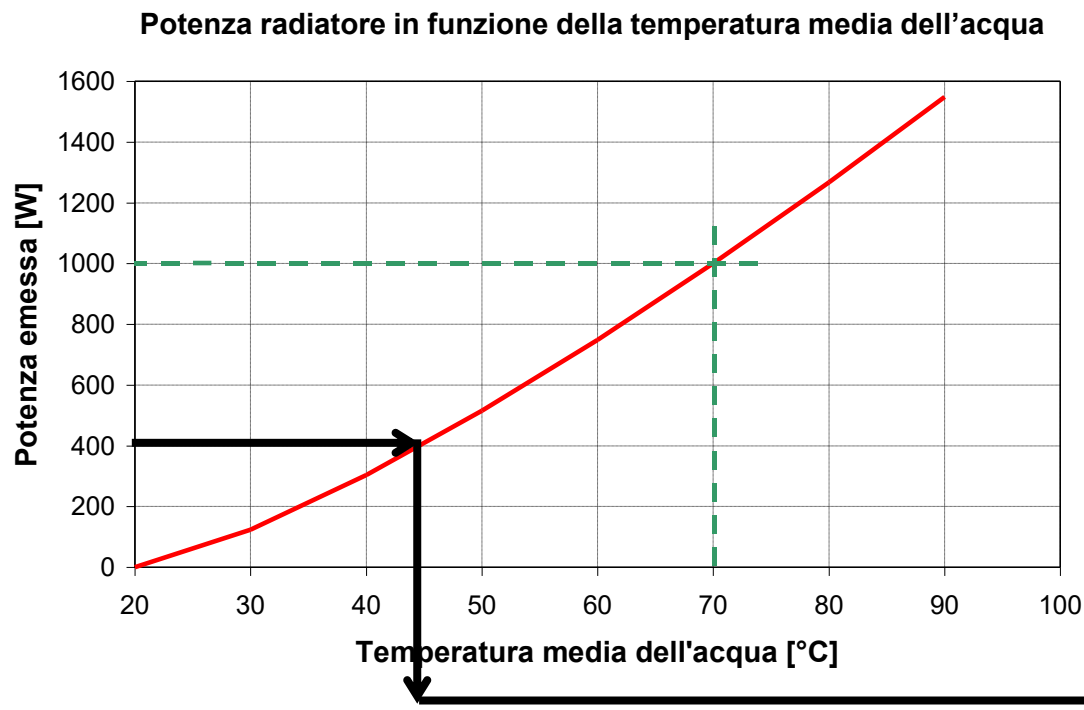
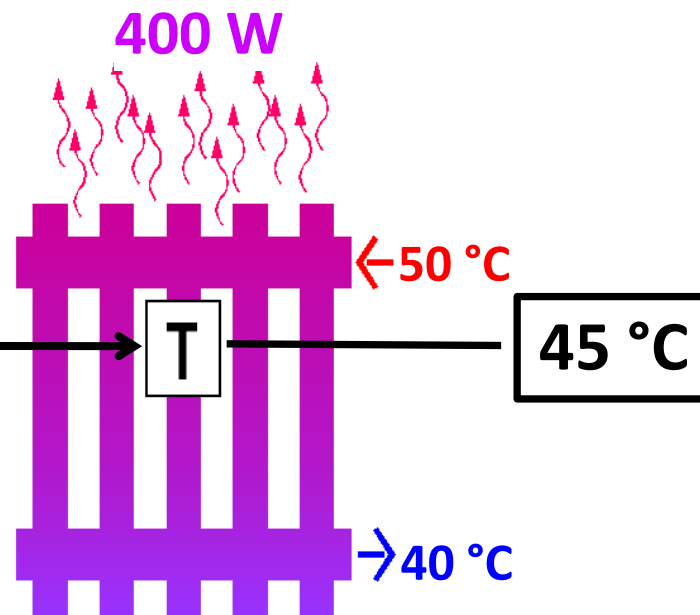
$$T_{med} = \Delta T_{ref} \times \left(\frac{P}{P_{nom}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

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

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

Per erogare 400 W con $\Delta\theta = 25\text{ °C}$

serve una potenza nominale di $\cong 1000\text{ W}$



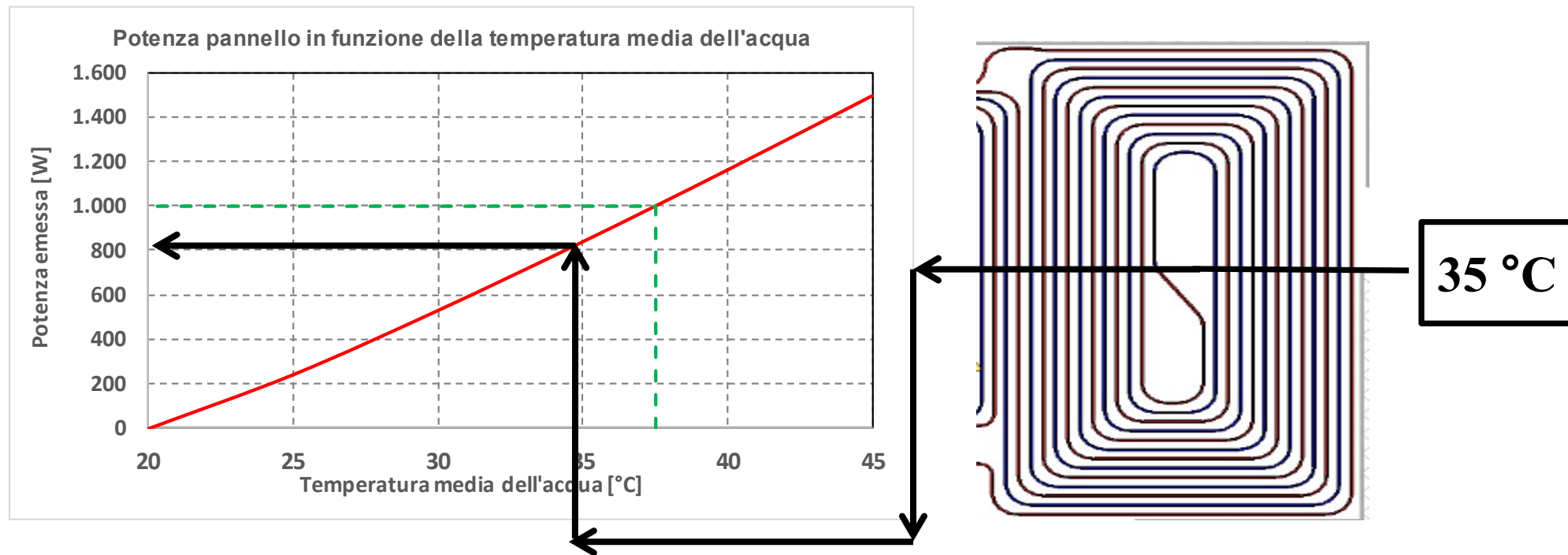
LA POTENZA EMESSA DA UN CORPO SCALDANTE
DIPENDE DALLA SUA **TEMPERATURA MEDIA**

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

$$T_{med} = \Delta T_{ref} \times \left(\frac{P}{P_{nom}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

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

*n è l'esponente
caratteristico del
corpo scaldante
Radiator: $n = 1,3$
Pannelli $n = 1,13...$*

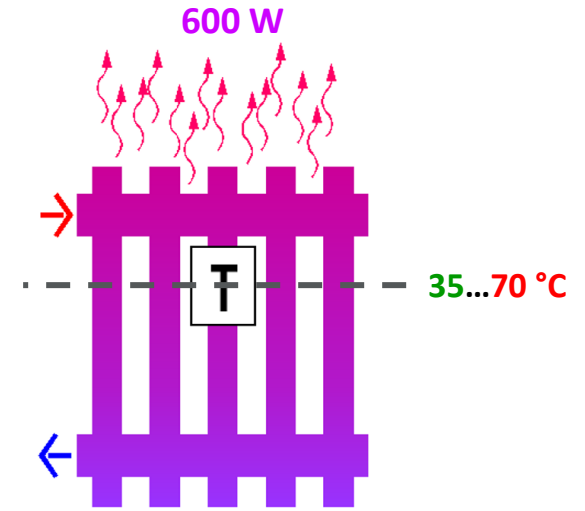


**LA POTENZA EMESSA DA UN CORPO SCALDANTE
DIPENDE DALLA SUA **TEMPERATURA MEDIA****

$$P = \left(\frac{T_{med} - T_{amb}}{\Delta T_{ref}} \right)^n \cdot P_{nom} \quad T_{med} = \Delta T_{ref} \times \left(\frac{P}{P_{nom}} \right)^{\frac{1}{n}}$$

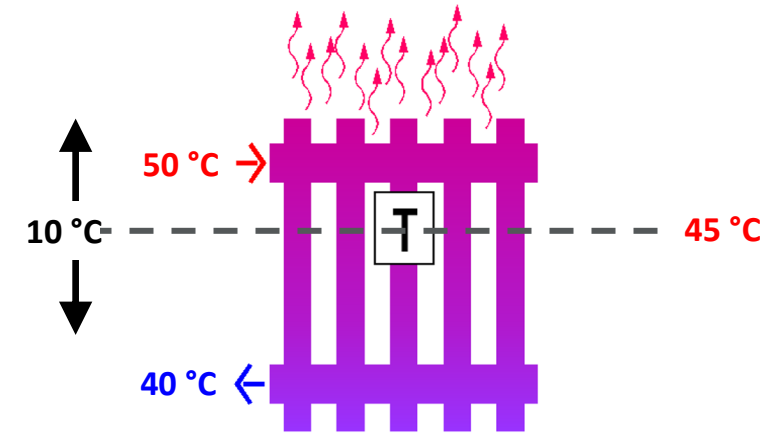
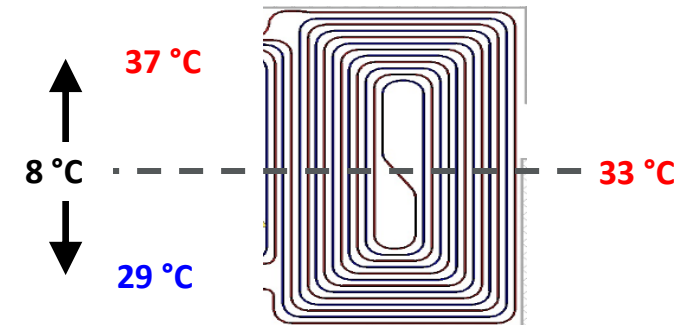
*n è l'esponente
caratteristico del corpo
scaldante
Radiatori: $n = 1,3$
Pannelli $n = 1,13...$*

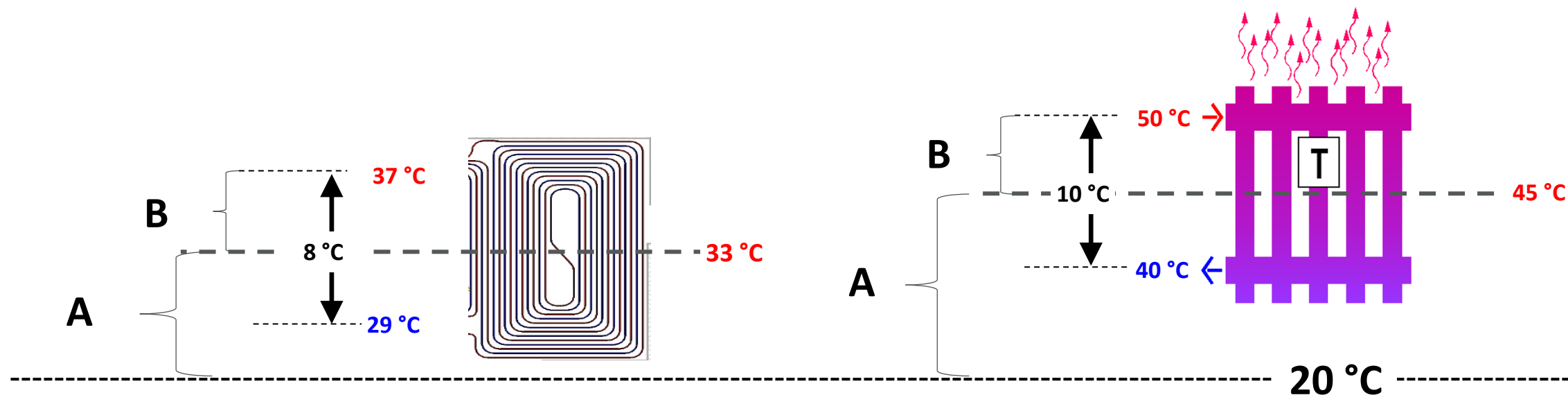
- La **potenza nominale** dei radiatori è data con riferimento a $\Delta T = 50\text{ °C}$ (nuovi, EN 442) o $\Delta T = 60\text{ °C}$ (calcoli con UNI 10200)
→ *temperatura media di riferimento = 70 o 80°C*
 - **Sul nuovo**, edifici coibentati, carico termico basso, si potrebbero usare radiatori con $\Delta T = 15\text{ °C}$ (temperatura media 35°C)
→ ... **ma occorrerebbe moltiplicare le potenze per 4,8**
... *ma ci sono gli apporti gratuiti... vedere seguito*
 - **Sull'esistente** si può diminuire la temperatura media con:
 - **Funzionamento 24/24** anziché 14/24 → da ΔT 60 a ΔT 40 (o 50 → 33)
... *ma chi lo dice in assemblea a chi vuole far funzionare gli impianti meno ore per risparmiare...*
 - **Aumento superficie radiatori** (non sempre possibile)
 - **Coibentazione edificio** (può avere effetti diversi nei vari locali → equilibratura impianto)
- In pratica:** fate una verifica dei consumi annui, ricavate le potenze media e massima con la firma energetica e confrontatele con la potenza dei radiatori installati (rilievo UNI 10200)



Dopo aver definito la **temperatura media**, occorre decidere il **salto termico mandata/ritorno**

- Il salto termico mandata/ritorno determina la portata che deve circolare
- Con la pompa di calore conviene ridurre il salto termico mandata / ritorno
 - ... ma non deve mai essere inferiore a quello sulla pompa di calore stessa, altrimenti si crea miscelazione involontaria... vedi seguito*
- Con radiatori e valvole termostatiche:
 - verificare le preregolazioni
 - abbassare la climatica per ottenere $\Delta T = 8...10\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Con radiatori e ventilconvettori: bilanciare
- Con pannelli: bilanciare per $\Delta T = 6...8\text{ }^{\circ}\text{C}$





Il dimensionamento o la verifica della temperatura di mandata richiede il calcolo delle componenti A e B

- **A** dipende dalla relazione fra potenza da emettere e dimensione nominale del radiatore
- **B** è la metà del salto termico mandata/ritorno

Il dimensionamento dei corpi scaldanti va fatto con il carico termico.

La verifica della temperatura di mandata effettiva va fatta con i calcoli di prestazione energetica

LOCALE		Cucina	Sala A	Sala B	Sala C	Lavand.	Bagno 1	Totale zona
Carico termico	W	1.100	390	1.300	720	607	675	4.792
Temperatura media nominale	°C	70	2416			,		
Temperatura media desiderata	°C	45	2.410					
Esponente corpo scaldante		1,33						
Fattore di correzione		2,51						
Potenza nominale di progetto	W	2765	980	3268	1810	1526	1697	12.047
Potenza singolo elemento	W	150						
Numero elementi		18	7	22	12	10	11	
Larghezza elemento	mm							
Lunghezza radiatore	mm							
Potenza nominale radiatore	W	2304	756	2560	1420	1485	1485	10.010
Temperatura media teorica	°C	48,7	50,4	50,0	50,0	45,5	47,6	48,7
Salto termico di progetto	°C	10						
Temperatura di mandata di progetto	°C	50						
Temperatura di ritorno di progetto	°C	40						
Portata di progetto	l/h	95	34	112	62	52	58	413



Dimensionamento eseguito in base al **carico termico**.

Ci si aspettano temperature di funzionamento inferiori rispetto a quanto calcolato grazie agli apporti gratuiti

**Temperatura di
mandata 80 °C**



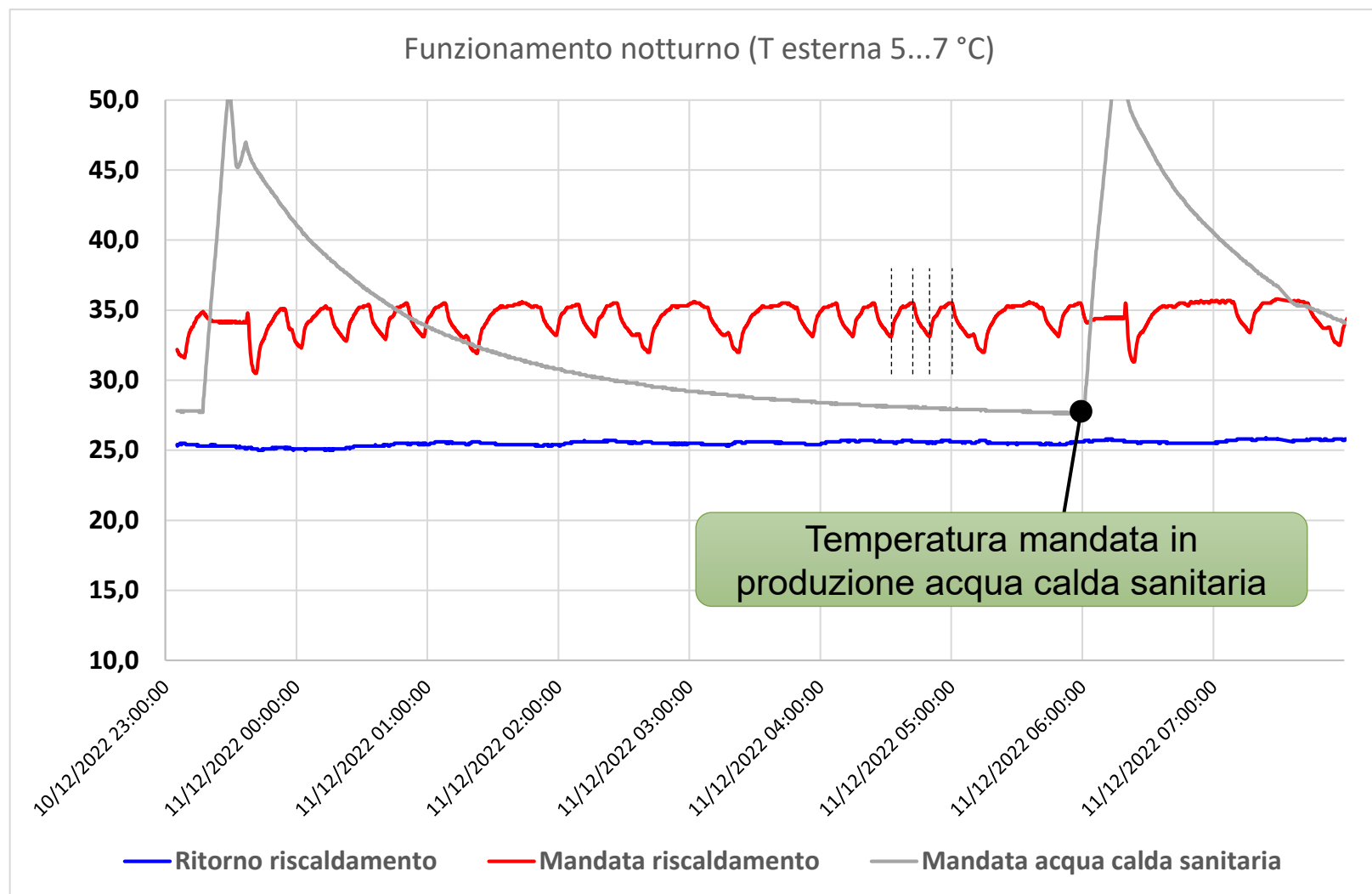
**Temperatura di
mandata 45 °C**



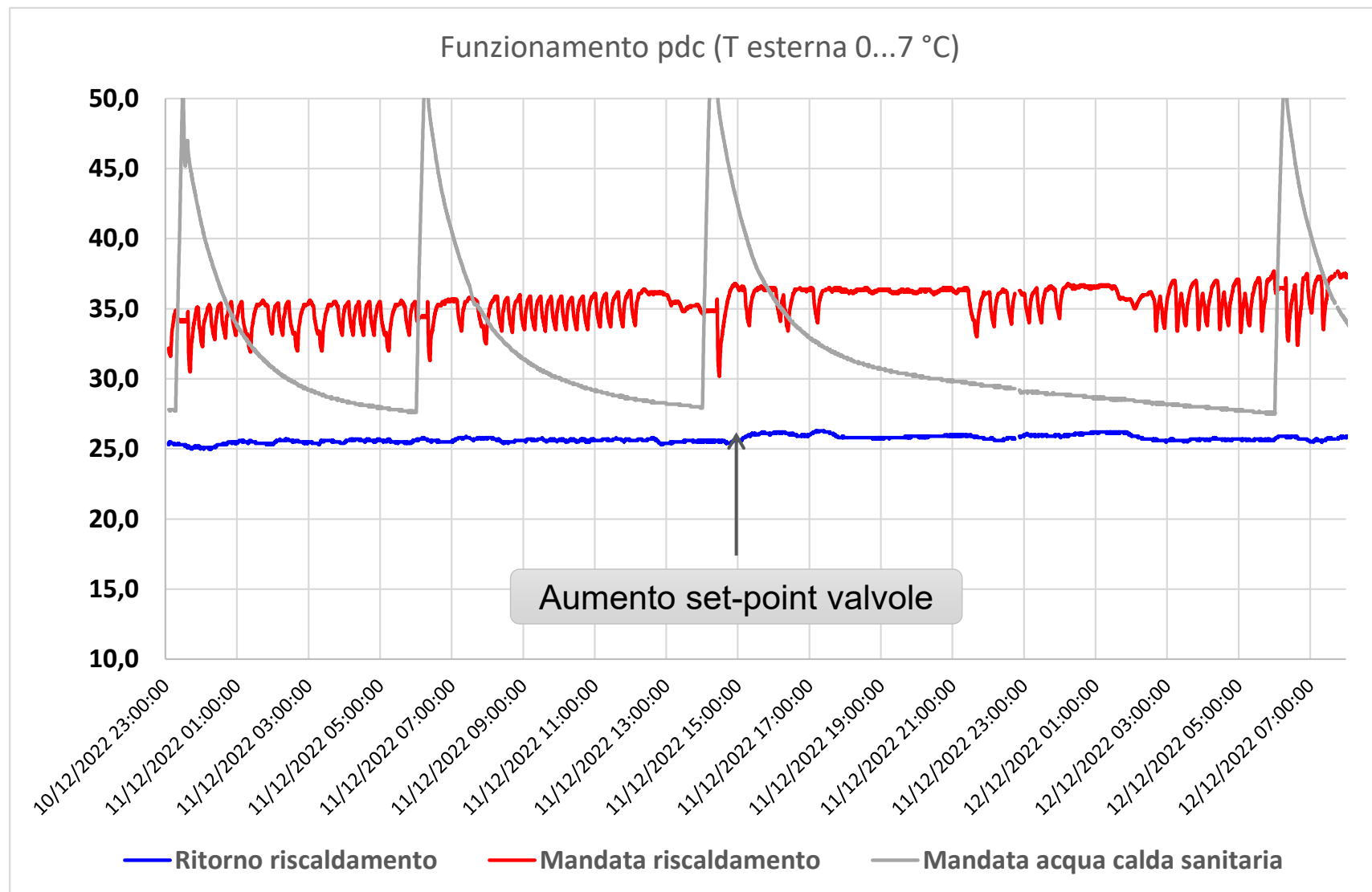
**Spazio sotto
finestra 2,2 m**



**Quello
che ha
voluto il
cliente**



Temperature di funzionamento rilevate
La temperatura esterna era compresa fra 5 e 7 °C.
La pompa di calore funziona ancora ad intermittenza e fa molta intermittenza.
La temperatura esterna è stabile con una curva climatica che punta a 39°C alla temperatura di progetto.
Il salto termico effettivo sui radiatori è di circa 10 °C



Con il calo della temperatura esterna verso i 0 °C finalmente la pompa di calore riesce al lavorare con continuità al minimo, poi iniziano gli sbrinamenti. Si noti la stabilità della temperatura di ritorno, indice della stabilità della regolazione delle valvole termostatiche

- Temperatura di mandata minima dell'acqua per evitare di soffiare «aria fredda»: 45 °C
- Condizione di dimensionamento tipica dei ventilconvettori per l'uso con pompe di calore: 45/40
- Solitamente utilizzati a punto fisso (temperatura di mandata fissa).
Si può solo ritoccare un poco la temperatura di mandata con una curva climatica
- Attenzione al consumo dei ventilatori...
- Soluzione per edifici non coibentabili
- In raffrescamento, dimensionamento 7/12 °C per poter deumidificare



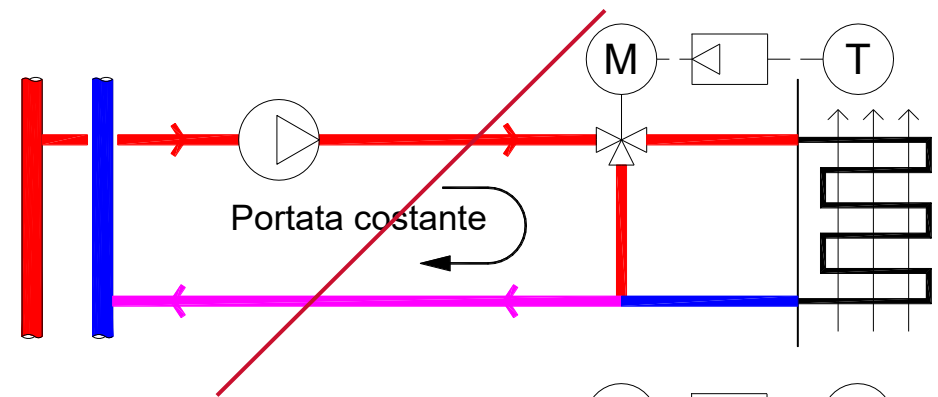
- Uso delle valvole termostatiche sui radiatori con pompe di calore
 - Vanno utilizzate con salto termico massimo di 10°C → **attenzione alla portata ed al rumore come rimediare in caso di problemi → ottimizzare la curva climatica.**
 - Controllare la curva climatica → deve essere ottimizzata in opera per ottenere il DT giusto
 - Non permettono di fare cambi di set-point → non ci sarebbero i due livelli di temperatura
- **Valvole di zona o per ambiente o per corpo scaldante sempre a due vie**
 - Consentono di fare cambi di set-point
 - Occorre utilizzare i detentori per evitare portate inutilmente alte → fare il bilanciamento
- Valvole di zona a tre vie
 - Da evitare perché aumentano inutilmente la portata ai bassi carichi
 - rischio miscelazione involontaria ai bassi carichi

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

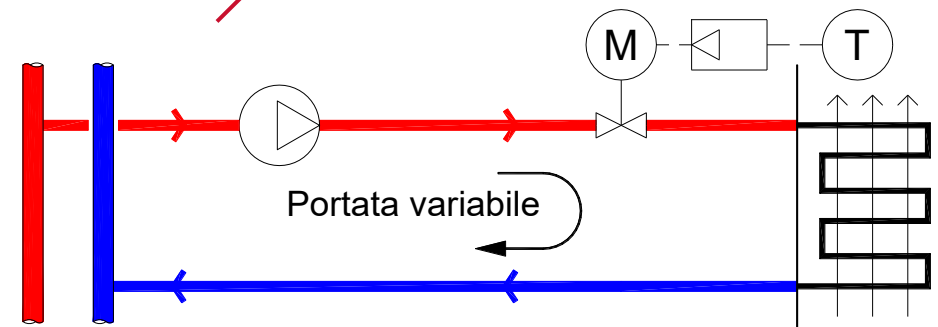
Se il collegamento è diretto occorre invece garantire una portata minima nell'impianto con valvola di sforo

- La terza via scarica sul ritorno:
 - in riscaldamento ne aumenta la temperatura
 - in raffreddamento la riduce
- In raffreddamento, il consumo elettrico diventa un carico da smaltire
- Con valvole a due vie, a carico parziale la portata diminuisce, evitando miscelazione involontaria

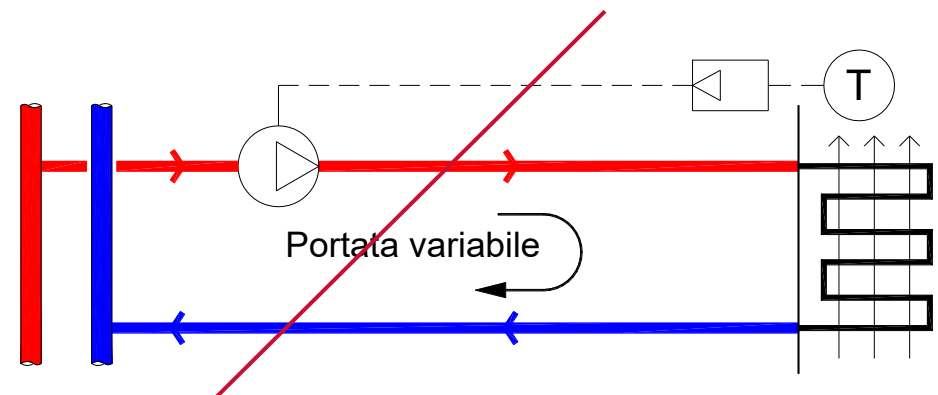
Soluzione classica
Massimi consumi elettrici
Massime dispersioni



Soluzione pratica
Consumi elettrici ridotti
Minime dispersioni



Soluzione teorica,
non utilizzabile in pratica
Consumi elettrici minimi
Minime dispersioni
Numero minimo di componenti
Impossibile il controllo
alle basse potenze



- La pompa di calore ha bisogno di un volume di acqua minimo **DISPONIBILE** dell'impianto
- Due ragioni:
 - Per poter prelevare il calore necessario durante lo **sbrinamento**
 - Per limitare la **frequenza dell'intermittenza (max un avviamento ogni 15 minuti)**

DISPONIBILE: non ci deve essere nessuna intercettazione fra la pompa di calore ed il volume di acqua.

Impianto con valvole di zona o valvole termostatiche: nella mezza stagione, quando serve intermittenza, il volume di acqua nei corpi scaldanti non è accessibile perché segregato dalle valvole di regolazione chiuse.

Il volume a valle di una valvola di regolazione non conta.

- Inserimento del volume di acqua
 - In parallelo, tipicamente il compensatore idraulico è sostituito da un accumulo
 - estremo → accumulo di acqua tecnica anche in funzione sanitario
 - occorre invertire le connessioni in caso di funzionamento in caldo e in freddo
 - In serie → per essere utilizzato in caldo ed in freddo
 - **Equazione di calcolo della durata di funzionamento: accumulare calore per 15 minuti di marcia con ΔT 2...3 °C e minima potenza = 30...45% del massimo**

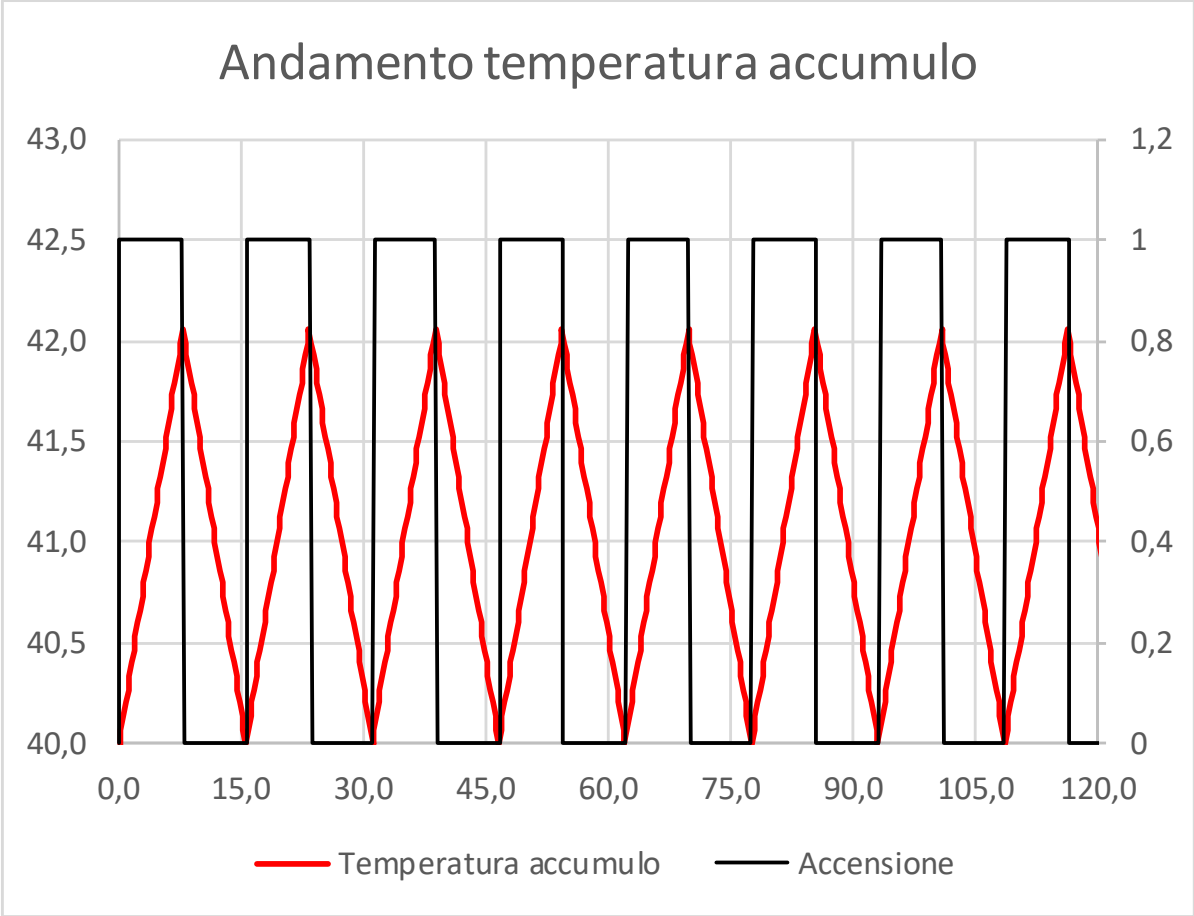
- L'accumulo termico sensibile utilizza il calore specifico dell'acqua, $1,16 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$
- Per dimensionarlo occorre decidere prima di tutto la quantità di calore coinvolta nella durata minima di un ciclo che si vuole accumulare:
 - la pompa di calore non deve avviarsi più di una volta ogni **15 minuti**;
 - alla **potenza minima di funzionamento continuo** la pompa di calore eroga $9 \text{ kW} \times 0,3 = 2,7 \text{ kW}$
→ considerare la potenza massima in condizioni primaverili, potrebbe essere mascherata da limitazione elettronica...
 - **energia coinvolta in un ciclo di 15 minuti**: $0,25 \text{ ore} \times 2,7 \text{ kW} = 0,68 \text{ kWh}$
- Seconda decisione: differenza di temperatura ammissibile (isteresi)
 - **Isteresi scelta 2°C**
 - Volume idealmente richiesto: $0,68 \text{ kWh} / (1,16 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \times 2 \text{ K} \times 2 \times 2) = 0,116 \text{ m}^3 = \mathbf{73 \text{ litri}}$
- Approssimazioni (entrambe a favore)
 - scatto termostato fondato su temperatura media ideale
 - non si riesce a sfruttare completamente l'accumulo (posizione raccordi)

Isteresi

1 ciclo = salita + discesa

Massima differenza = $\frac{1}{2}$ potenza

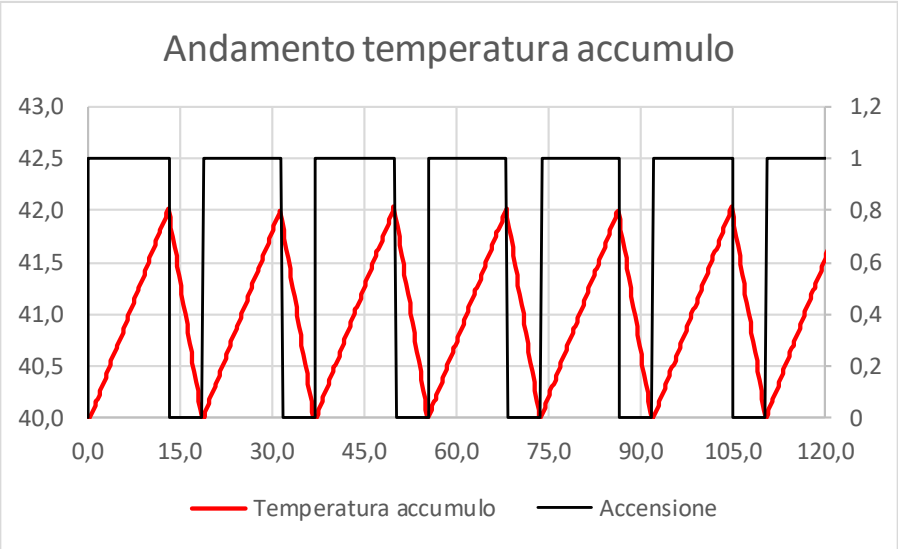
Volume	l	73
Ton	°C	40
Toff	°C	42
Potenza HP	kW	2,7
Potenza carico	%	50
	kW	1,35
T iniziale accumulo	°C	40
Step	min	0,25
Energia acc. ini	kWh	3,3872
Energia acc. fin	kWh	3,5566
Differenza	kWh	0,1694



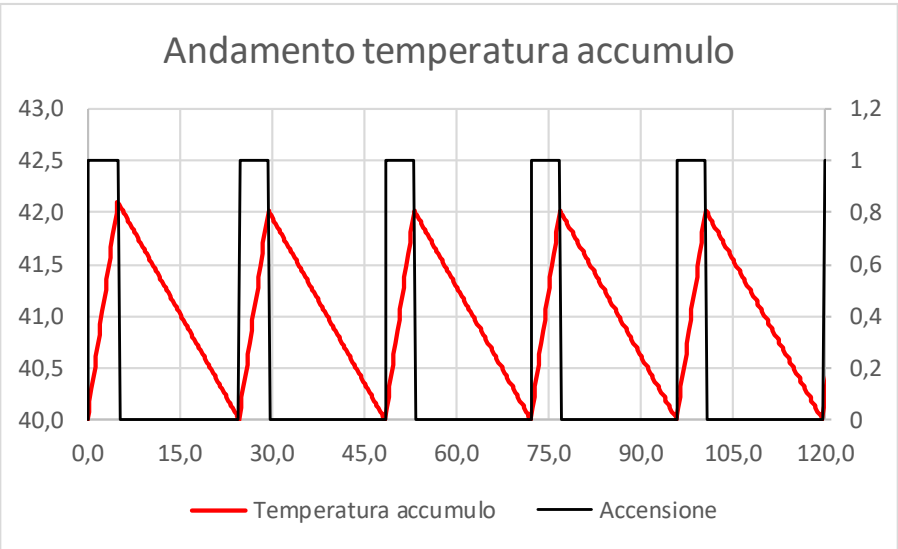
**Ciclo di durata minima:
50% del minimo**

*Con una potenza minima di 2,7 kW
l'intermittenza più frequente è a 1,35 kW*

Volume	I	73
Ton	°C	40
Toff	°C	42
Potenza HP	kW	2,7
Potenza carico	%	70
	kW	1,89
T iniziale accumulo	°C	40
Step	min	0,25
Energia acc. ini	kWh	3,3872
Energia acc. fin	kWh	3,5566
Differenza	kWh	0,1694



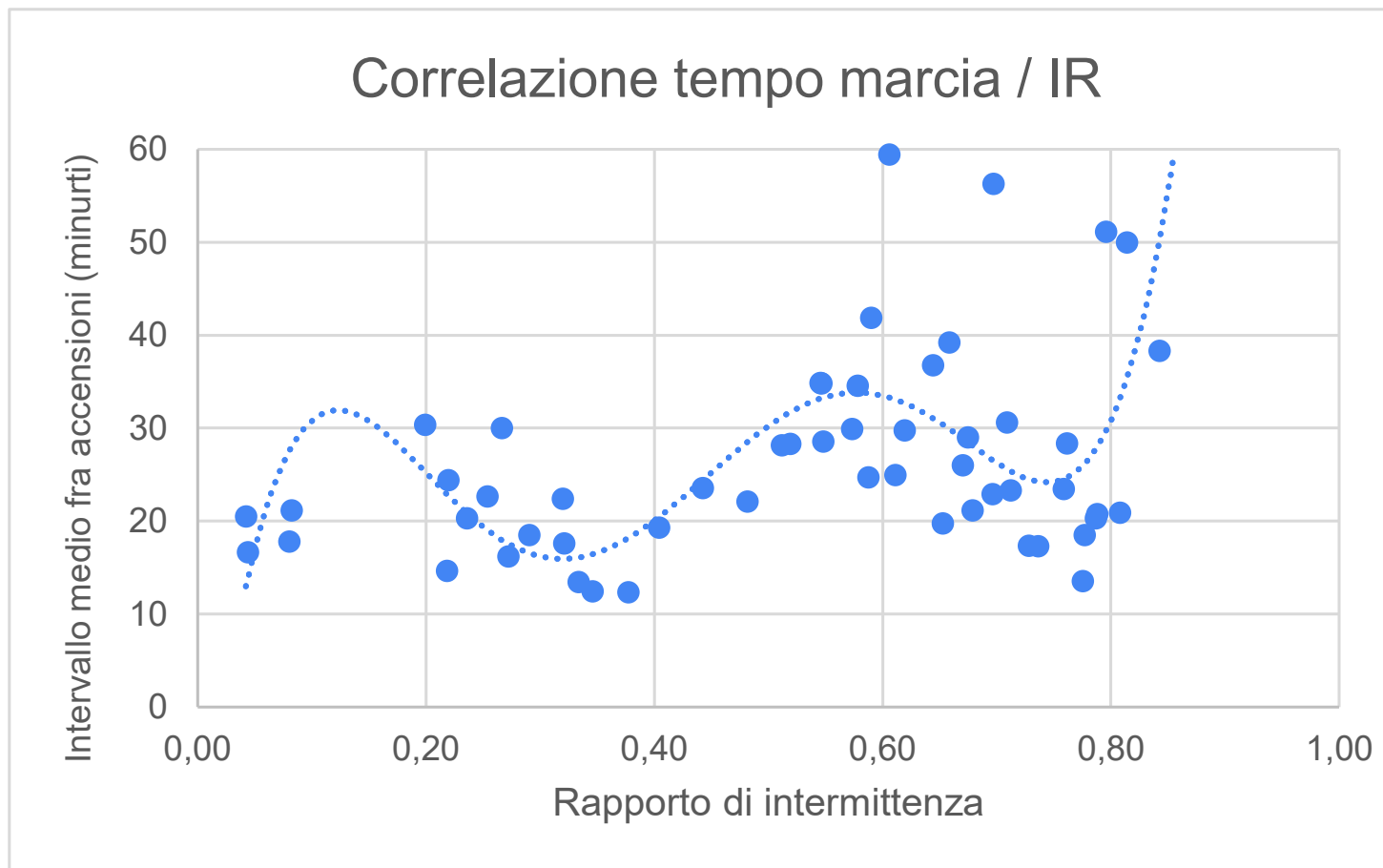
Volume	I	73
Ton	°C	40
Toff	°C	42
Potenza HP	kW	2,7
Potenza carico	%	20
	kW	0,54
T iniziale accumulo	°C	40
Step	min	0,25
Energia acc. ini	kWh	3,3872
Energia acc. fin	kWh	3,5566
Differenza	kWh	0,1694



Sia aumentando che diminuendo la potenza relativa del carico rispetto al 50% del minimo, la durata del ciclo aumenta

Letture			Calcoli					
Informazioni cronologiche	Ore riscaldamento	Numero avviamenti	Durata periodo	Ore on risc.	Awi	Intervallo fra awii	Durata acceso	IR
	h	n	Ore	Ore	n	Minuti	Minuti	p.u.
			T	H _{ON}	n _{ON}	T _{ciclo}	T _{ON}	H _{ON} /T
12/12/22 08:10	548	5198						
13/12/22 07:20	566	5273	23,17	18	75	19	14,4	0,78
14/12/22 08:45	586	5348	25,42	20	75	20	16,0	0,79
15/12/22 08:10	606	5368	23,42	20	20	70	60,0	0,85
16/12/22 07:30	625	5396	23,33	19	28	50	40,7	0,81
17/12/22 07:20	638	5437	23,83	13	41	35	19,0	0,55
18/12/22 07:45	652	5486	24,42	14	49	30	17,1	0,57
19/12/22 08:10	669	5550	24,42	17	64	23	15,9	0,70
20/12/22 09:13	688	5614	25,05	19	64	23	17,8	0,76
23/12/22 21:13	731	5793	84,00	43	179	28	14,4	0,51
24/12/22 08:10	737	5816	10,95	6	23	29	15,7	0,55
26/12/22 22:37	754	6047	62,45	17	231	16	4,4	0,27
27/12/22 08:50	756	6052	10,22	2	5	123	24,0	0,20
28/12/22 07:40	767	6114	22,83	11	62	22	10,6	0,48
09/01/23 08:01	843	6965	23,61	1	69	21	0,9	0,04
13/01/23 08:14	864	7359	96,22	21	394	15	3,2	0,22
15/01/23 08:11	880	7573	47,95	16	214	13	4,5	0,33
18/01/23 08:30	905	7922	72,31	25	349	12	4,3	0,35
19/01/23 08:21	914	8038	23,85	9	116	12	4,7	0,38
20/01/23 07:59	932	8088	23,64	18	50	28	21,6	0,76
21/01/23 08:44	952	8159	24,76	20	71	21	16,9	0,81

- Pompa di calore 8 kW @A7W35
- Letture giornaliere
- Accumulo 100 litri (12,5 l/kW nominali)
- Potenza minima $\cong 3$ kW
- Volume impianto
 - 100 litri accumulo
 - 250 litri radiatori e tubazioni
- Nella colonna IR (fattore di intermittenza) ci sono valori molto bassi che confermano che il carico è andato molto in basso.
- Nella colonna degli intervalli medi fra accensioni il minimo è di 13 minuti



*Sembra effettivamente apparire un minimo verso 0,35...0,40
Poi però si notano diminuzioni anche verso i valori estremi.*

Possibile interpretazione:

L'intermittenza potrebbe essere comandata anche da portate e volumi. Quando il gradino di temperatura in accensione e spegnimento è tale da superare l'isteresi, c'è un ciclo per ogni svuotamento del volume di accumulo.

100 litri / 7,5 l/min = 13 min

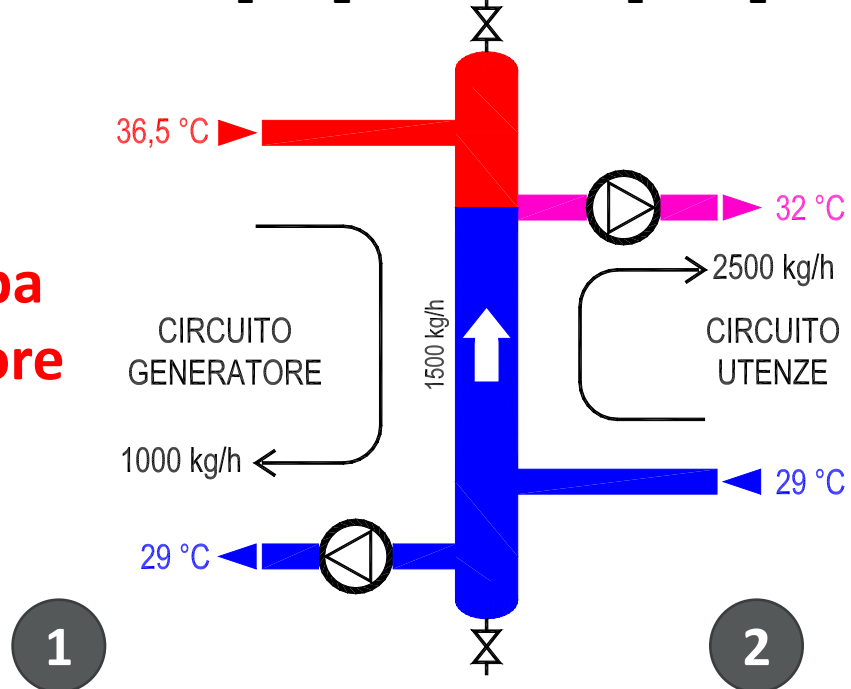
100 litri / 24 l/min = 4 min

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

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

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

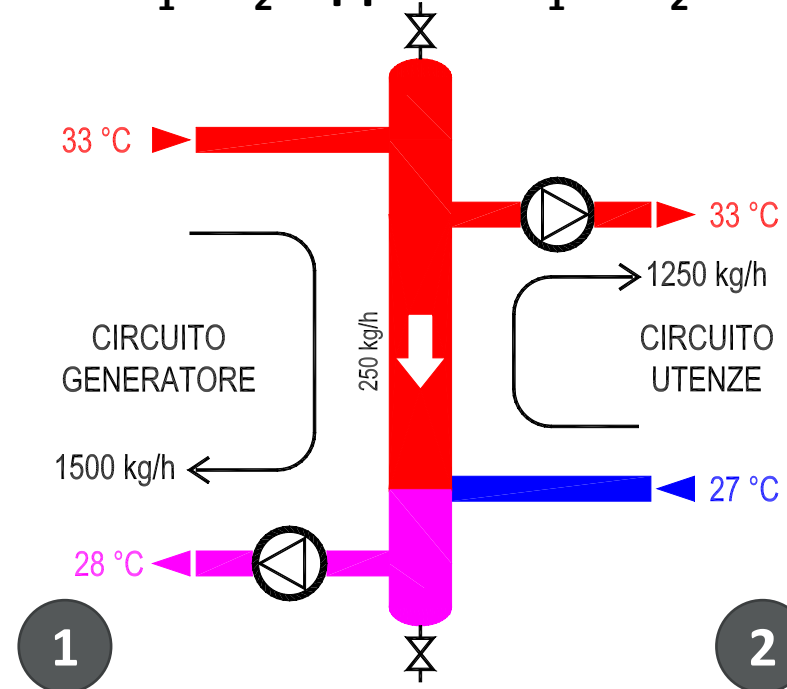
**Pompa
di calore
KO**



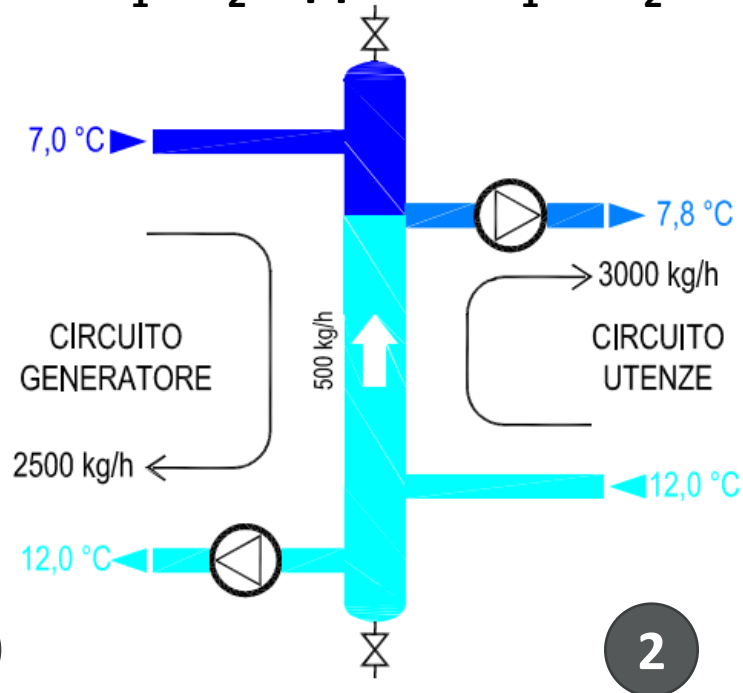
**Quando la portata nelle utenze
è maggiore della portata nel generatore
le temperature di ritorno coincidono
MISCELAZIONE INVOLONTARIA
Diminuzione COP o
mancato riscaldamento**

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

**Pompa
di calore
OK**

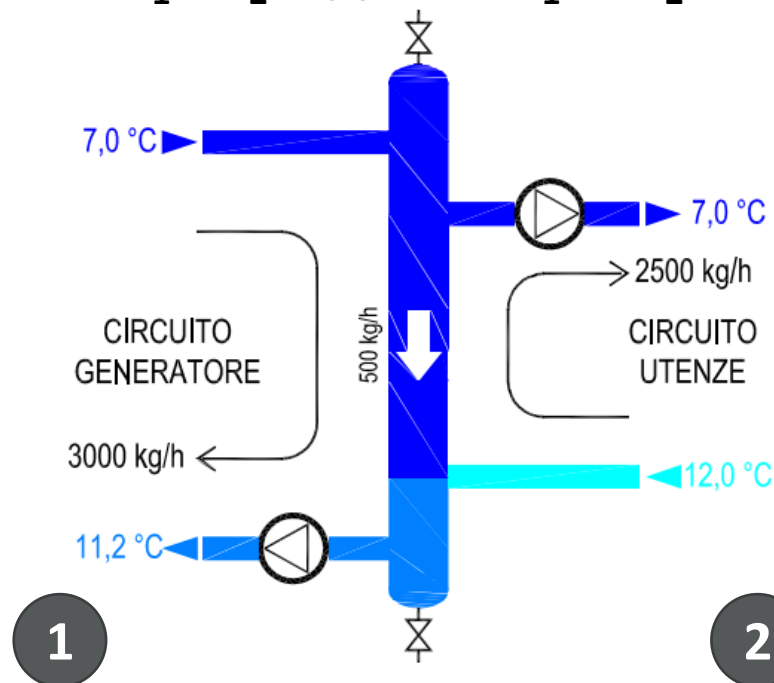


**Quando la portata nel generatore
è maggiore della portata nelle utenze
le temperature di mandata coincidono
La temperatura di mandata è strettamente
quella necessaria per l'impianto**



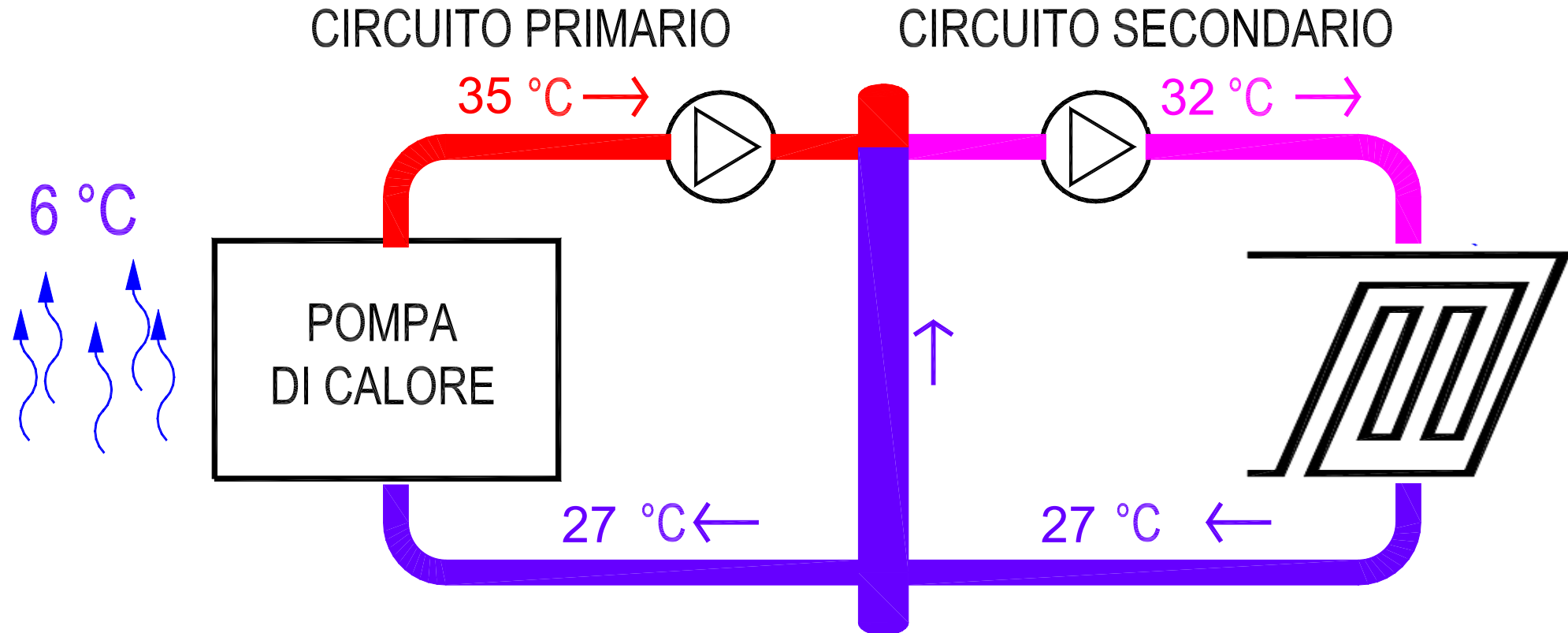
Chiller KO

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



**Chiller
OK**

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



La situazione da evitare ...

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

... ma ...

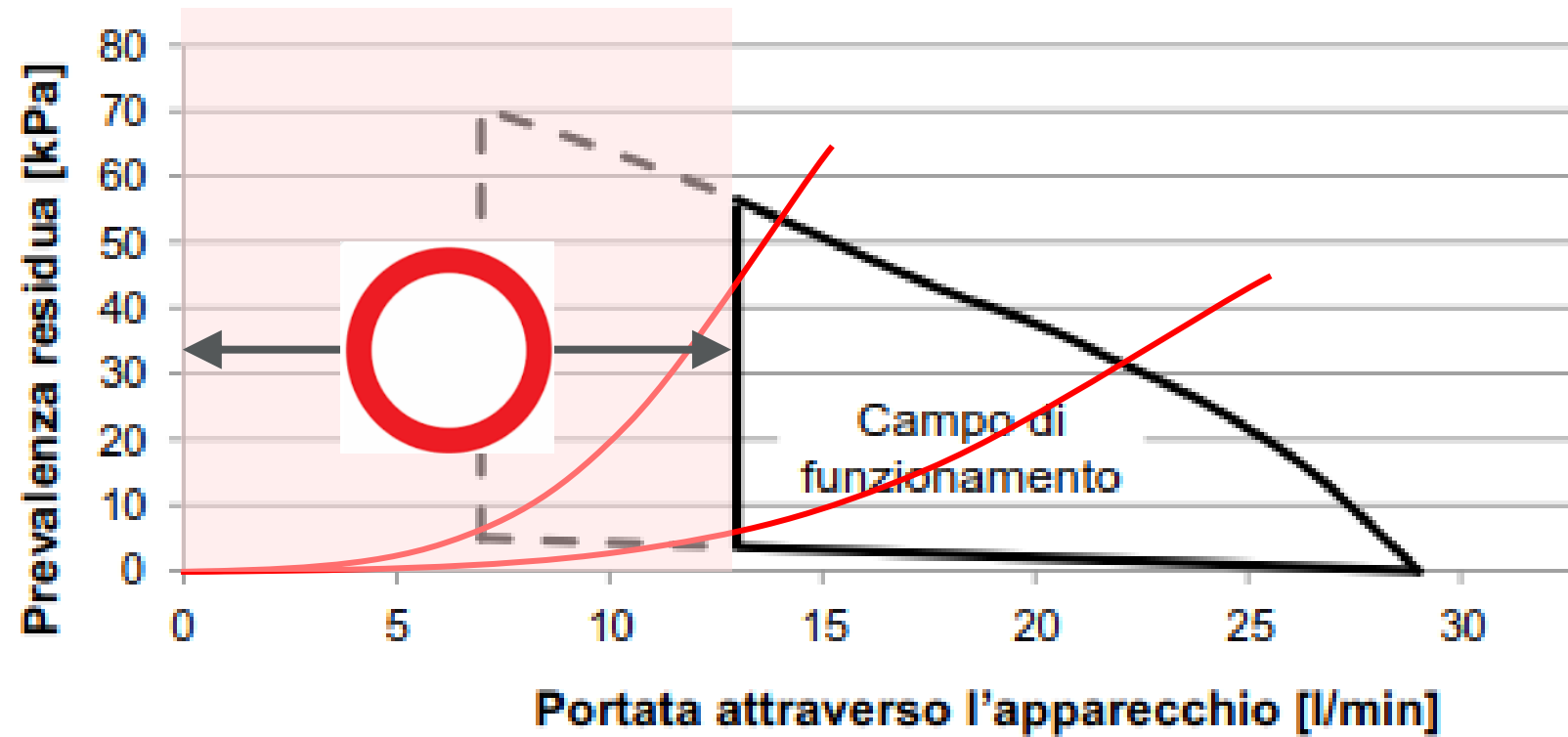
- Se la portata nell'impianto supera quella nel generatore, miscelazione involontaria e perdita di efficienza
- L'aumento delle portate comporta un aumento dei consumi di pompaggio

... quindi ...

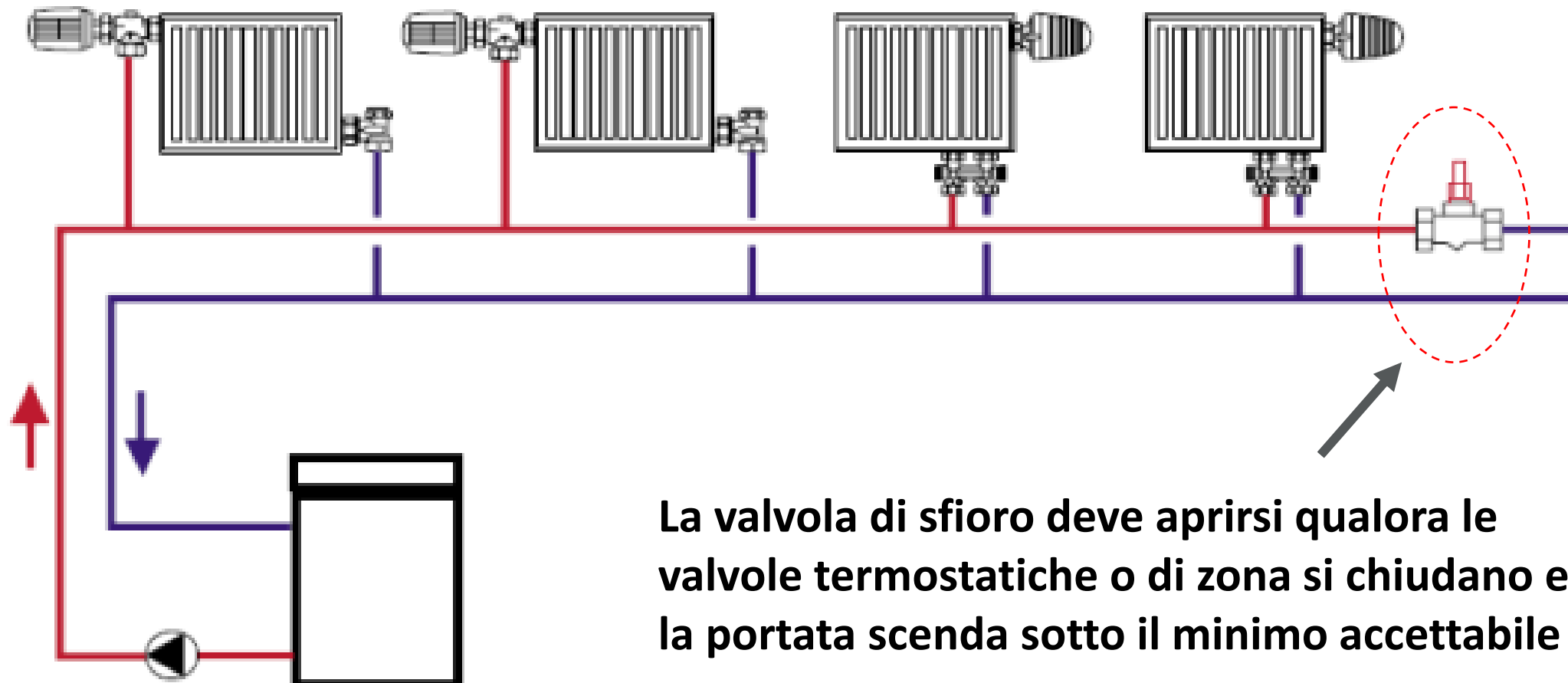
- Dimensionare con ΔT bassi ma ragionevoli, limitare le perdite di carico
- Equilibrare bene le portate massime dell'impianto
- Usare circuiti a 2 vie per ottenere un funzionamento a portata variabile

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

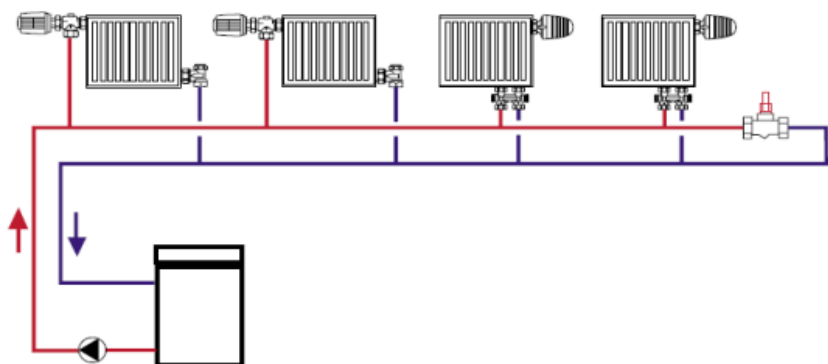
Se il collegamento è diretto occorre invece garantire una portata minima nell'impianto



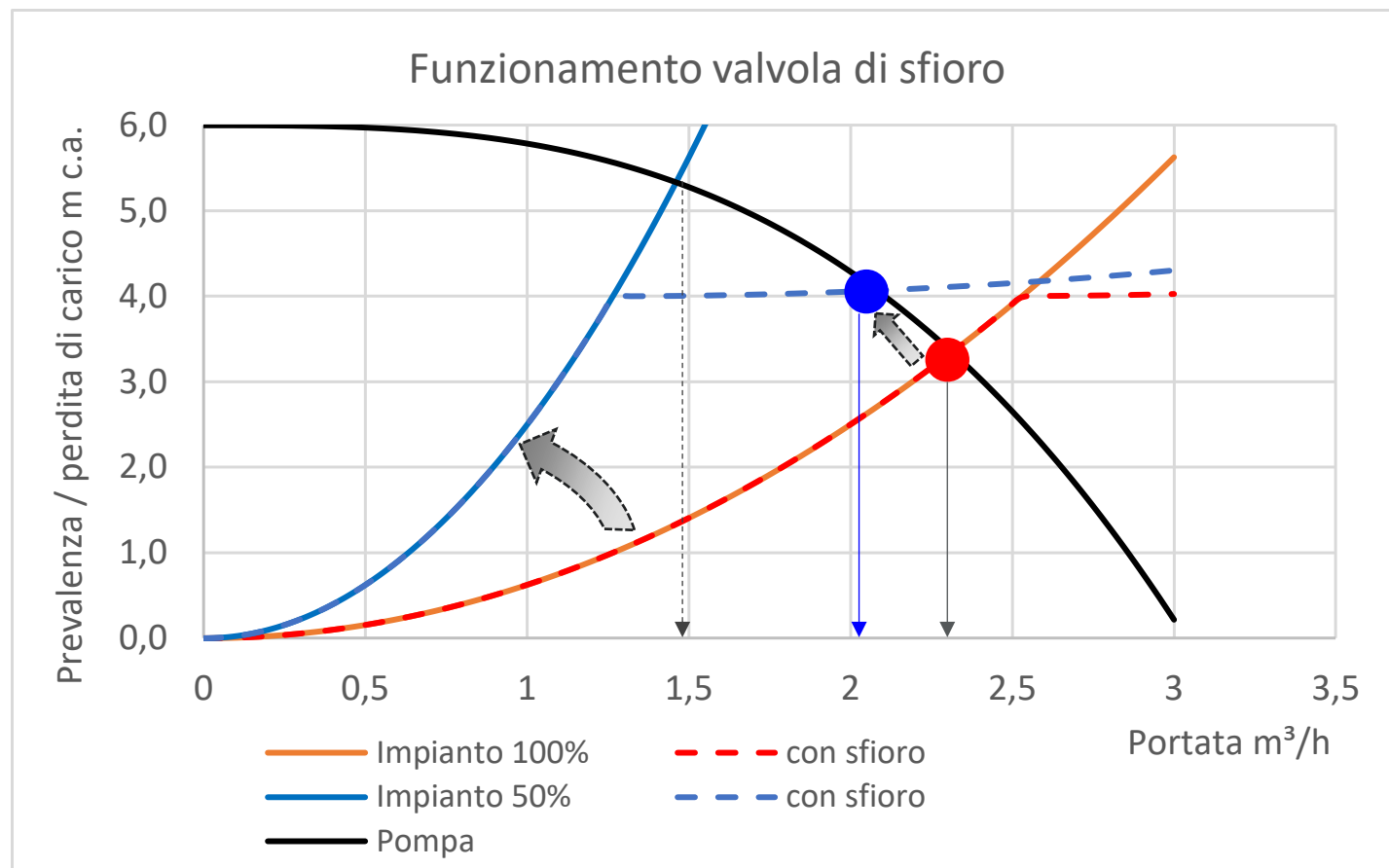
La verifica del punto di lavoro va fatta per tutte le possibili condizioni di funzionamento se la pompa alimenta direttamente l'impianto.
Preferibile spesso una disconnessione idraulica



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

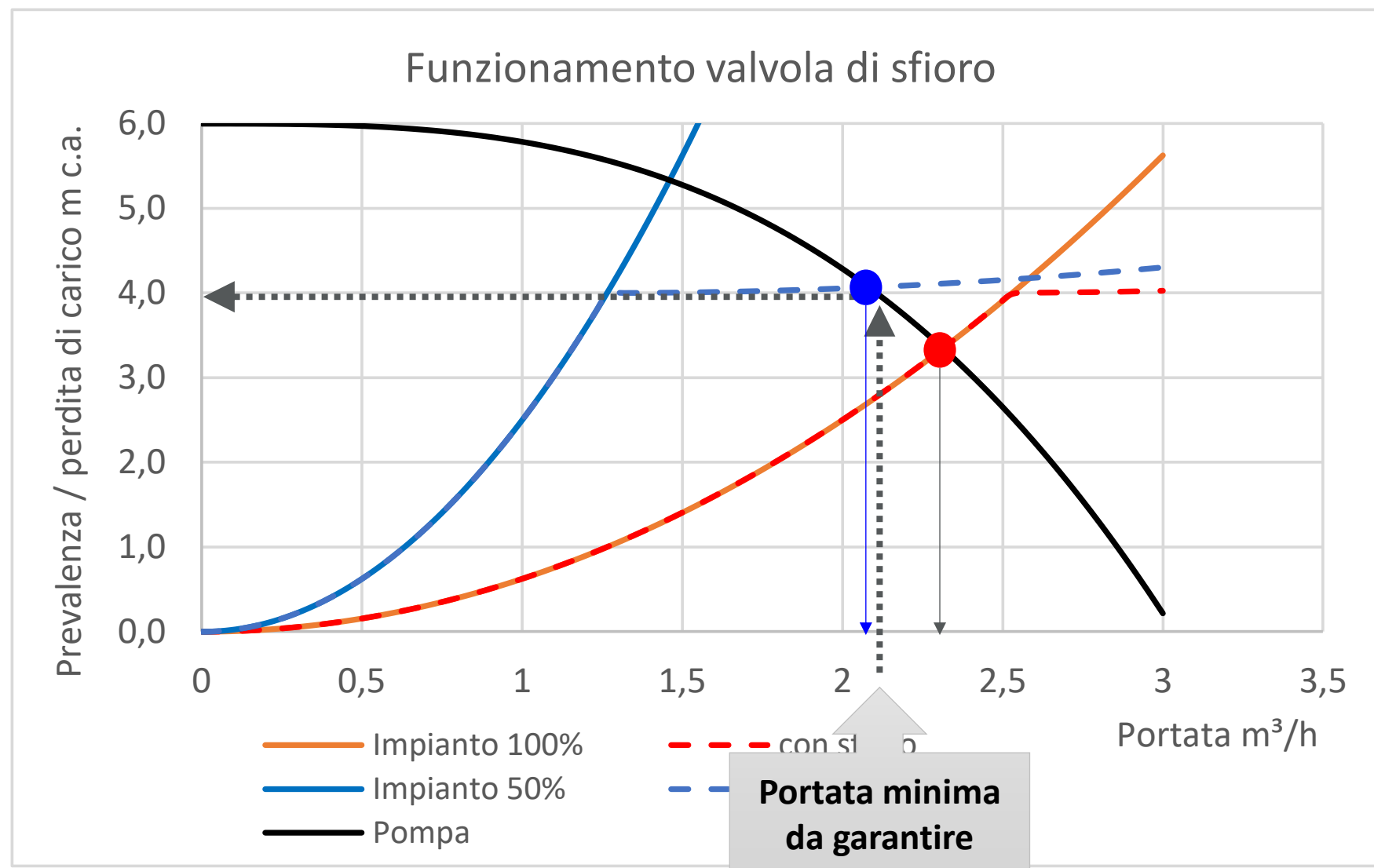


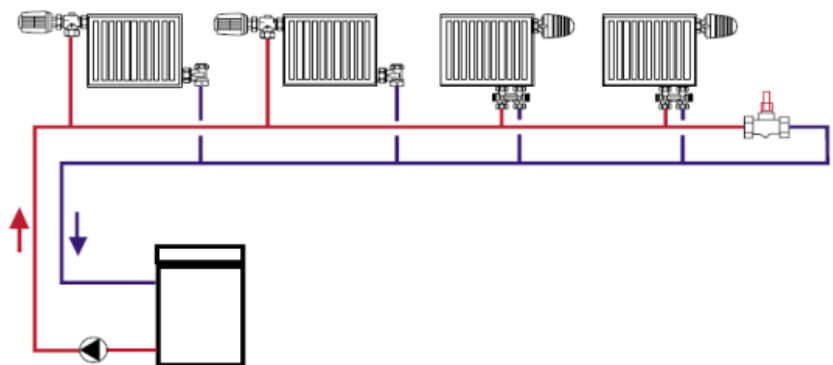
La valvola di sfioro funziona con una pompa a giri fissi...



**Determinazione
della pressione di
apertura**

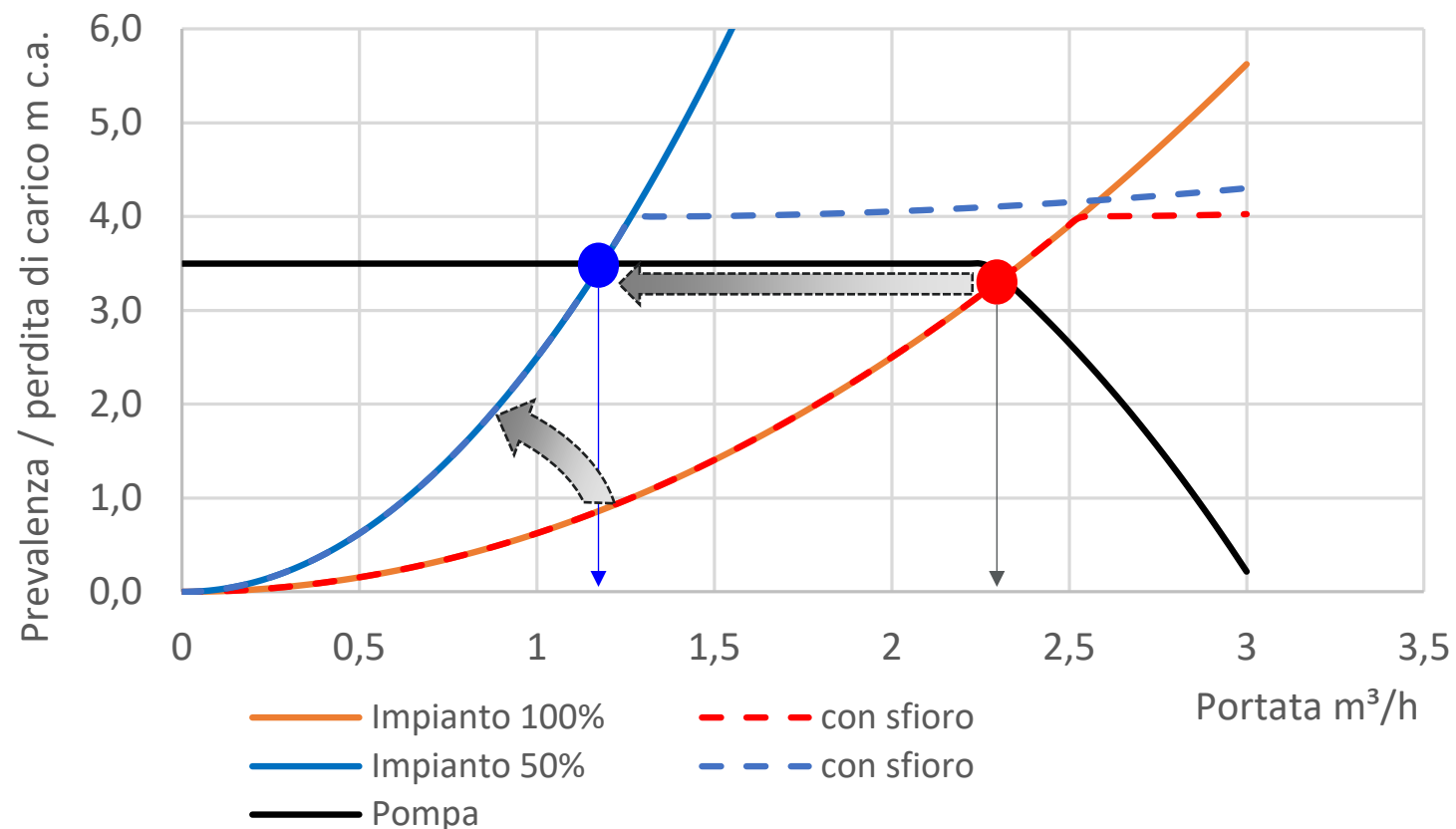
*La valvola di sfioro
funziona con una
pompa a giri fissi...*

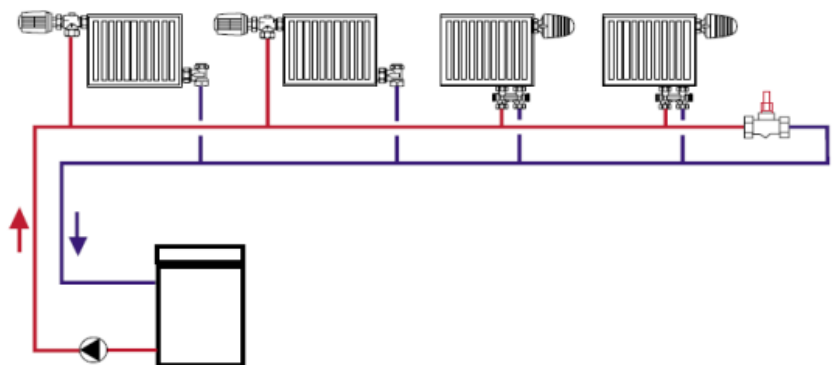




La valvola di sfioro **non funziona** con una pompa a pressione costante tarata più bassa della pressione di apertura della valvola

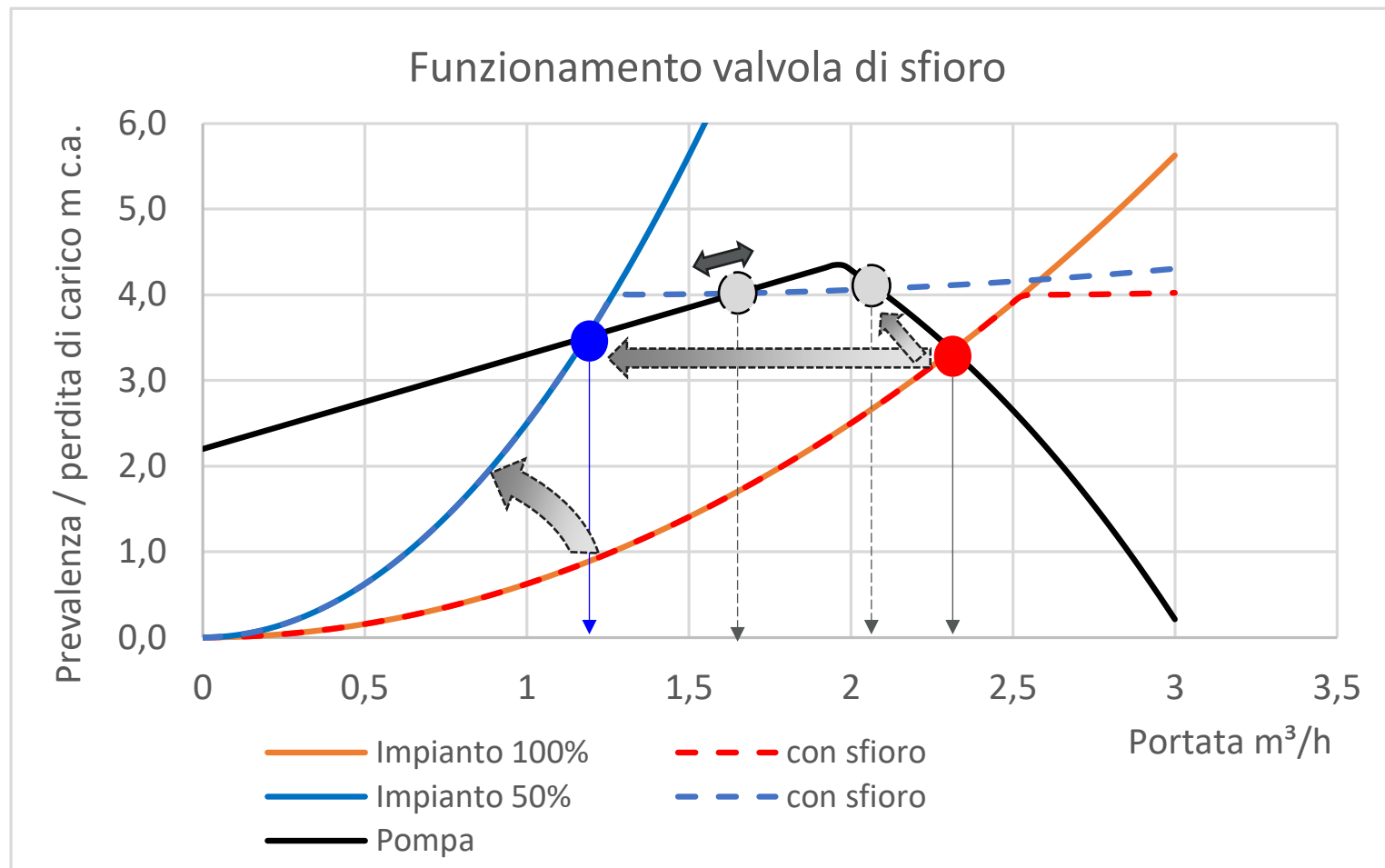
Funzionamento valvola di sfioro





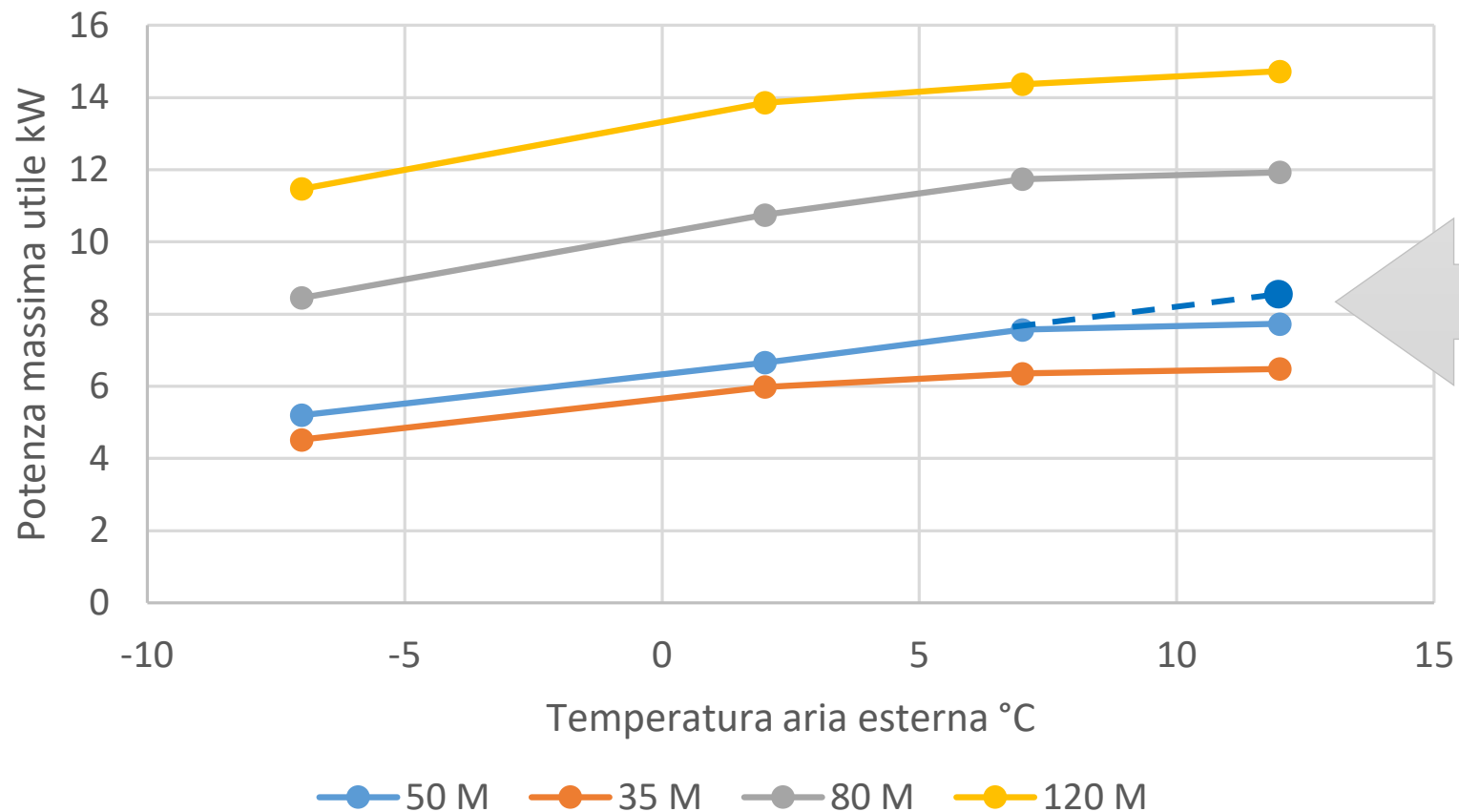
Con una pompa a pressione proporzionale, i punti di funzionamento stabili possono essere due, con un terzo instabile.

Uno è a portata ridotta con valvola chiusa.



Con valvola di sfioro la pompa deve sempre essere a giri fissi

Potenza massima utile con mandata 35°C

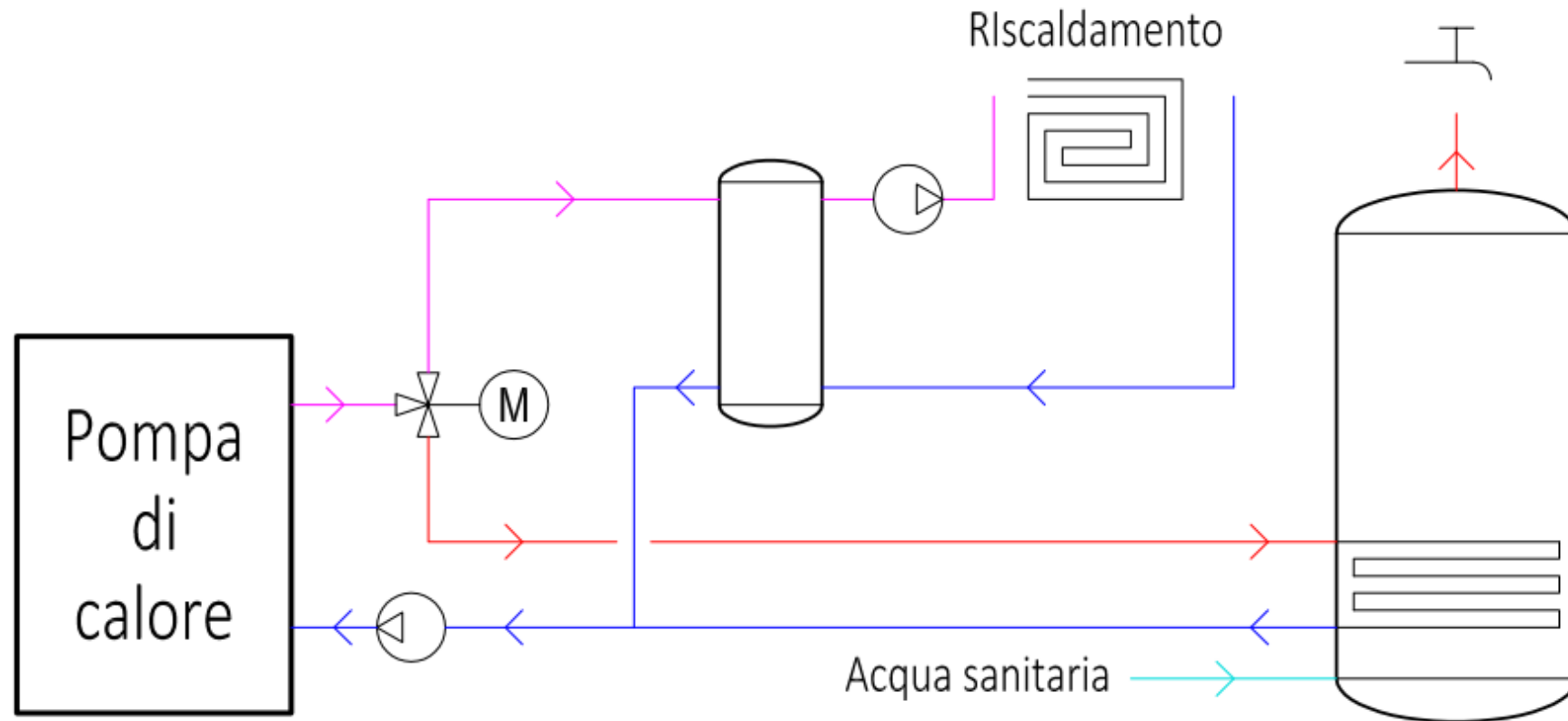


La potenza massima è spesso tagliata elettronicamente in questa zona.

... ma il minimo di solito continua ad aumentare

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

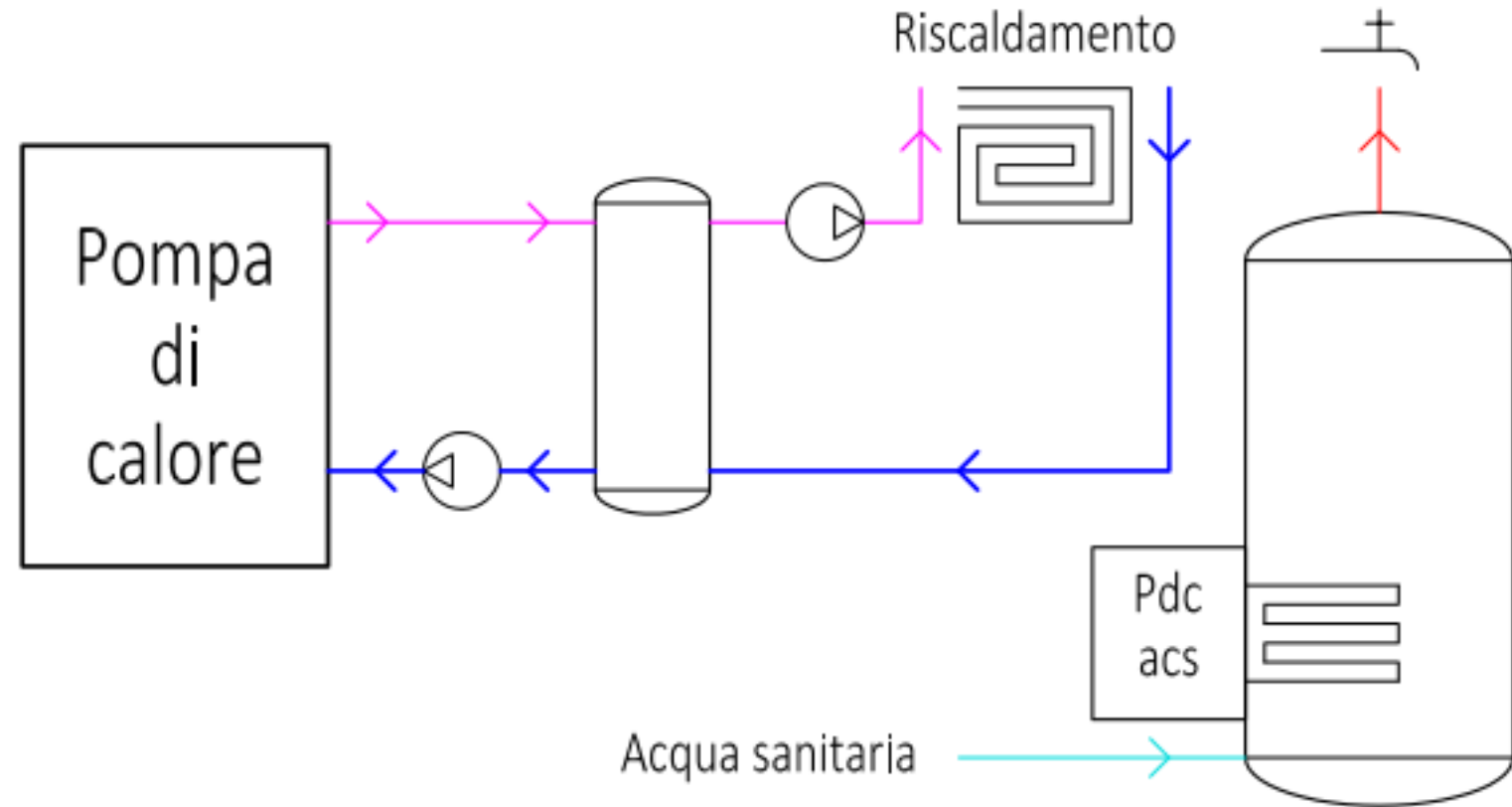
ATTENZIONE
alla portata minima nella pompa di calore
Questo circuito garantisce anche il volume di acqua necessario

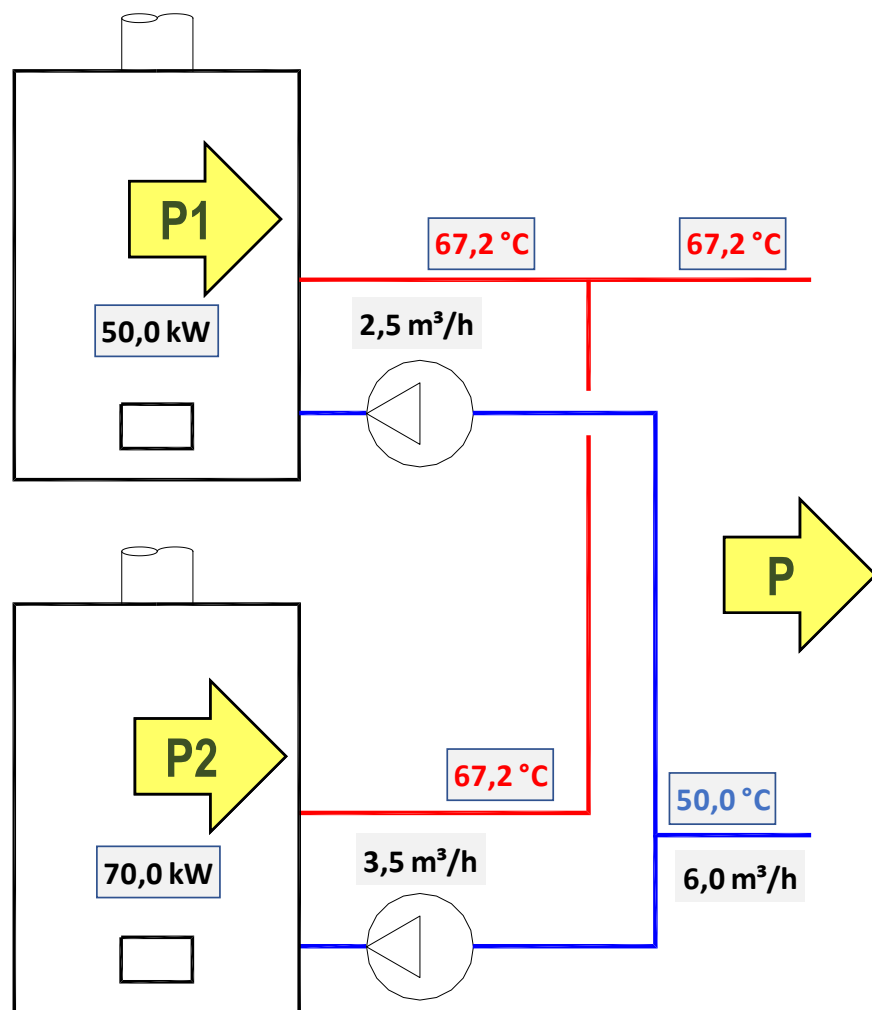


Alternativa:
pompe di calore
dedicate per i due servizi

Non ci sono interruzioni
del servizio
riscaldamento e/o
raffrescamento

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





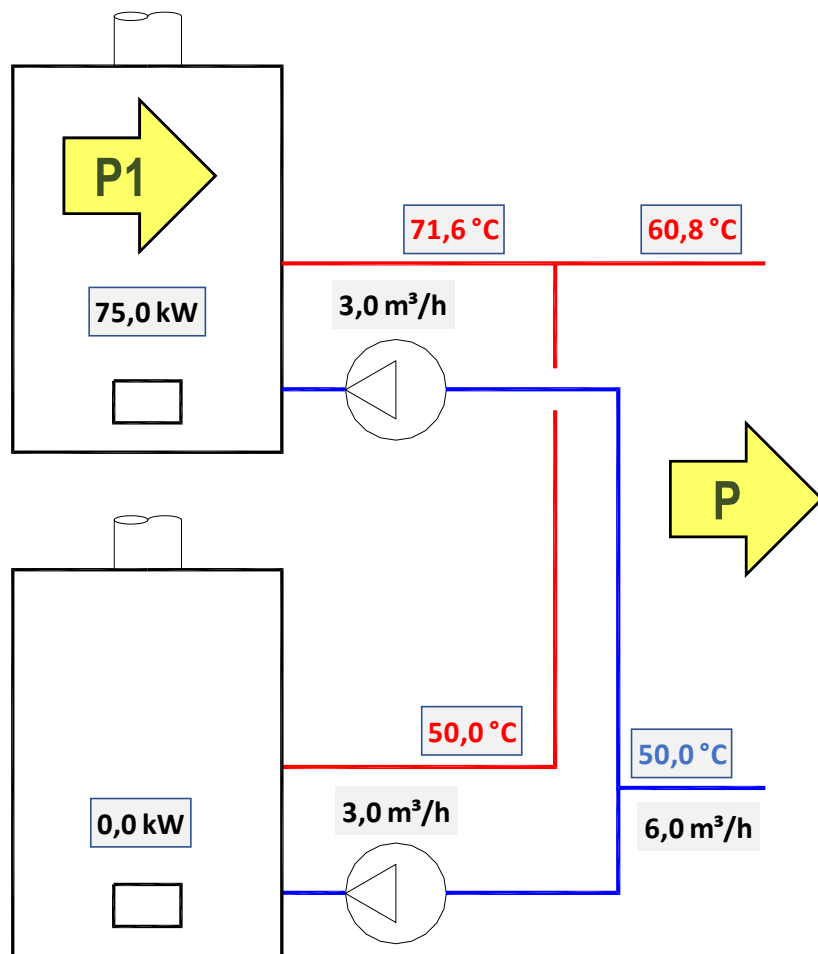
Parallelo con portata totale vincolata
Il collegamento in parallelo provoca la miscela delle due mandate

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

La legge

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

Non ammette eccezioni



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

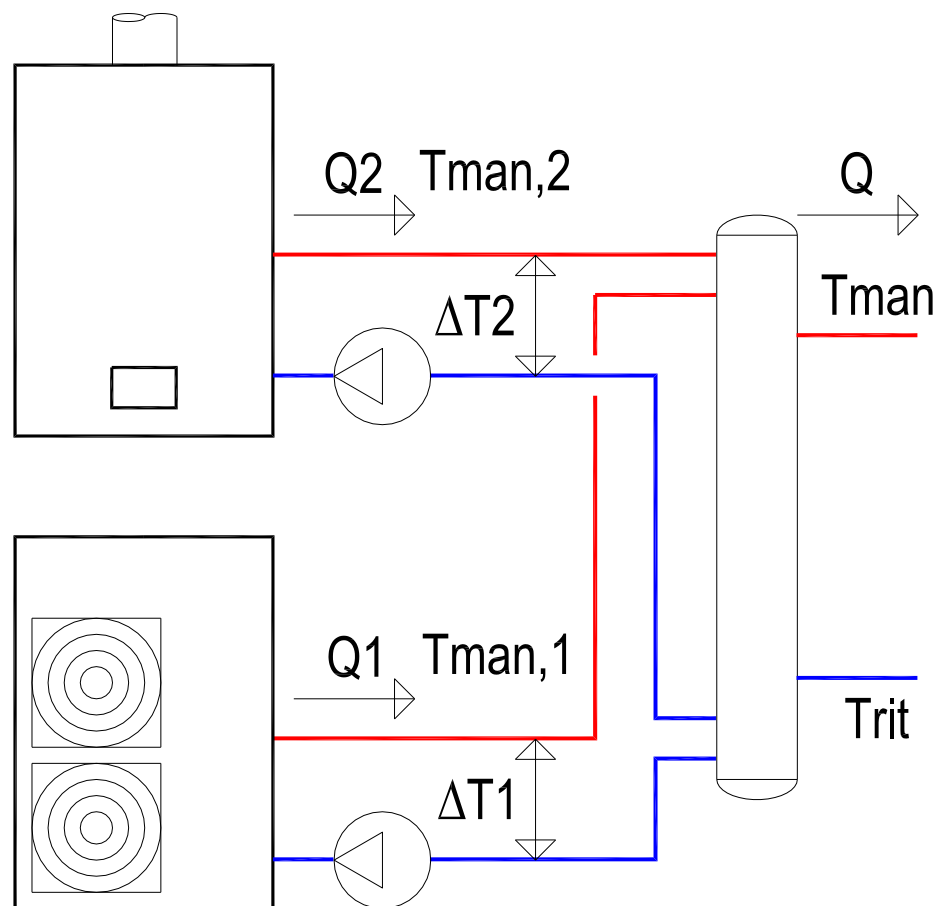
La legge

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

Non ammette eccezioni

Applicazione tipica:

Generatori uguali in parallelo ciascuno con pompa regolata a ΔT costante



Con compensatore idraulico

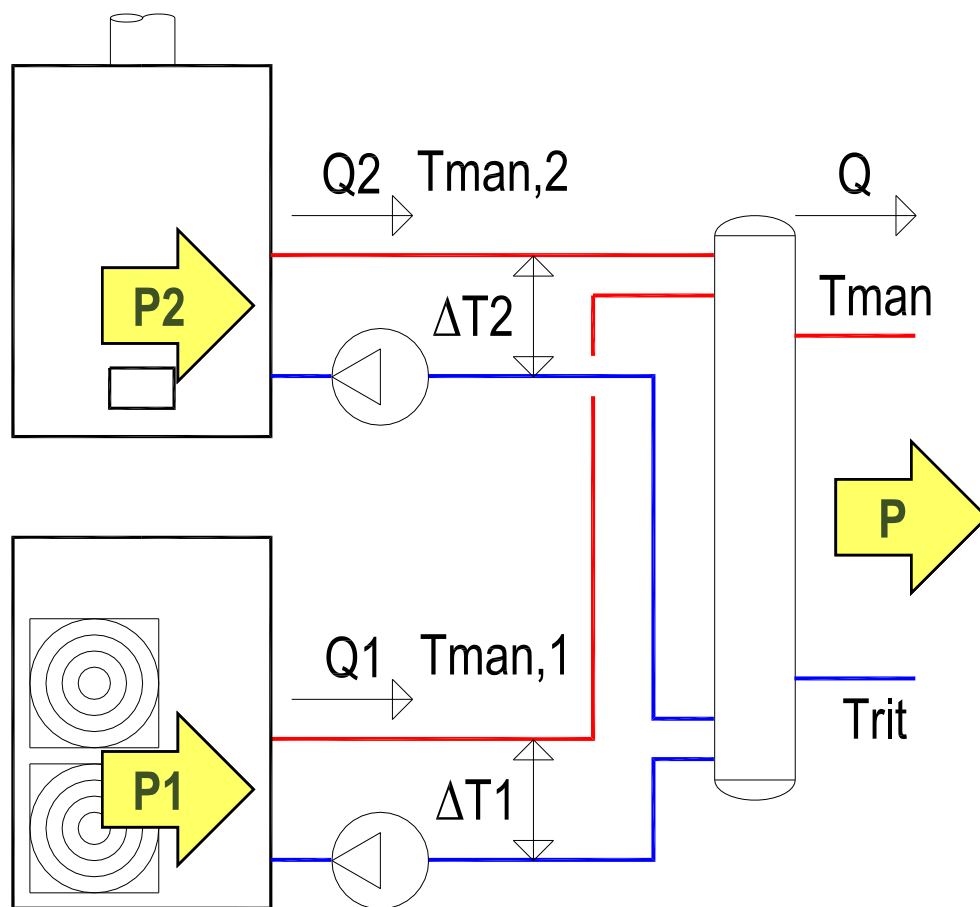
Il collegamento in parallelo provoca la miscela delle due mandate

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

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

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

Attenzione alla posizione degli attacchi...

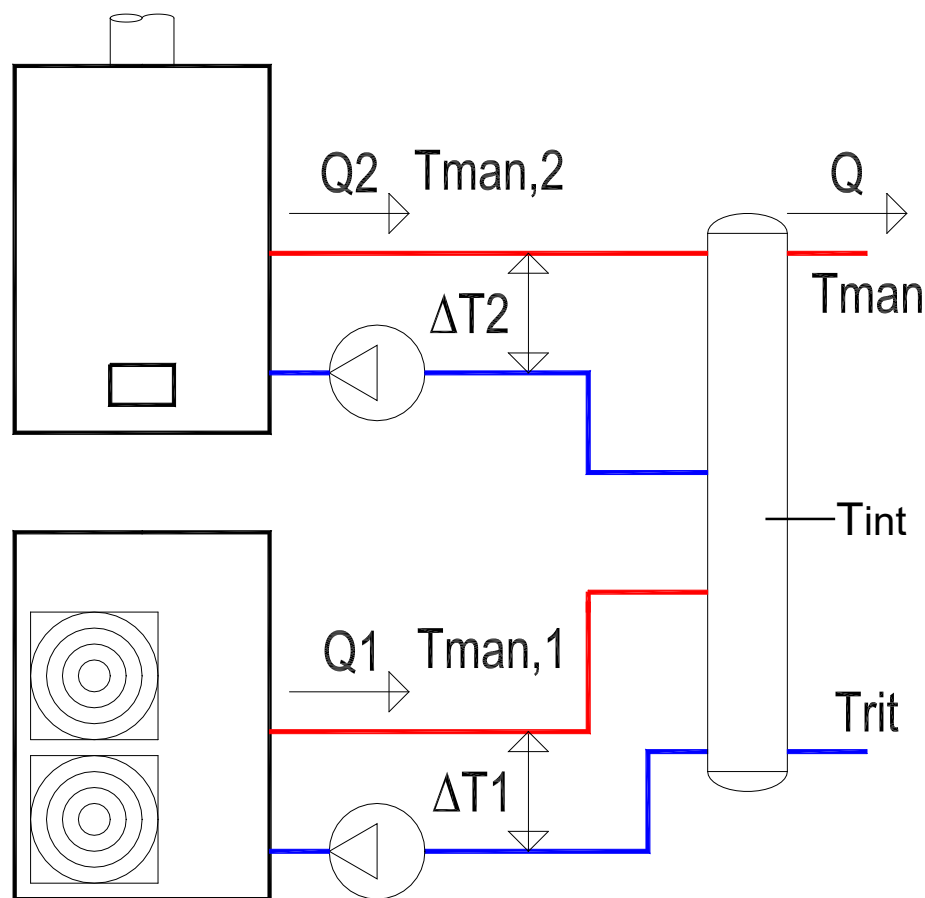


$$T_{man} = T_{rit} + \frac{P1 + P2}{Q \cdot c_p}$$

$$\Delta T2 = \frac{P2}{Q2 \cdot c_p}$$

$$\Delta T1 = \frac{P1}{Q1 \cdot c_p}$$

Con questa configurazione il sistema si comporta come un compensatore con portata del primario uguale alla somma delle portate dei due generatori

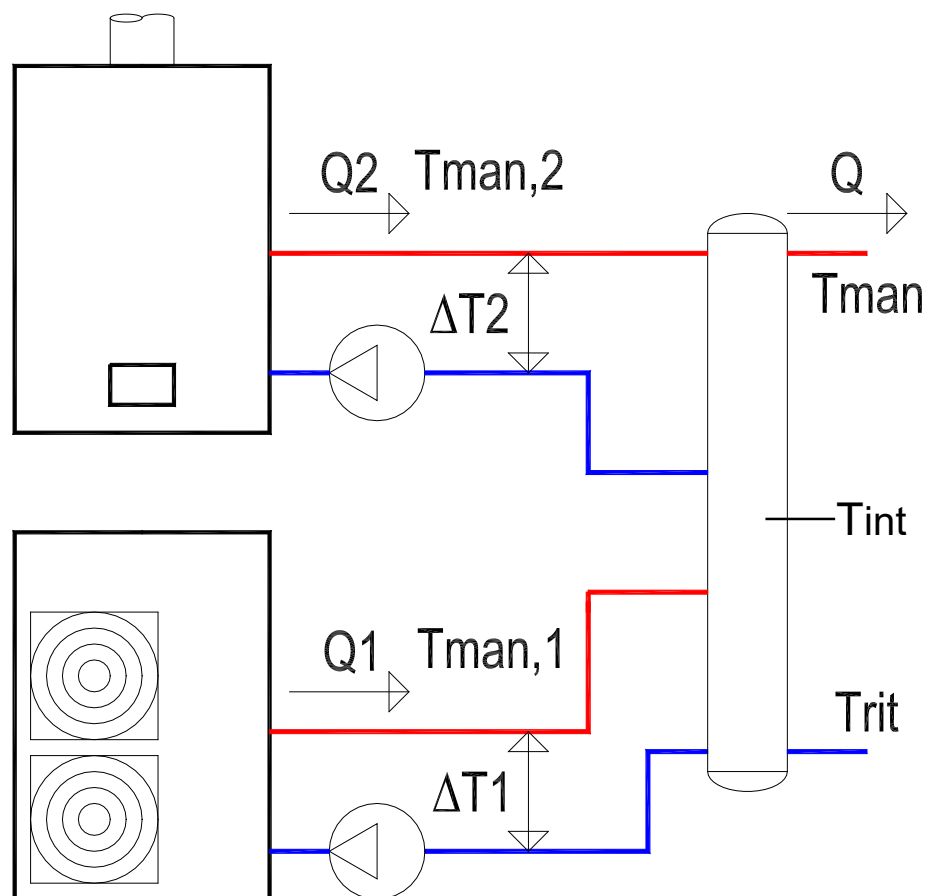


Nel collegamento in serie ciascuno dei due generatori contribuisce con un salto termico proporzionale alla sua potenza

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

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

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

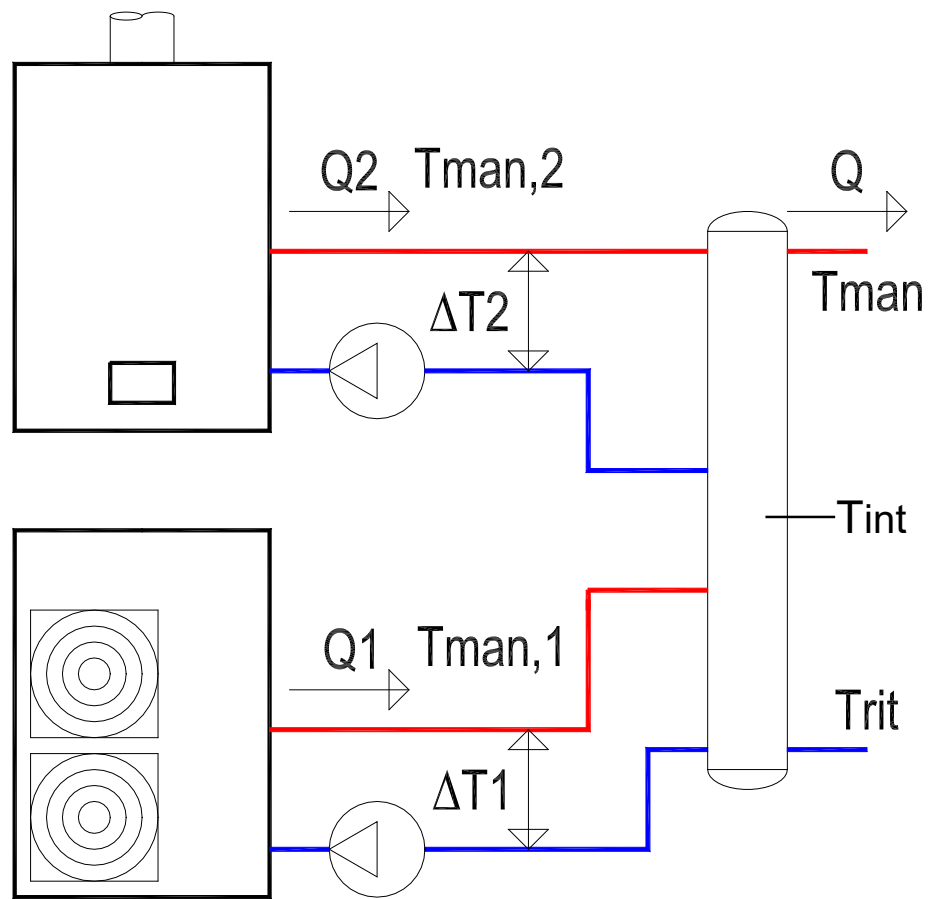


$$T_{man} = T_{rit} + \frac{P_1 + P_2}{Q \cdot c_p}$$

$$\Delta T_2 = \frac{P_2}{Q_2 \cdot c_p}$$

$$T_{int} = T_{rit} + \frac{P_1}{Q \cdot c_p}$$

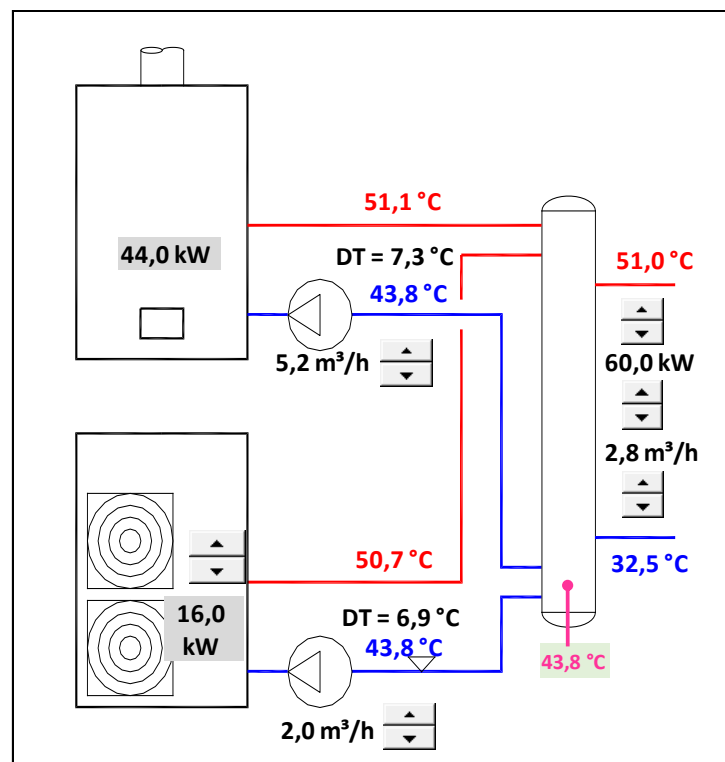
$$\Delta T_1 = \frac{P_1}{Q_1 \cdot c_p}$$



In pratica:

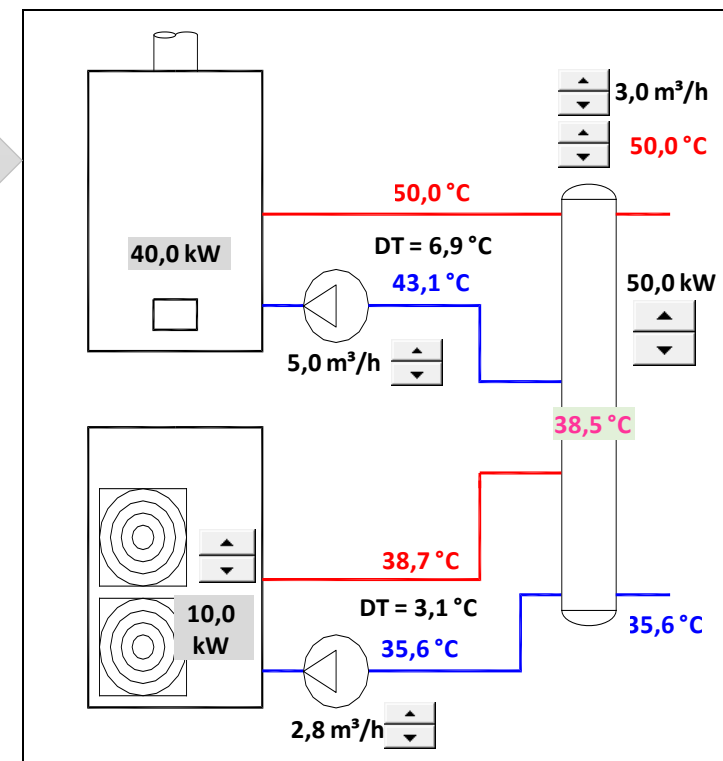
La portata nella caldaia **$Q2$** deve essere **inferiore alla portata nell'impianto Q** affinché la temperatura di ritorno in caldaia non sia più elevata di T_{int} .

La portata nella pompa di calore **$Q1$** deve essere **superiore alla portata nell'impianto Q** affinché la temperatura di mandata della pompa di calore non sia più elevata di T_{int}

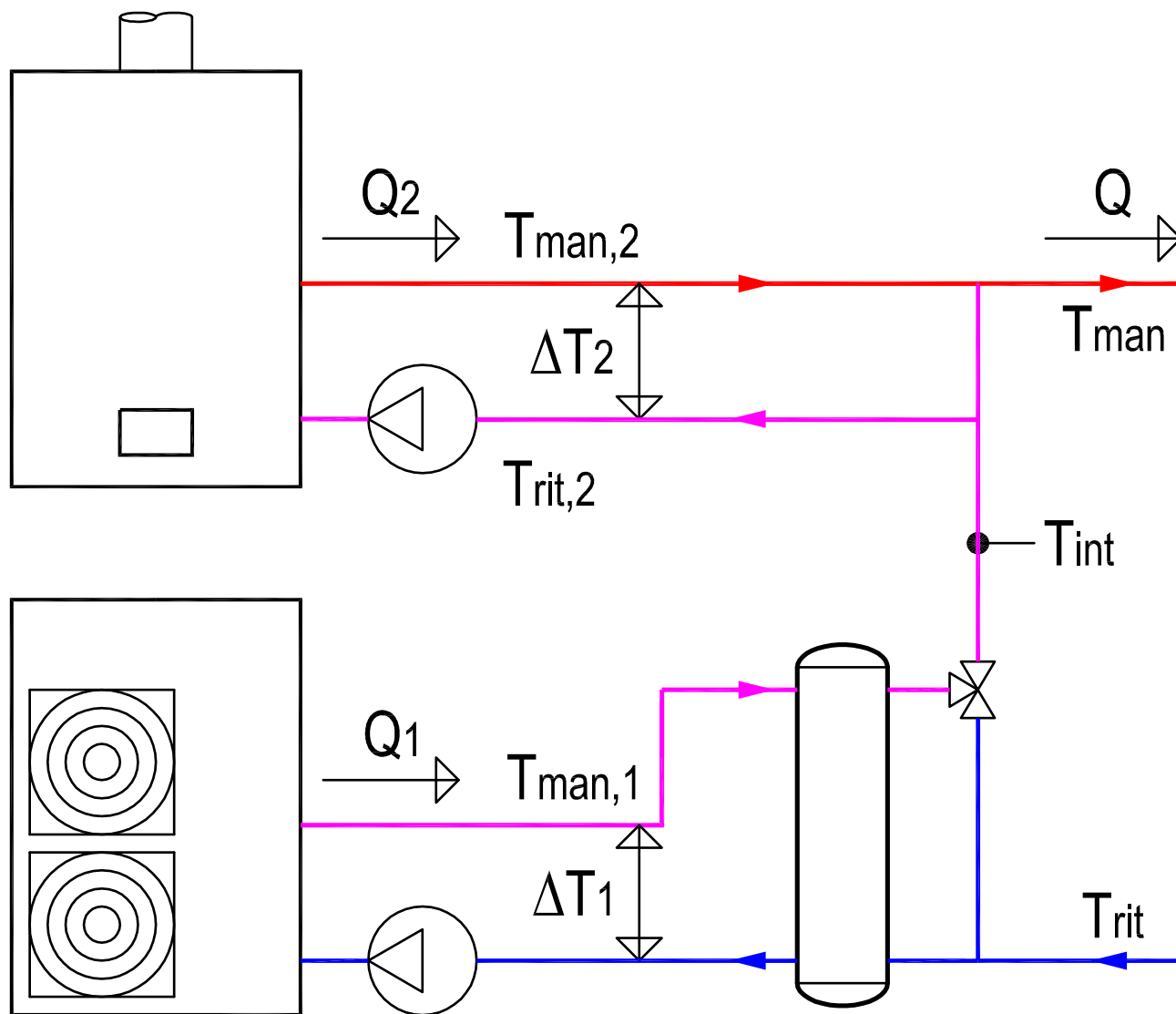


Collegamento in serie dei due generatori
Più prevedibile nel caso di generatori diversi

Collegamento in parallelo
Più difficile da gestire nel caso di generatori diversi



... ci vogliono buone ragioni per affrontare questa avventura...



Il volume di accumulo è dedicato alla pompa di calore

La valvola deviatrice impedisce all'acqua calda di raggiungere la pompa di calore nel funzionamento con la caldaia

01 Le basi teoriche della pompa di calore

02 Criteri di progettazione impianti a pompa di calore Il dimensionamento

03 Esempi pratici di progettazione

04 Pompa di calore e fotovoltaico

- Punto di partenza di un progetto: esigenza di un servizio
- Obiettivo: scegliere un insieme di componenti per formare un sistema idoneo a soddisfare le esigenze individuate, tenuto conto delle condizioni al contorno applicabili (regolamentari, economiche, ambientali, sicurezza, logistiche, ecc.)
- Prima parte della progettazione: dimensionamento
 - Scelta dei componenti da mettere insieme per fornire il servizio e della loro taglia
- Seconda parte della progettazione: verifica della prestazione energetica (o altre)
 - Calcolo della prestazione energetica dell'impianto risultante, in funzione delle condizioni di esercizio ipotizzate

Poi, durante la vita utile dell'impianto: verifica della prestazione effettivamente raggiunta

- Da parte del committente: reclama solo in caso di discomfort (che è la conseguenza inevitabile di un insufficiente dimensionamento) e/o gravi problemi di prestazione energetica
- Da parte del progettista: raramente, di solito solo in conseguenza di quanto sopra
- Da parte della pubblica amministrazione...

Serve per stabilire la «taglia» di apparecchi e componenti

- Determina kW, diametri, portate ...
- In “condizioni di progetto” → il criterio è «*l'impianto ce la deve fare*» 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 di componenti ed apparecchi 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 ancora elevato** del kW installato
- sovradimensionamento dannoso



- **Calcolo di prestazione energetica (energia, MJ, kWh, m³ di metano)**

- **Serve per valutare la prestazione dell'impianto, così come dimensionato, in esercizio**

- **Prestazione in condizioni standard → ai fini della verifica di limiti di legge e della certificazione energetica**

- **Prestazione in condizioni reali → ai fini della diagnosi energetica**

- Il criterio è «cosa succede nell'uso medio»

- Calcolo tenendo conto di condizioni ragionevoli (non si deve approssimare per eccesso o difetto, realismo)

- Necessaria una buona risoluzione perché ci si confronta con dei limiti precisi

- **Dovrebbe essere “validato” con la verifica delle prestazioni reali**

- ... in condizioni variabili durante la stagione →**

- calcolo per intervalli calcolo, utilizzando condizioni medie

- 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 (oppure ci sono limiti al funzionamento)

- **calcolo per bin**, calcoli orari, ecc ...

Per qualsiasi valore di ingresso in un calcolo, esistono due valori più o meno diversi fra loro:

- Valori di dimensionamento, valutati nelle condizioni più gravose ipotizzate in cui l'oggetto progettato «deve farcela»
- Valori di verifica della prestazione in utilizzo, valutati in condizioni medie di funzionamento

Esempi:

- Valore dei ricambi d'aria orari nel settore residenziale: 0,5 / 0,3 h⁻¹
- Temperatura esterna: -5 / 6...7 °C
- Velocità del vento
- Occupazione in persone/m²
- ...

Portate di ventilazione nel settore residenziale

n = 0,5 h⁻¹ Dato di **dimensionamento** → edificio interamente occupato

n = 0,3 h⁻¹ Dato di **calcolo energetico** → edificio «mediamente» occupato

Fabbisogni di acqua calda sanitaria

Dato di dimensionamento dell'impianto:

Prelievi massimi ipotizzati in una singola giornata

Dato di calcolo energetico

Prelievi medi nell'arco della settimana o del mese

Appartamento da 100 m² utili

Volume netto $V = 100 \text{ m}^2 \times 2,7\text{m} = 270 \text{ m}^3$

Portata $V' = 270 \text{ m}^3 \times 0,3 \text{ h}^{-1} = 81 \text{ m}^3/\text{h}$

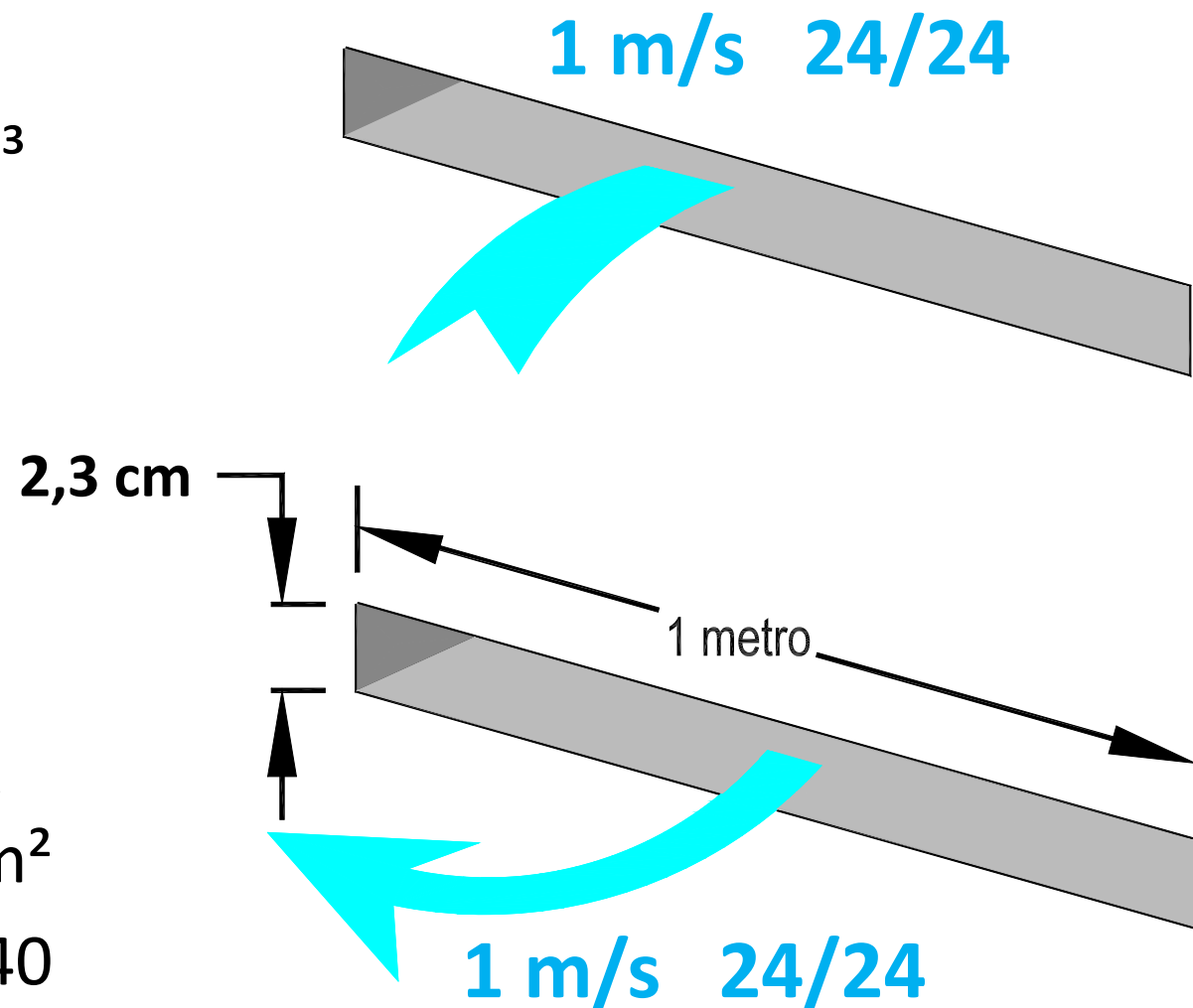
Sezione a 1 m/s → 230 cm² ...

... X 2 (1 x entrata + 1 x uscita aria)

$H_v = 81 \text{ m}^3/\text{h} \times 0,34 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{K} = 27,5 \text{ W/K}$

equivalenti a 68 m² di parete a 0,4 W/m²

Potenza media: $27,5 \text{ W/K} \times (20 - 7) ^\circ\text{C} = 40$



- **Caldo o freddo?**

- A seconda del clima, della tipologia di edificio e della necessità di ripresa, il dimensionamento può essere determinato da riscaldamento o raffrescamento
- Se la differenza è notevole:
 - Frazionare la potenza su più macchine (compressori multipli)
 - Aumentare l'accumulo per ovviare all'intermittenza inevitabile

- **Riscaldamento: energia o potenza?**

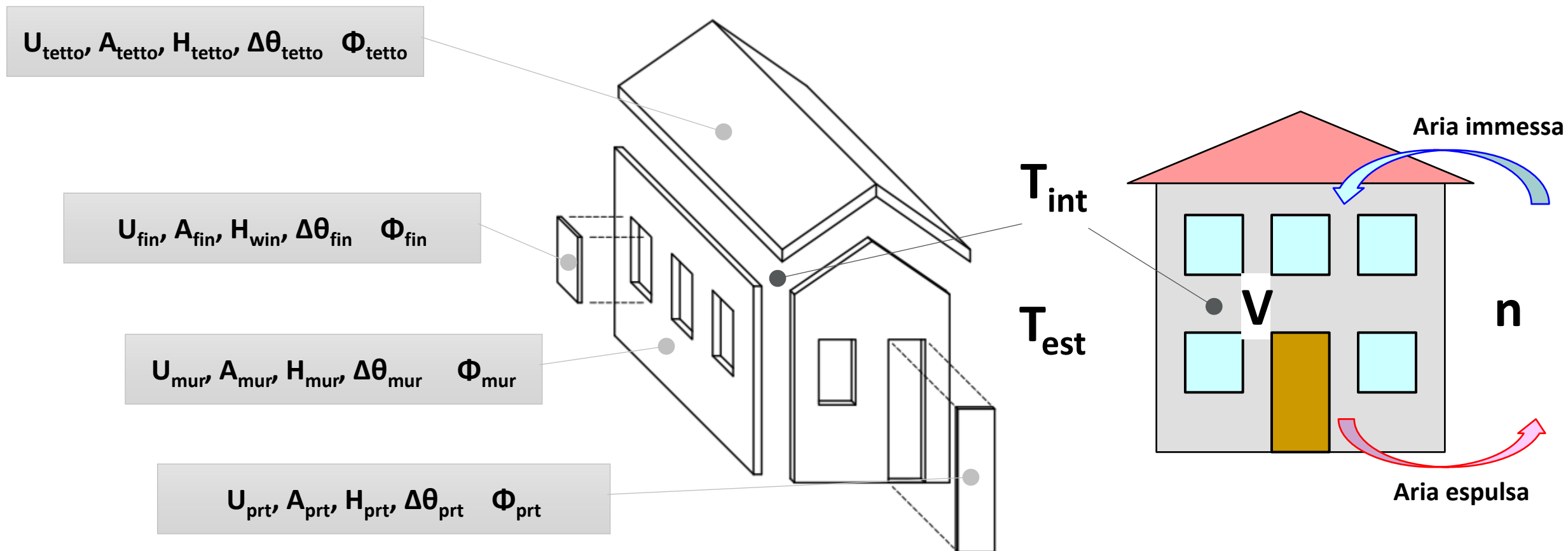
- Il dimensionamento fondato sul carico termico porta a potenze eccessive in ambito residenziale
 - dimensionamento fondato su calcoli energetici (firma energetica, rilevata o di progetto)
- In altri ambiti dove serve recuperare dopo fermate per intermittenza, potrebbe sembrare preferibile un dimensionamento tradizionale (carico termico)

Metodi disponibili per dimensionare un generatore di calore per il servizio riscaldamento

- Tradizionale: in base al **carico termico UNI 7357 e poi EN 12831**
→ **Sovradimensionamento connaturato nel metodo**
- **Sulla base dei risultati del calcolo di prestazione energetica**
- **In base al consumo storico di gas: 7 kW (oppure 4,2) ogni 1000 Sm³/anno (a determinate condizioni: quali?)**
- In presenza di contabilizzazione indiretta:
in base alla **potenza nominale dei corpi scaldanti** installati

Quale metodo utilizzare per dimensionare la pompa di calore e perché?

Formula di base: $\sum_k (U_k \times A_k \times b_k) \times (T_{int} - T_{est}) + \rho_a \times c_{p,a} \times V \times n \times (T_{int} - T_{est})$



Formula di base:
$$\Phi_{HL} = \underbrace{\sum_k (U_k \times A_k \times b_k) \times (T_{int} - T_{est})}_{\text{Trasmissione}} + \underbrace{\rho_a \times c_{p,a} \times V \times n \times (T_{int} - T_{est})}_{\text{Ventilazione}}$$

U_k trasmittanze degli elementi, con il vento massimo

A_k area di ciascun elemento

b_k fattore di correzione per dispersione verso ambienti non riscaldati

T_{int} temperatura interna desiderata: 20 °C

T_{est} **temperatura esterna «di progetto»** (meglio: «di dimensionamento»)
valore minimo statistico che ha una probabilità di verificarsi ogni dato numero di anni

V volume interno netto dell'edificio

n tasso di ricambio dell'aria interna **in condizioni di piena occupazione**
da discutere: portata da considerare in presenza di ventilazione meccanica con reuperatore

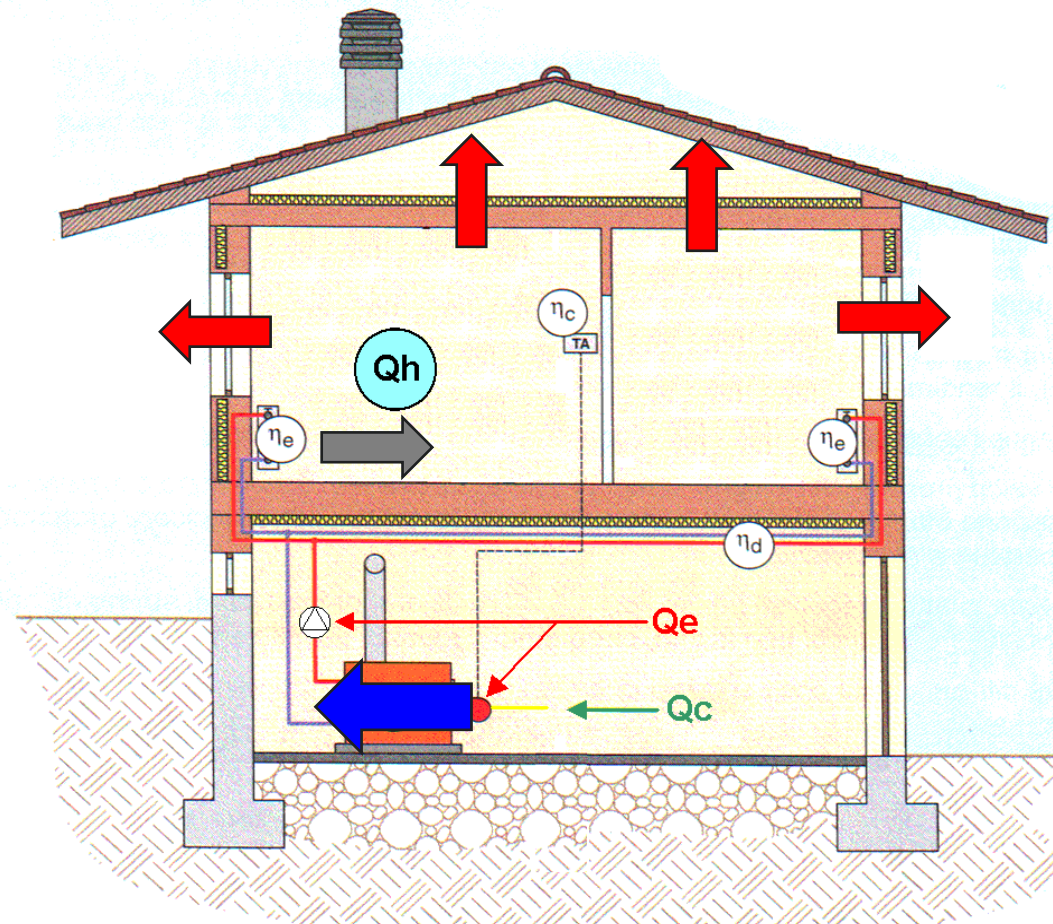
Una volta calcolate le dispersioni, si scelgono:

- Corpi scaldanti di potenza nominale pari al **carico termico del locale**
- Un generatore di calore che fornisca una **potenza utile** pari al **carico termico dell'edificio** alla **temperatura di progetto**

Con le caldaie, si trascura la differenza fra potenza in ingresso e potenza in uscita cioè il rendimento della caldaia.

Implicitamente si trascura anche il rendimento dell'impianto.

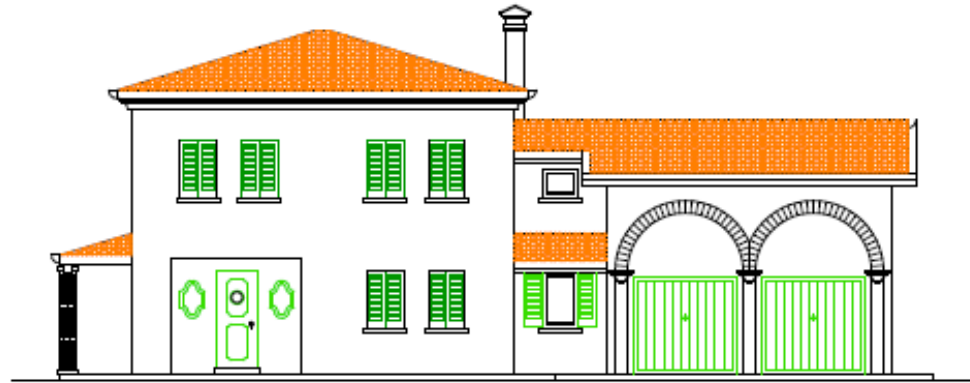
La potenza per l'eventuale ripresa deve essere aggiunta a parte



- Villetta isolata da 186 m² utili
- Potenza di progetto a -5°C → $\cong 7,5 \dots 10,8$ kW a seconda della ventilazione
- Pompa di calore aria/acqua, potenza assorbita massima 2,7 kW
- Impianto di riscaldamento a radiatori, dimensionati per temperatura di mandata massima di 50 °C in corrispondenza al carico termico

... realizzato a radiatori ...

Dati edificio					
	NETTO	LORDO			
Superficie in pianta	186,52	247,13	m ²	Superficie esterna lorda (con strutture tipo N)	701,25 m ²
Volume	649,07	1012,94	m ³	Superficie esterna lorda (senza strutture tipo N)	701,25 m ²
				Superficie esterna lorda (con strutture tipo A)	701,25 m ²
				Rapporto S/V	0,69 m ⁻¹



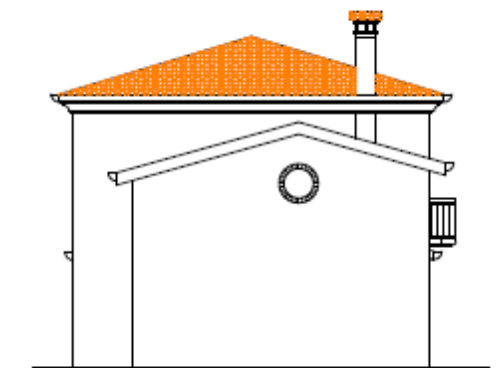
PROSPETTO NORD - EST



PROSPETTO SUD - EST



PROSPETTO SUD - OVEST

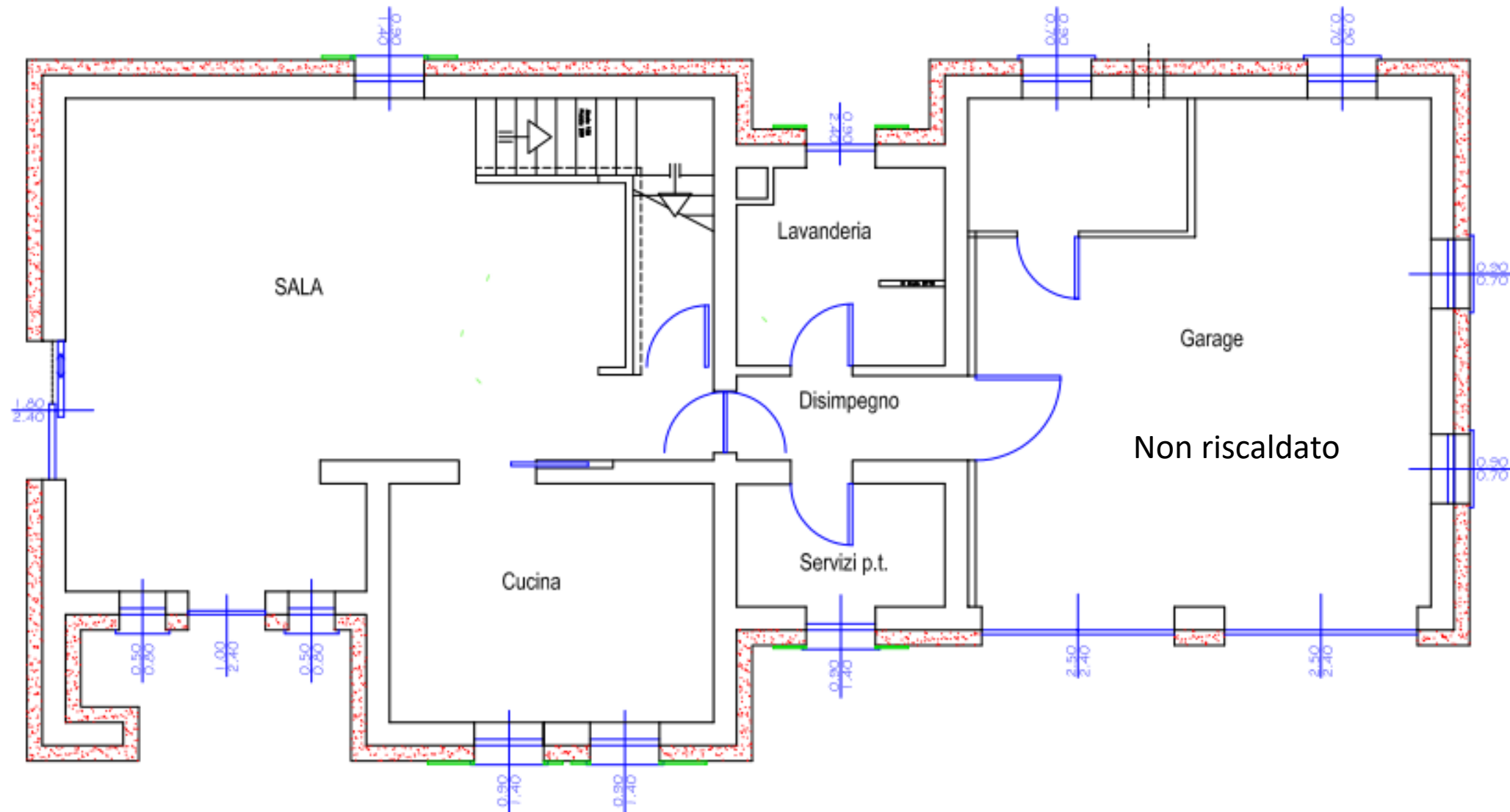


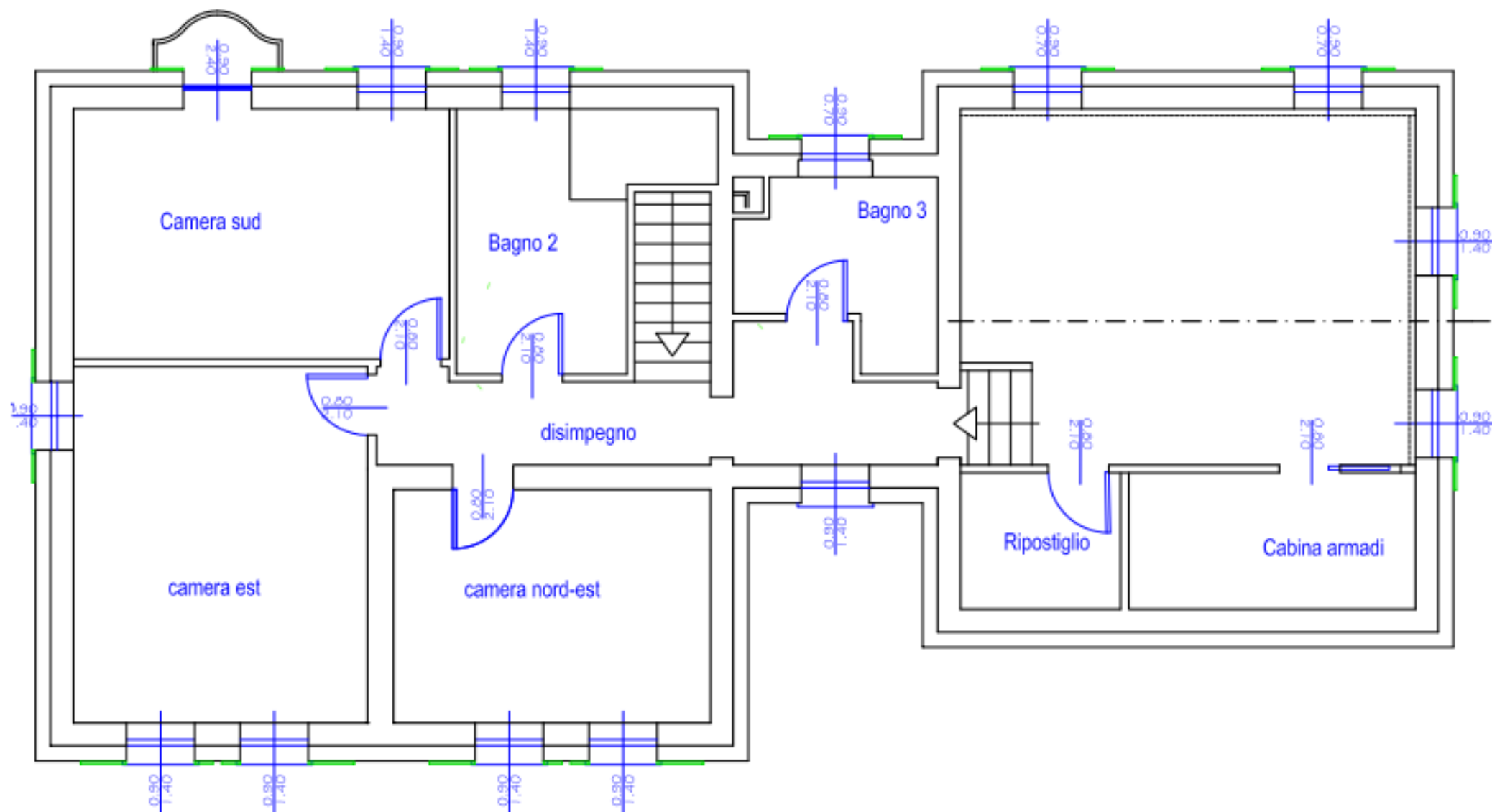
PROSPETTO NORD - OVEST

Struttura in muratura con cappotto esterno 16 cm, trasmittanza 0,18 W/m²K

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

Potenza di progetto originale 8,2 kW ma dipende molto dalle scelte in merito alle portate di ventilazione





Dispersioni per locale		Dispersioni per componente		Dispersioni per orientamento		Riassunto zone				
Potenza dispersa per trasmissione, ventilazione, effetto intermittenza e coefficiente di sicurezza										
	Locale	Zona	Descrizione	θ_i [°C]	V [m³]	S [m²]	Φ_{tr} [W]	Φ_{ve} [W]	Φ_{rh} [W]	Φ_{hl} [W]
	1	1	Soggiorno	20,0	147,7	49,22	1325	615	0	1941
	2	1	Lavanderia	20,0	20,8	6,94	315	87	0	401
	3	1	Bagno piano terra	20,0	13,7	4,29	287	57	0	344
	4	1	Cucina	20,0	39,1	13,02	445	163	0	608
	5	1	Camera NORD-EST	20,0	58,5	12,94	556	244	0	799
	6	1	Camera EST	20,0	84,0	18,24	686	350	0	1036
	7	1	Camera SUD	20,0	73,6	16,30	582	307	0	889
	8	1	Bagno vasca	20,0	40,4	8,95	298	168	0	466
	9	1	Bagno doccia	20,0	17,0	5,64	120	71	0	191
	10	1	Corridoio	20,0	48,8	12,32	194	203	0	397
	11	1	Camera NORD	20,0	81,4	28,06	1155	339	0	1494
	12	1	Locale amadi	20,0	15,5	6,80	382	65	0	446
	13	1	Ripostiglio	20,0	8,7	3,80	243	36	0	279

Risultati

Dettaglio dispersioni				Totali			
Potenza dispersa per trasmissione	Φ_{tr}	6587	W	Volume totale	V	649,1	m³
Potenza dispersa per ventilazione	Φ_{ve}	2704	W	Potenza totale	Φ_{hl}	9292	W
Potenza dispersa per intermittenza	Φ_{rh}	0	W	Potenza totale, con fattore di sicurezza	Φ_{hl} sic	9292	W

Dispersioni

- **trasmissione: 6,6 kW**
- **ventilazione**
 - $n=0,5 \text{ h}^{-1}$: **2,7 kW**
 - con bagni: **3,9 kW**
 - meccanica **270 m³/h:**
0,25 ...2,3 kW

Intervallo risultante: 6,9...10,5 kW

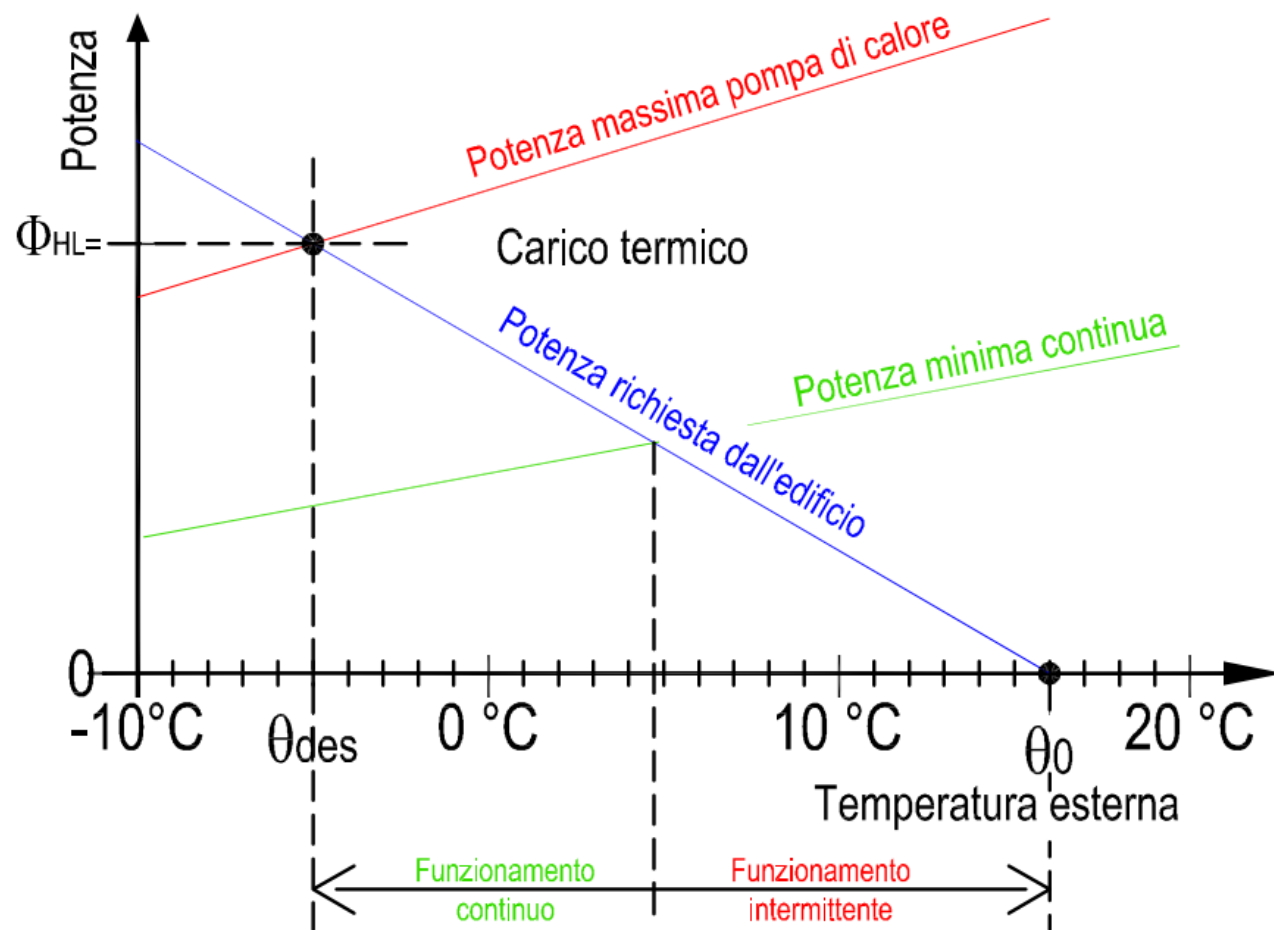
**Carico termico con $n=0,5 \text{ h}^{-1}$:
6,6 + 2,7 = 9,3 kW nel seguito**

Sicuramente abbondante perché
corrisponde a **320 m³/h**,
ampiamente sufficienti per 10
persone

- Calcolo delle portate di ventilazione nel settore residenziale, valori di dimensionamento
 - **0,5 ricambi/ora** uniformi in tutta l'unità immobiliare: abbondante per u.i. grandi
 - con bagni a 2,0 ricambi ora + cucine a 1,50 ricambi ora → **da usare solo per corpi scaldanti (e ancora...)**
 - **20...30 m³/h a persona** → 100 m² e 5 persone → 125 m³/h / 270 m³ → 0,46 h⁻¹ (+ mobili)
 - In presenza di VMC con recuperatore, ciò va tenuto in conto nel dimensionamento
 - ma attenzione al suo effettivo funzionamento ed all'eventuale effetto di protezioni antigelo

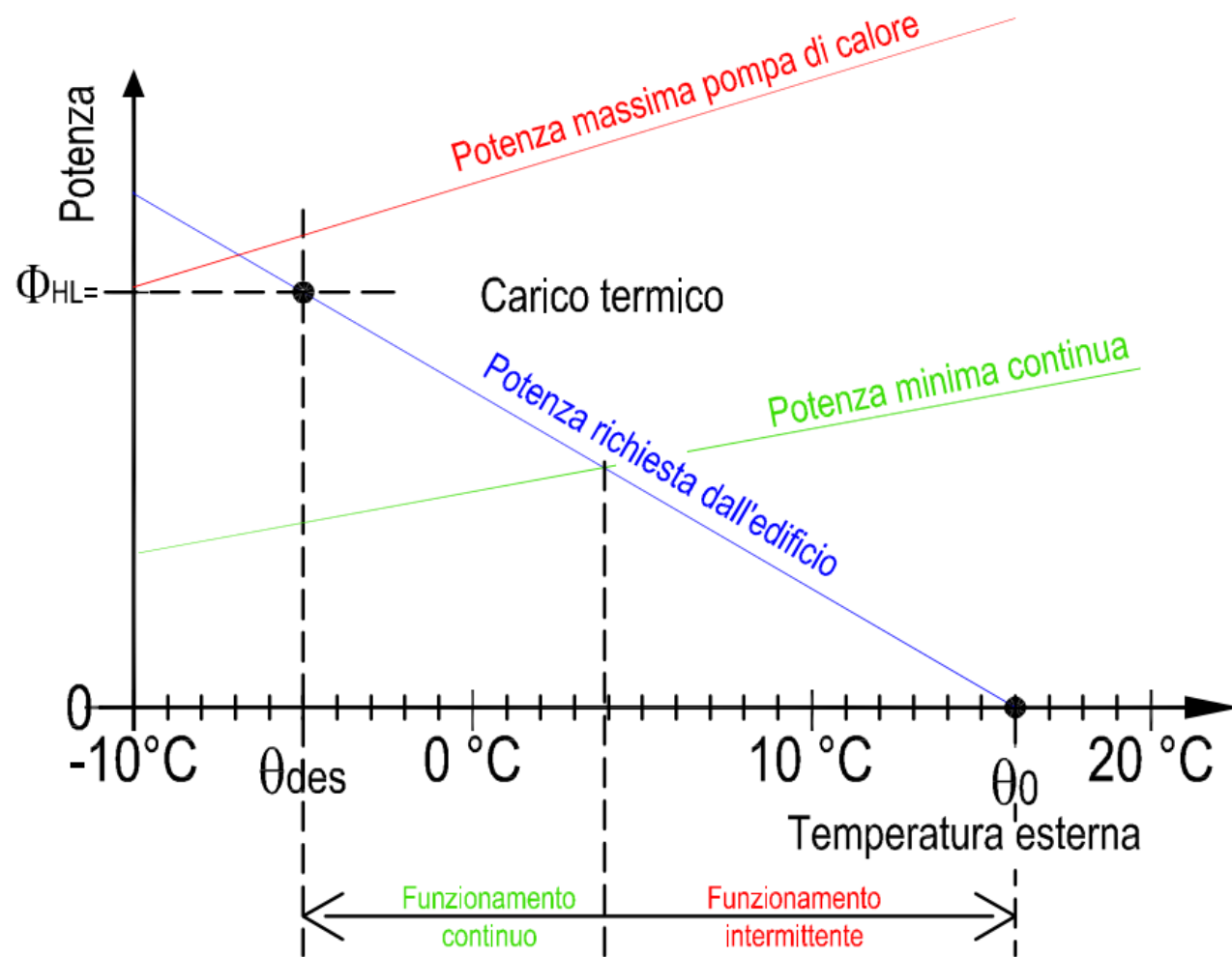
Le eventuali persone in più non dovrebbero essere un grosso problema. Una per persona in più comporta

- Carico di ventilazione aggiuntivo: $20 \text{ m}^3/\text{h} \times 25 \text{ }^\circ\text{C} \times 0,34 \text{ Wh}/(^\circ\text{C} \cdot \text{m}^3) = 170 \text{ W}$ a -5°C
- Apporto gratuito aggiuntivo di 100 W
- Ben diverso in estate in cui ventilazione, apporto sensibile e latente sono tutti carichi aggiuntivi...



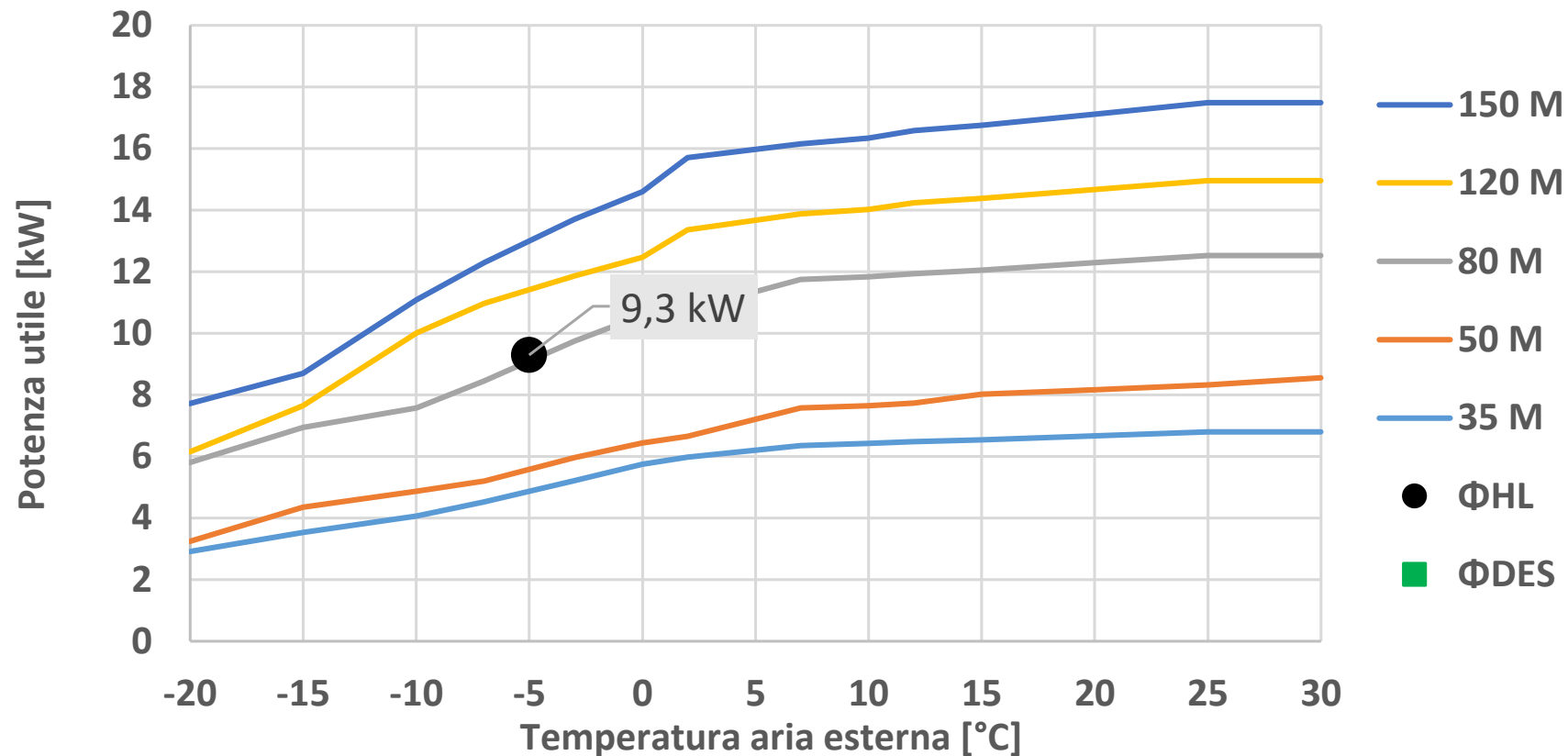
Dimensionare la pompa di calore come una caldaia significa scegliere la pompa di calore che alla temperatura di progetto θ_{des} eroga la potenza di progetto pari al carico termico.

Se il carico termico fosse veritiero si otterrebbe la seguente ripartizione fra funzionamento continuo ed intermittente



Ma la pompa di calore non sarà mai esattamente quella desiderata, quindi si sceglie un modello ancora un po' più potente...

Potenza utile a pieno carico



Cosa scegliamo?

...

La 80 è tirata

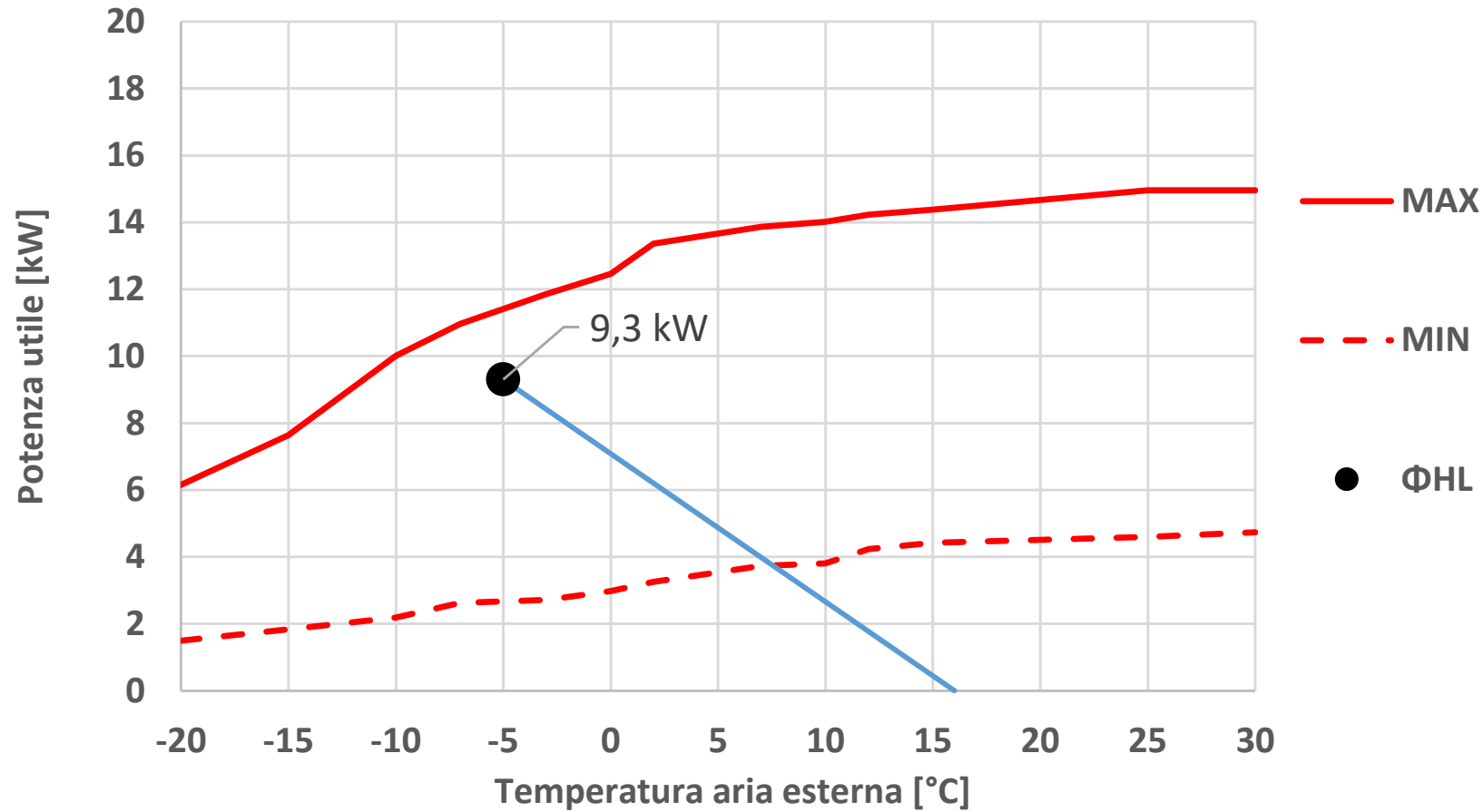
...

Nel dubbio 120?

...

La 50 sembra
chiaramente
improponibile

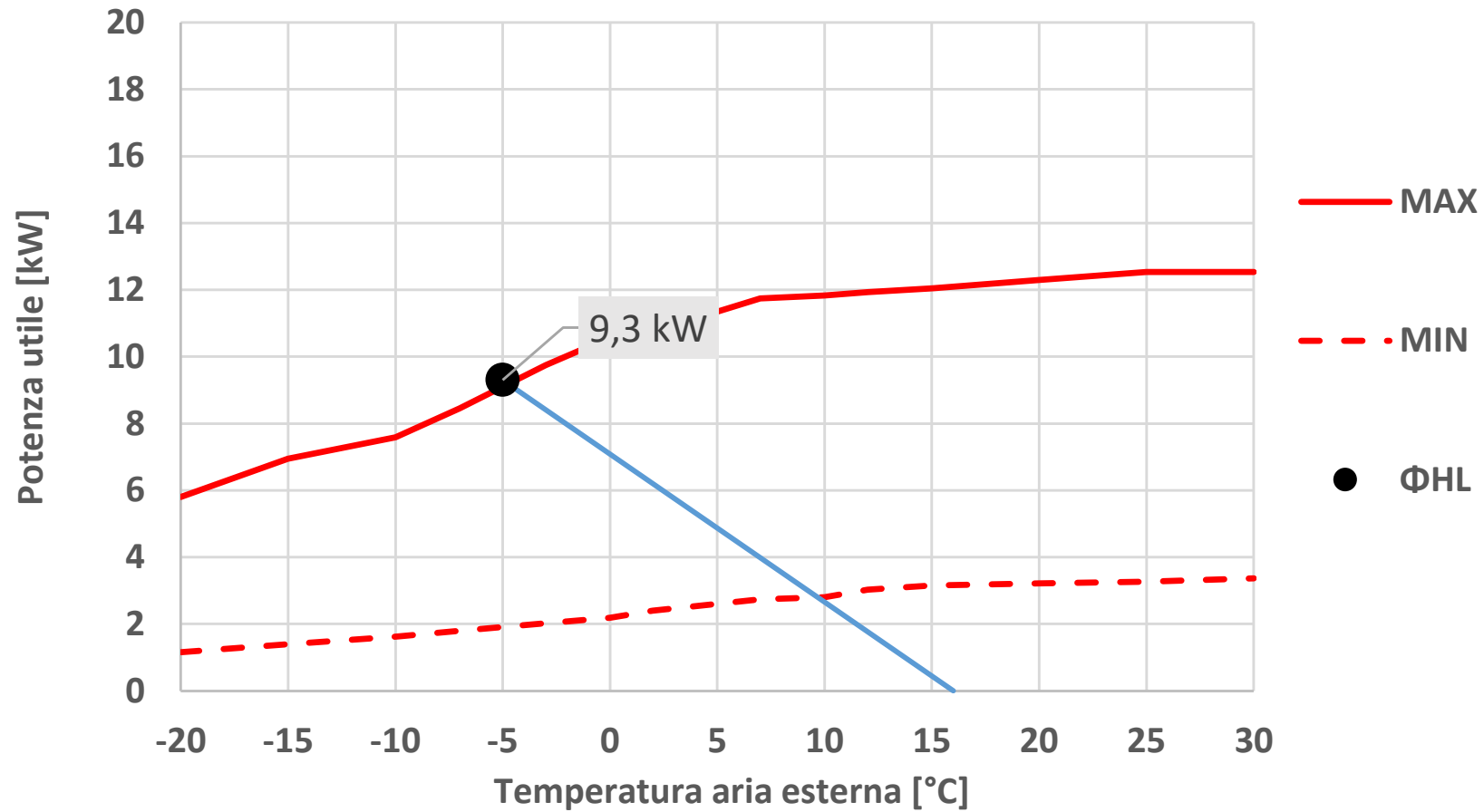
120 M



Dimensionamento
abbondante

Potenza massima
assorbita 4,9 kW

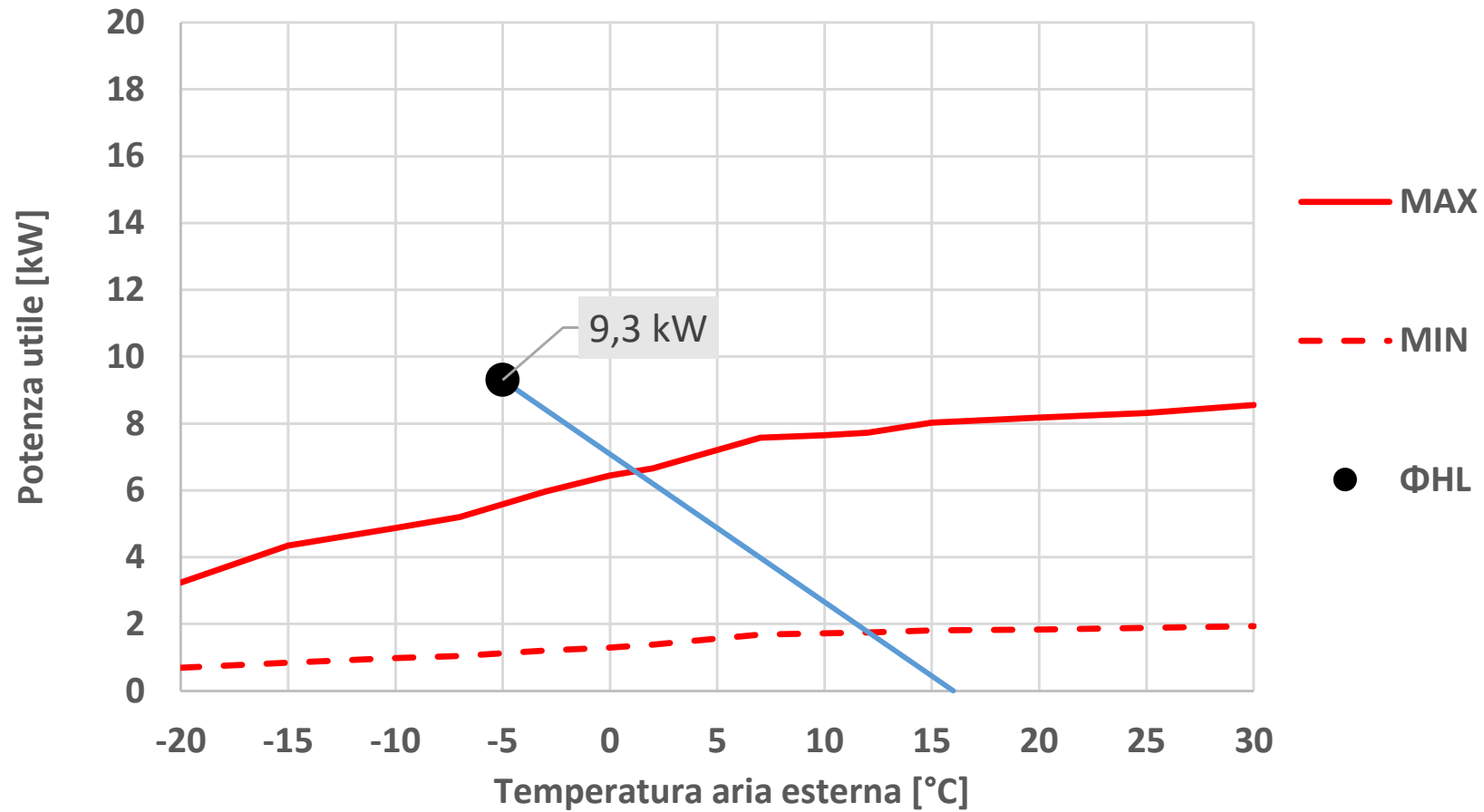
80 M



Dimensionamento tirato

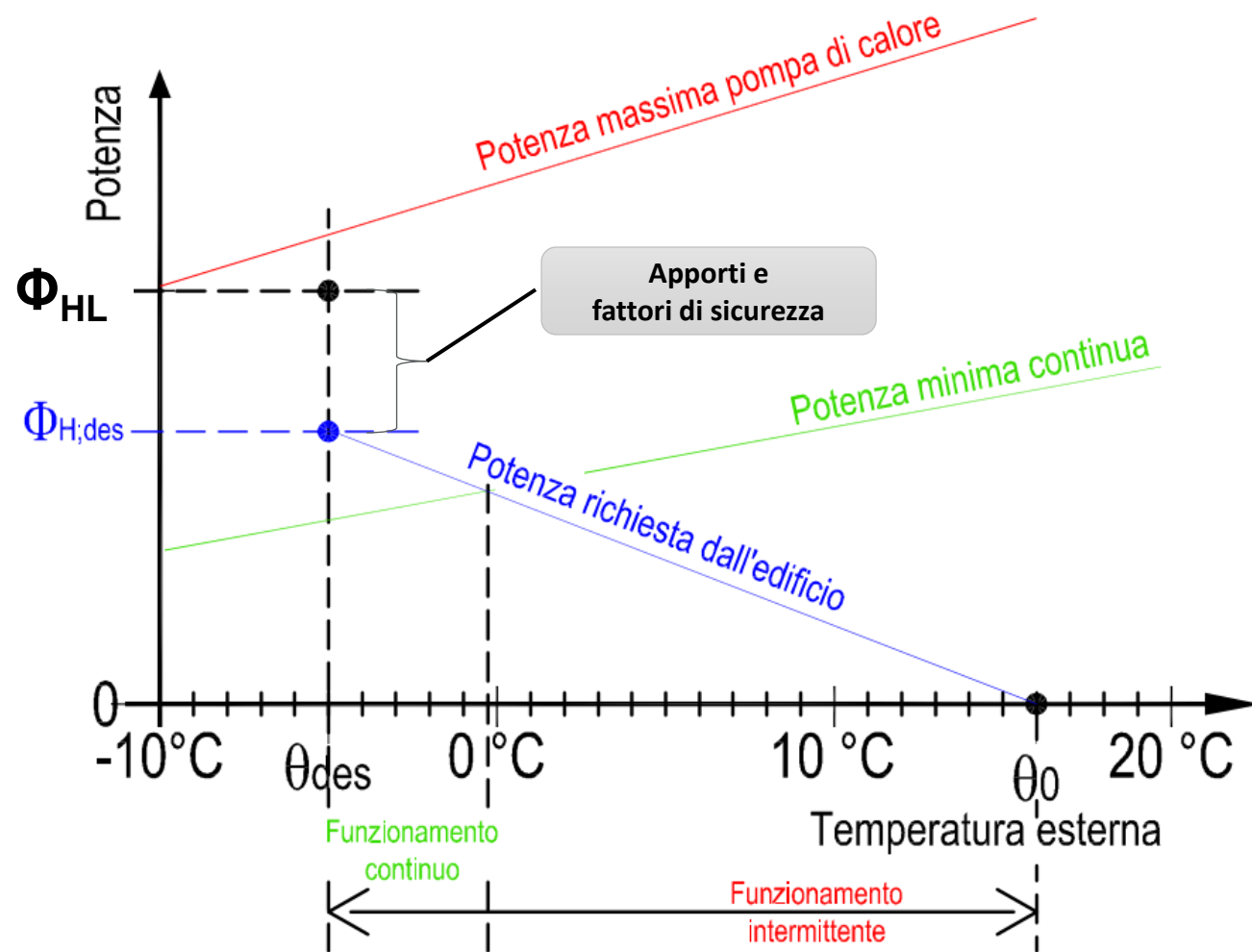
Potenza massima
assorbita 4,4 kW

50 M



Dimensionamento
insufficiente

Potenza massima
assorbita 3,0 kW



In realtà, alla temperatura di progetto non serve il carico termico Φ_{HL} tutto intero perché

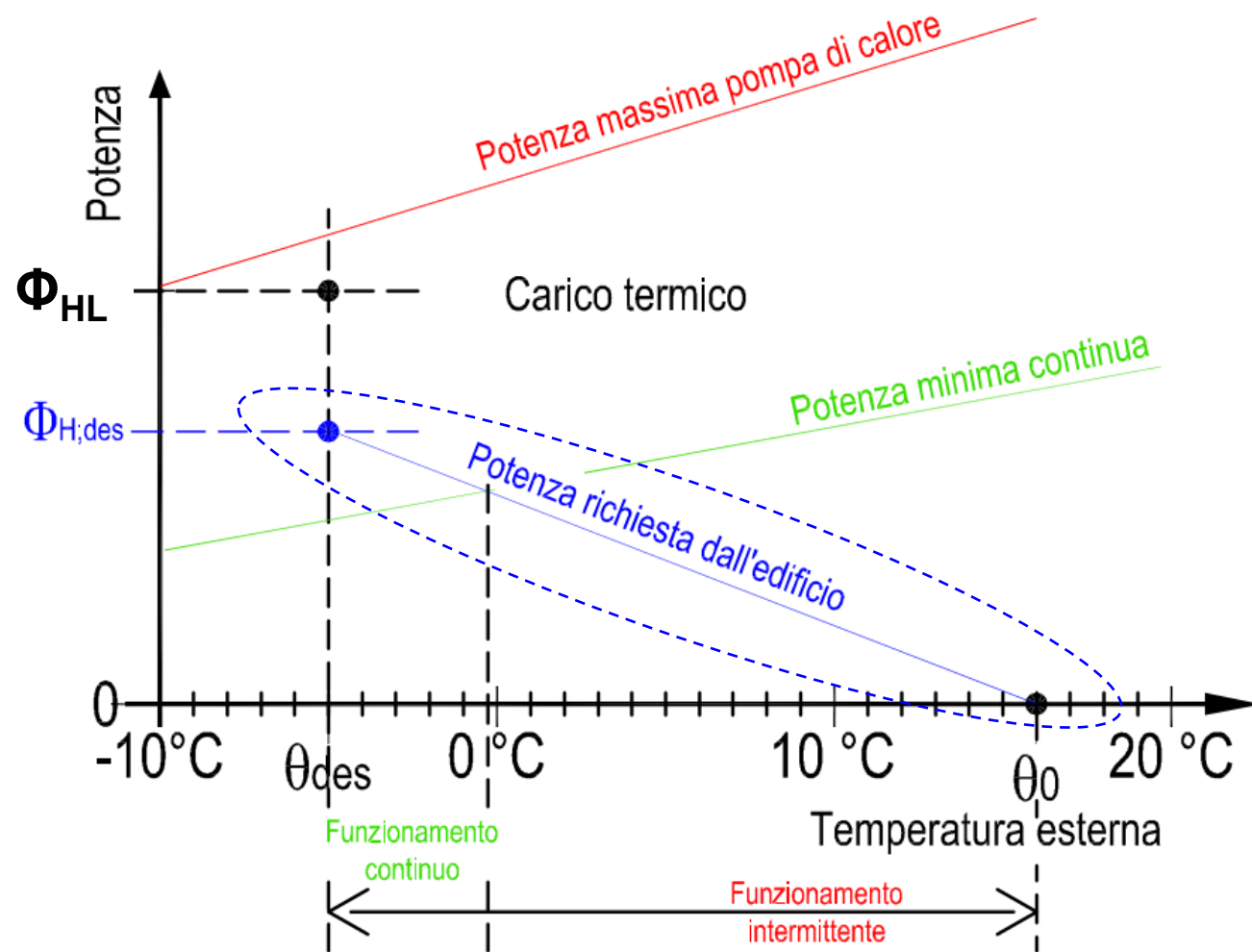
Ci sono apporti gratuiti

La ventilazione media non è quella massima

Tutti i valori sono quelli medi non quelli estremi usati per il calcolo del carico termico

Forte sovradimensionamento e funzionamento prevalentemente intermittente

Come possiamo trovare $\Phi_{H;des}$?

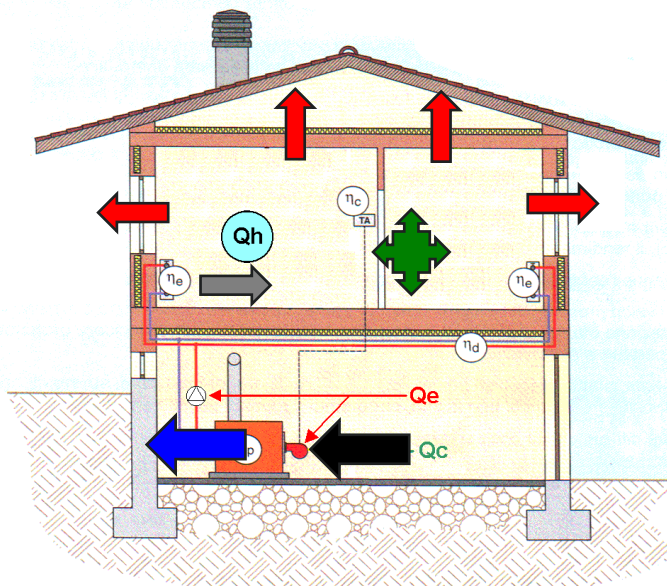
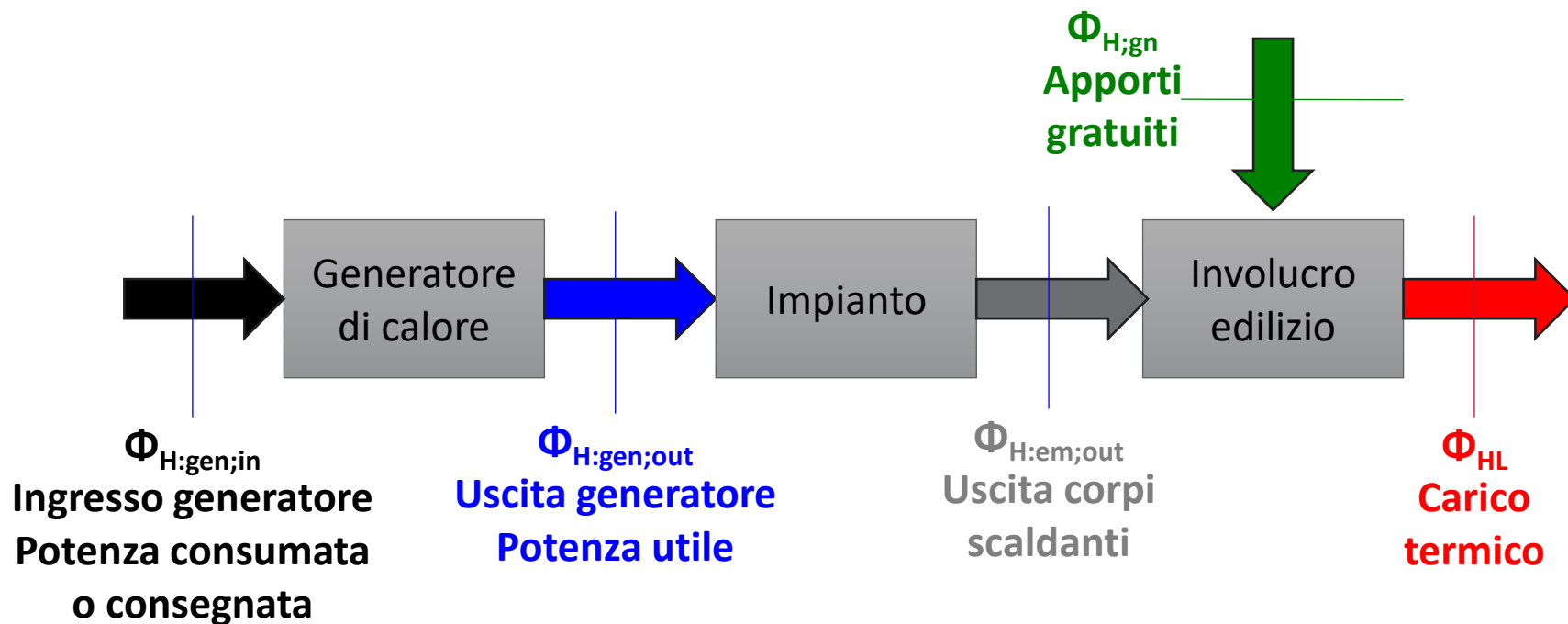


$\Phi_{H,des}$ e la linea blu possono essere determinati in due modi distinti:

- **Per calcolo**, utilizzando opportunamente i risultati del calcolo di prestazione energia (calcolo dell'energia)
 - Firma energetica di progetto con interpolazione dei dati mensili
- **Per misura** sulla base dei consumi storici, a condizione che il periodo di misura sia rappresentativo del futuro utilizzo dell'edificio
 - Firma energetica rilevata
 - Calcolo sulla base dei consumi annui

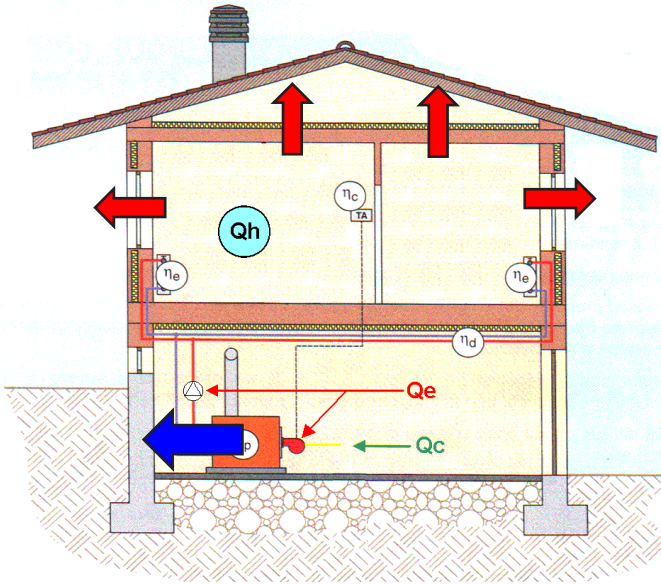
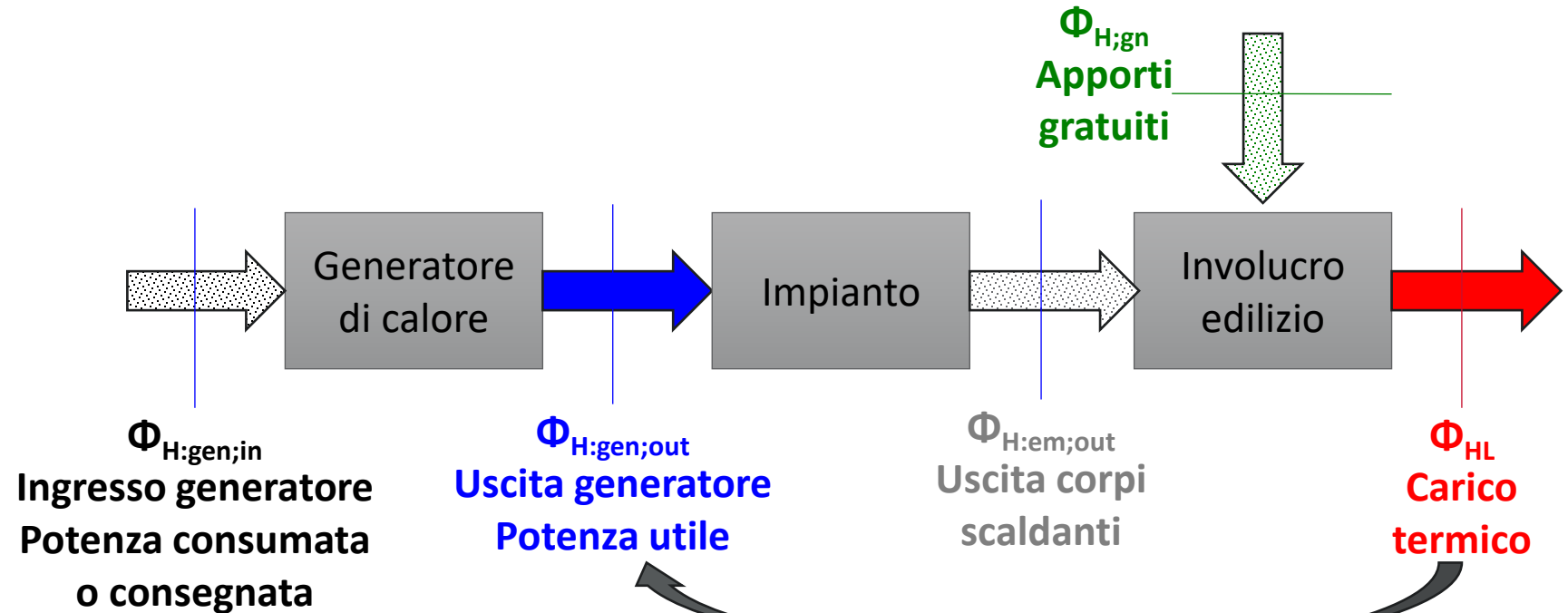
La figura e lo schema sottostante rappresentano un bilancio energetico semplificato ai fini del confronto fra i diversi metodi di dimensionamento

Alcune metodologie si fondano su un calcolo di potenze, altre su energie in un determinato periodo, da convertire in potenze ed estrapolare alle condizioni desiderate.



Il carico termico è un calcolo di potenza istantanea

- dimentica gli apporti gratuiti ed sistematicamente dati estremi
- trascura l'efficienza degli impianti (di solito elevata a pieno carico)
- tiene conto di eventuali transitori tramite dei fattori di maggiorazione



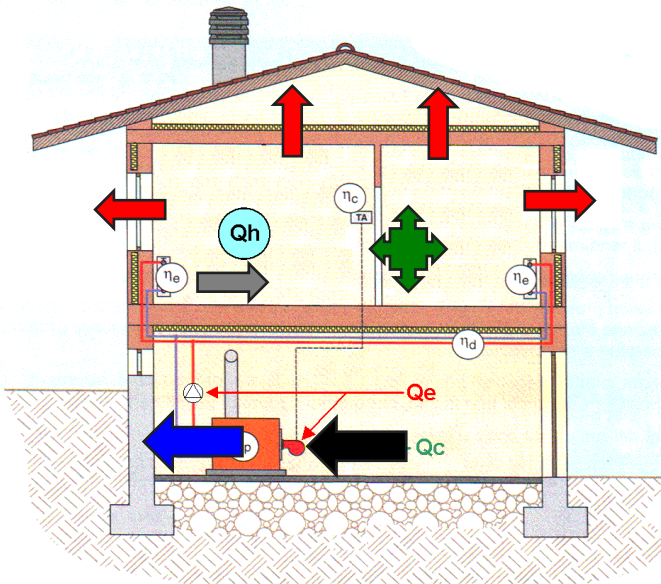
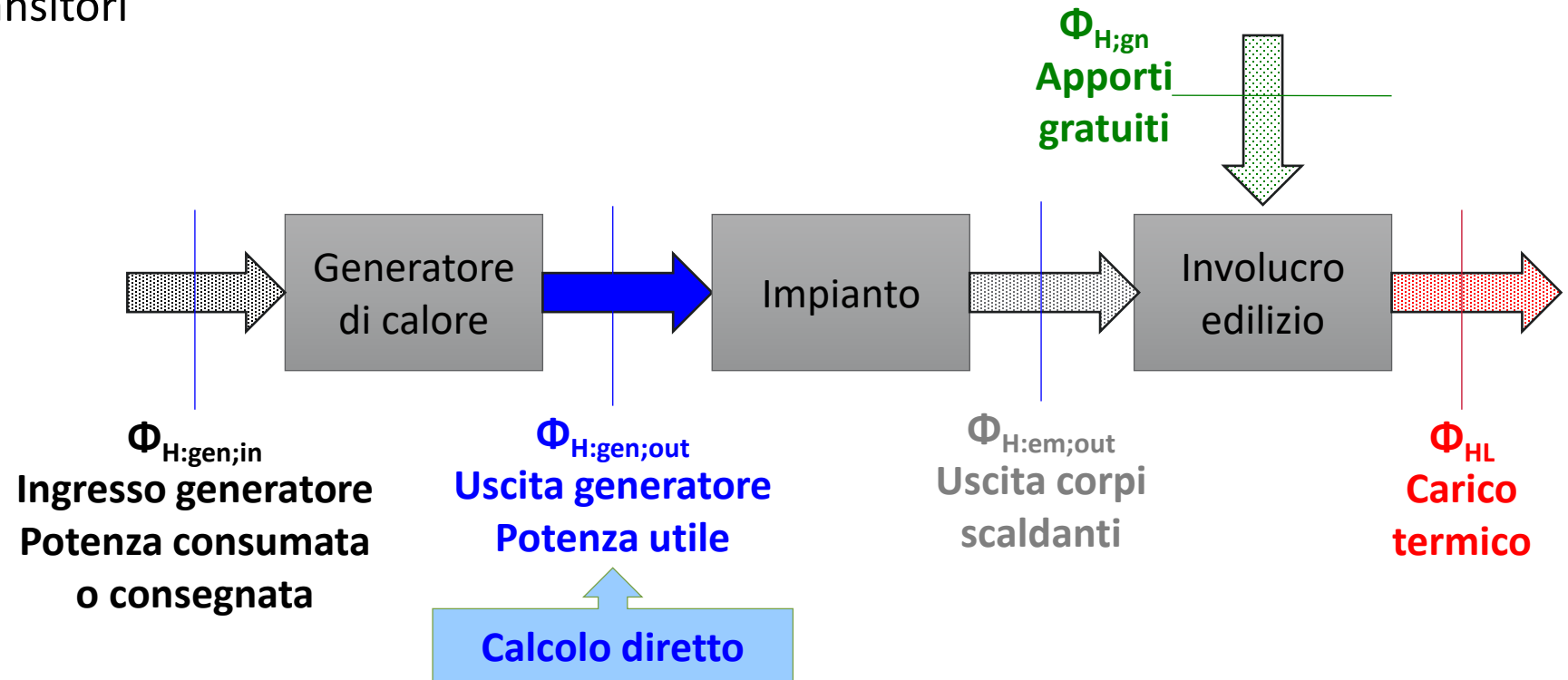
Il calcolo energetico tiene conto di apporti gratuiti e rendimenti impianto

Non introduce elementi di maggiorazione o fattori di sicurezza

Fa riferimento ad un uso standard dell'edificio

È un calcolo di potenze medie, da estrapolare al valore istantaneo di dimensionamento

Non tiene conto di eventuali transitori



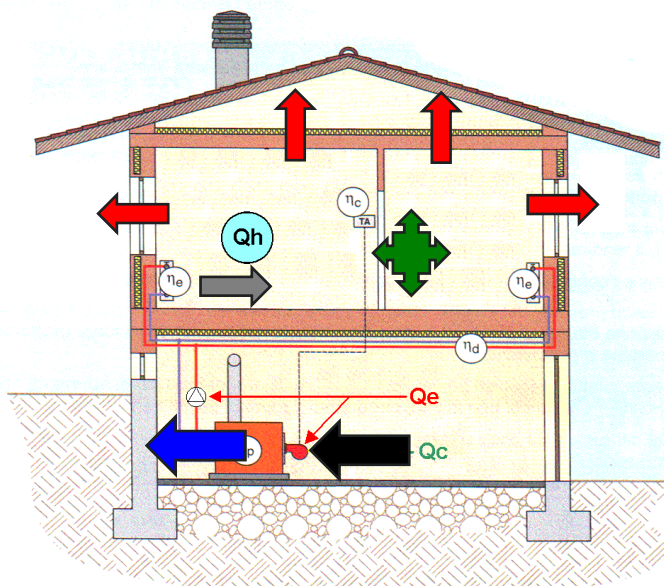
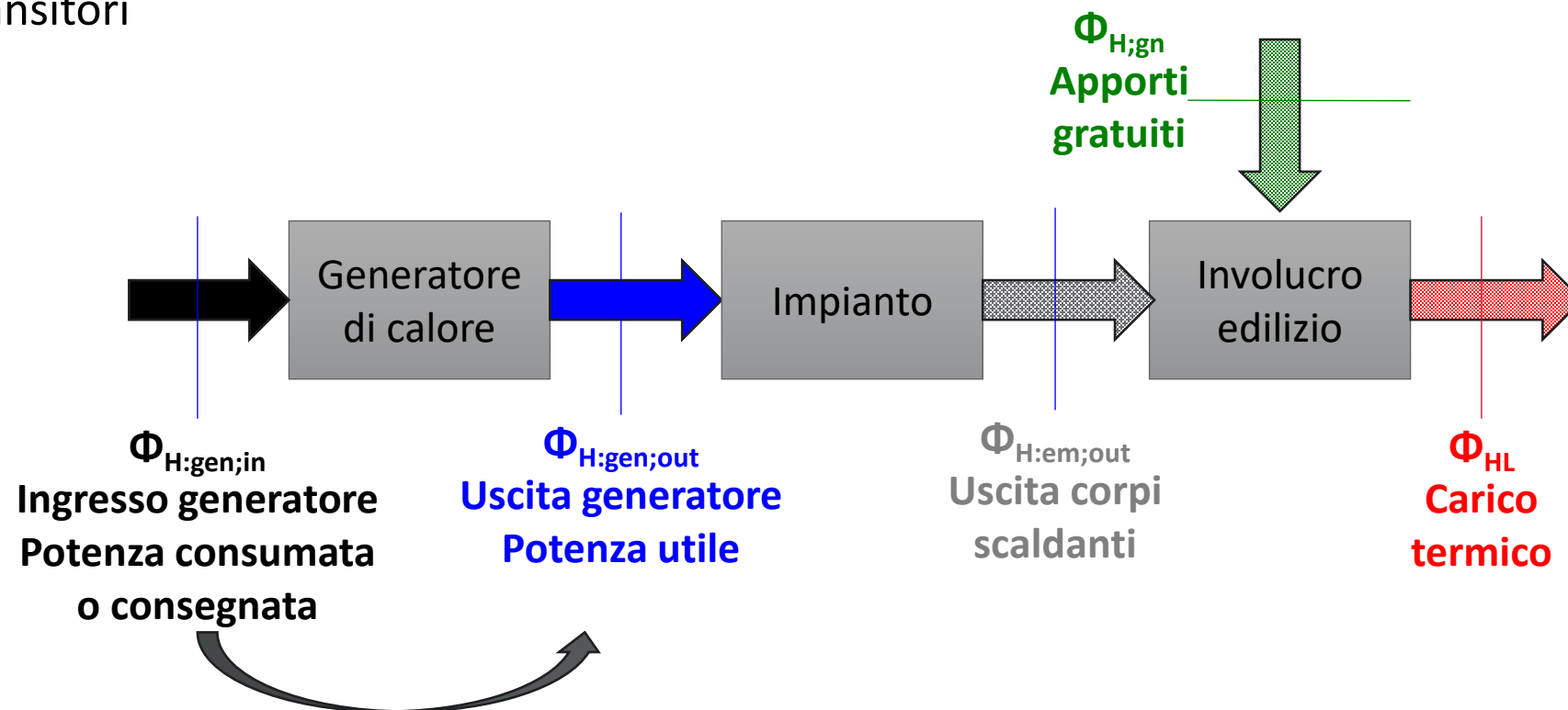
I consumi tengono conto implicitamente di dispersioni, apporti e rendimenti impianto

I consumi fanno riferimento all'uso reale, passato, dell'edificio: rappresentativo?

Per risalire al valore di dimensionamento occorre conoscere il rendimento del generatore

È un calcolo di potenze medie, da estrapolare al valore istantaneo di dimensionamento

Non tiene conto di eventuali transitori

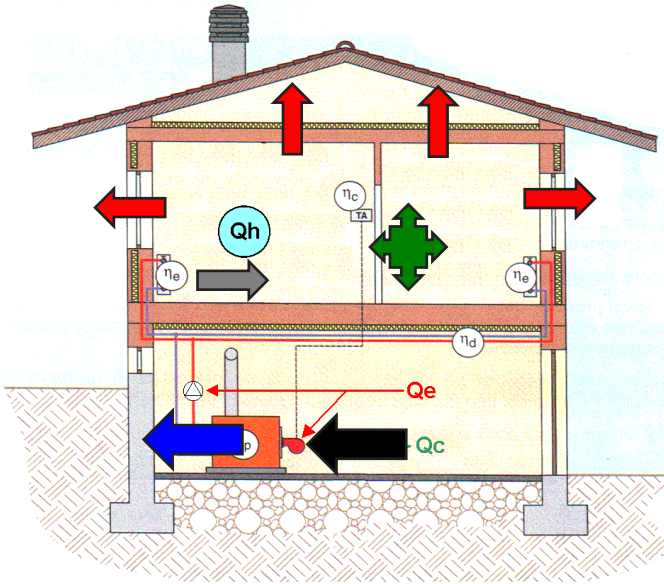
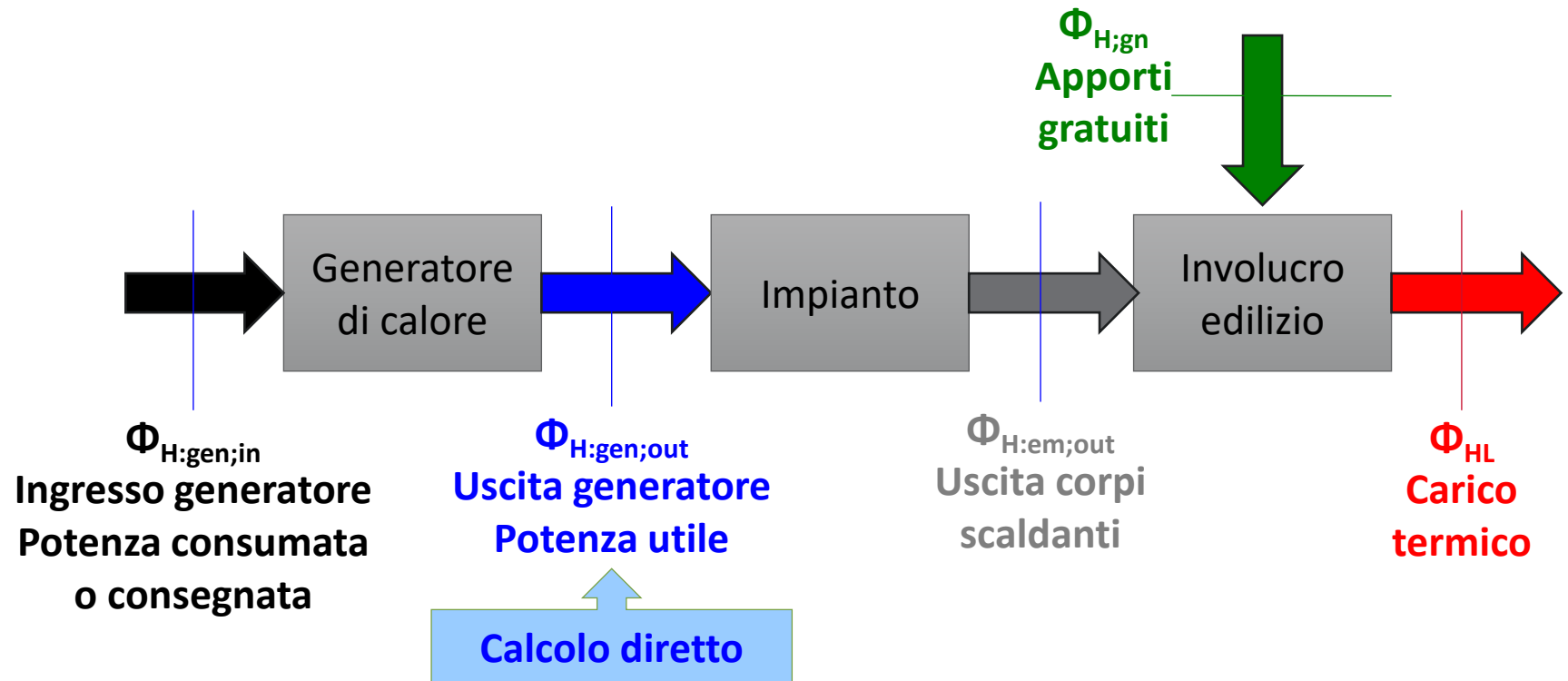


Il calcolo energetico tiene conto di apporti gratuiti e rendimenti impianto

Non introduce elementi di maggiorazione o fattori di sicurezza

Fa riferimento ad un uso standard dell'edificio ma **può tenere conto anche dei transitori**

È un calcolo di potenze medie orarie, **permette solo di verificare se la potenza a disposizione è sufficiente**



ASPETTO	CALDAIA A CONDENSAZIONE	POMPA DI CALORE
Efficienza energetica	Una taglia in più dello stretto necessario può essere anche benefico. Occorre un sovradimensionamento molto elevato per intaccare l'efficienza	Una taglia in più causa molta intermittenza, che riduce molto l'efficienza
Costo di investimento	Costo al kW moderato, poca incidenza sul prezzo complessivo dell'impianto	Costo al kW ancora molto elevato, elevata incidenza sul costo totale dell'impianto
Allacciamenti	Facile ottenere potenze elevate con gas. Non in competizione con altri usi	Impegnativo disporre di potenze elevate e in concorrenza con altri usi
Durata di vita	Nessun impatto significativo	L'intermittenza determina una durata di vita ridotta del compressore
Ingombri	Poco impatto dell'aumento di potenza	Ingombri dell'unità esterna e dell'accumulo minimo di acqua tecnica per limitare l'intermittenza
Rumore	Poco influente	Rumorosità esterna aumenta
Sicurezza, uso di gas	Alcune soglie di potenza determinano oneri aggiuntivi per sicurezza (INAIL, VVFF)	La quantità di refrigerante determina obblighi di tipo amministrativo (Fgas), manutenzione e di sicurezza (volume dei locali di installazione)
...		

- Uso fortemente intermittente dell'edificio: richiede potenze maggiorate per la ripresa
→ uffici e scuole con chiusura settimanale e periodi di vacanza, ...
- Uso ammesso solo in parte della giornata: richiede potenza aggiuntiva per coprire i periodi di indisponibilità della fonte di alimentazione
→ «SMART» grid, nuova EPBD e contributo alla flessibilità della domanda ...
- Potenza per acqua calda sanitaria
→ di solito si traduce in un problema di dimensionamento/verifica dell'accumulo
- In alcuni ambiti: tenere conto di un fattore di copertura parziale del carico da parte della pompa di calore, il resto in carico ad un back-up (riduzione del dimensionamento)
→ La regola in molti paesi, ricorrendo tipicamente a resistenze elettriche
→ In Italia non utilizzato per la scarsa disponibilità di potenza della rete elettrica
→ Potrebbe essere un criterio per l'uso di generatori ibridi.
- ...

- **La progettazione di un impianto a pompa di calore richiede il dialogo con il Committente**
- **La progettazione deve essere fondata sulle esigenze del committente:** abitudini, esigenze, conoscenze tecniche, intenzioni del committente possono determinare scelte progettuali diverse.
- **Il dimensionamento ed il funzionamento dell'impianto devono essere compresi dai committenti:** sono abituati alle caldaie, che sono impianti molto potenti e sovradimensionati e che reagiscono immediatamente quando accesi

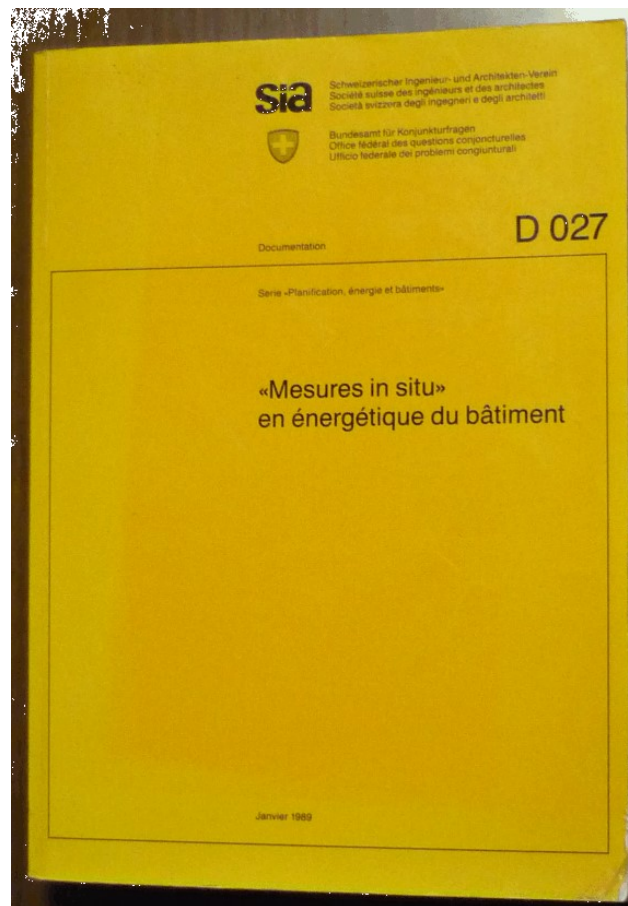
- Fondato sul concetto di «**firma energetica**»: la variazione della potenza richiesta da un edificio dipende per più del 90% dalla temperatura esterna.
- Procedura di calcolo:
 - determinare i fabbisogni mensili all'uscita del generatore $Q_{H;gen;out;m,i}$
 - dividere i fabbisogni mensili per la durata del mese $t_{m,i}$, ottenendo le potenze medie mensili $\Phi_{H;gen;out;m,i}$
 - determinare la **correlazione** (tipicamente, regressione lineare) fra
 - potenza media mensile $\Phi_{H;gen;out;m,i}$
 - e temperatura esterna media mensile $\theta_{e;m,i}$
 - In base alla correlazione, calcolare la potenza richiesta alla temperatura esterna di progetto
- Sorgente di dati possibili
 - Risultati di calcolo mensile per $Q_{H;gen;out;m,i}$ (quando resi disponibili dal software)
 - Bilancio mensile dell'involucro edilizio (per valutare l'incidenza degli apporti) e rendimento impianto

È uno strumento conosciuto soprattutto in Svizzera, Belgio e Francia

In Svizzera se ne sono occupati anche troppo presto quando non c'erano ancora a disposizione strumenti di monitoraggio diffusi a costo abbordabile.

Usata nella EN 153178-3 per la prestazione misurata degli impianti di riscaldamento

Strumento alla base di protocolli di misura e verifica delle prestazioni energetiche (IPMVP, FEMP, ASHRAE...)



4.4 Signature énergétique simple

1 BREVE DESCRIPTION

La signature énergétique simple est un moyen de contrôle facile et rapide pour vérifier globalement tout ce qui se passe dans un immeuble, du point de vue énergétique.

De la même manière qu'un automobiliste vérifie à chaque plein si le rapport entre la distance parcourue et la consommation d'essence est voisin de sa référence de base, l'exploitant de chaufferie doit effectuer un rapport similaire.

Ainsi, chaque semaine, l'exploitant doit d'abord connaître les besoins de chauffage locaux et relever sa consommation sur le compteur de gaz, d'électricité ou de chauffage à distance. Pour les brûleurs à mazout, il existe des compteurs adaptés. Ensuite, il doit pointer, sur un graphique spécial, la relation besoins de chauffage/consommation (fig. 1). Les points représentatifs de chaque semaine s'alignent sur une droite, la signature énergétique simple; ceux qui sont mal alignés indiquent une anomalie qu'il faut identifier.

En fonction de la gestion de la chaufferie et du vécu de l'immeuble qui est connu de l'exploitant, la consommation est expliquée et, si nécessaire, les mesures adéquates doivent être prises.

La signature énergétique simple est destinée à TOUS LES EXPLOITANTS DE CHAUFFERIES ET PROPRIETAIRES D'IMMEUBLES, de la petite villa familiale au gros complexe industriel.

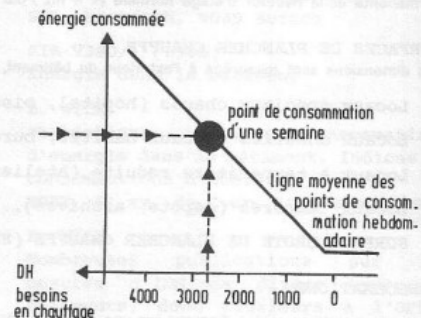


Figure 1 : Principe de la signature énergétique.

2. BUT DE LA MESURE

Ses buts sont multiples. Le travail visant à effectuer les relevés de consommation et l'analyse succincte qui en découle est directement utile à l'exploitant qui sera renseigné au fur et à mesure sur la bonne ou mauvaise marche de son installation.

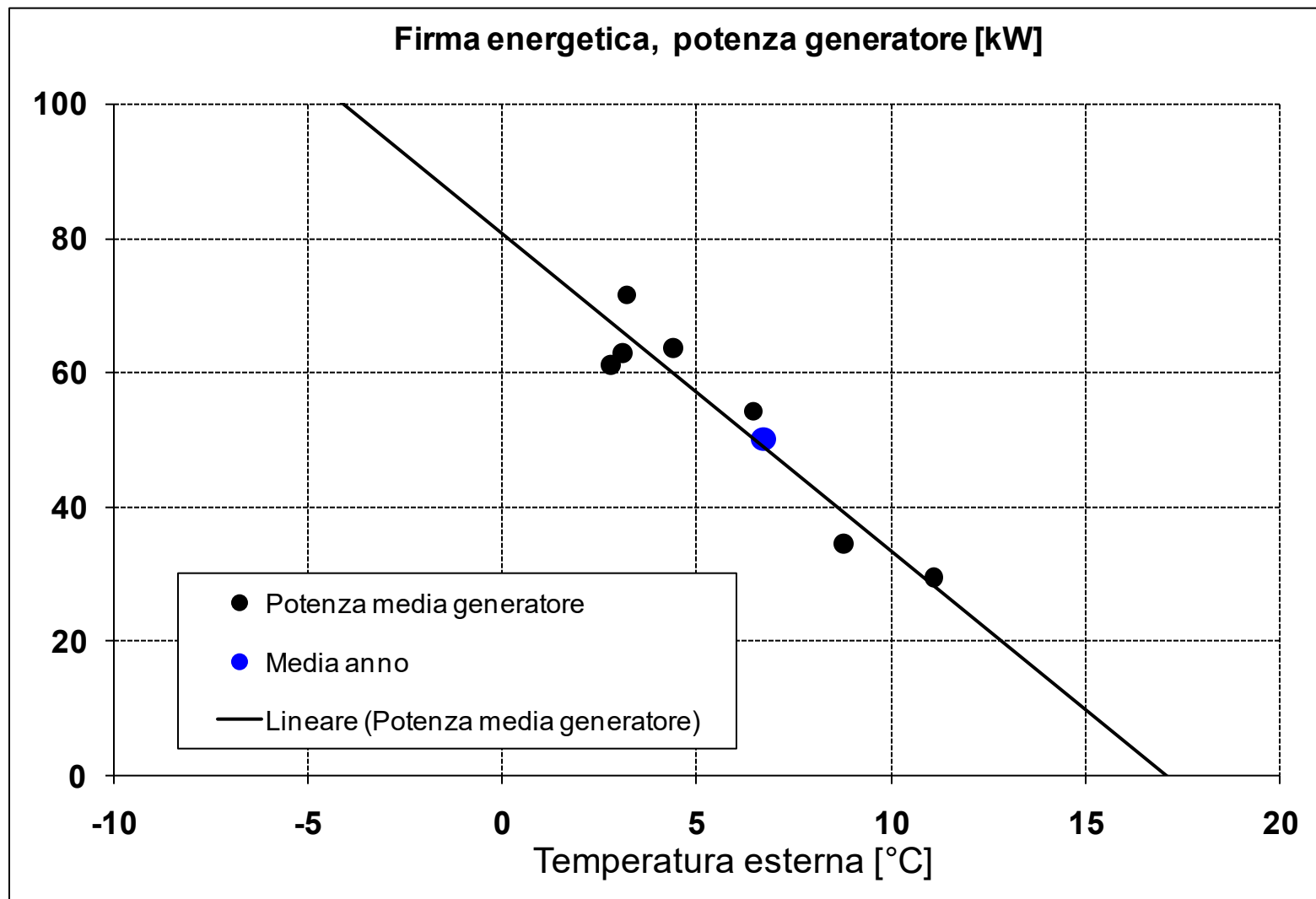
Pour définir les buts et la nécessité d'exécuter la signature énergétique, on qualifiera cette dernière de la manière suivante :

Elle est le témoin de l'ETAT ENERGETIQUE de l'immeuble et des INSTALLATIONS TECHNIQUES : l'examen général qui en découle permet d'émettre un diagnostic de l'état des constituants. En cas de modification d'un des composants, elle déterminera l'efficacité de cette dernière et justifiera les prévisions d'amortissement de la dépense.

FIRMA ENERGETICA CON LETTURE DEL COMBUSTIBILE - METANO

Data		15/10/03	13/11/03	07/01/04	12/01/04	29/01/04	09/02/04	15/03/04	20/04/04	Stagione
Giorni periodo	g		29	55	5	17	11	35	36	188
Ore periodo	h		696	1.320	120	408	264	840	864	4.512
Ore/giorno attivazione impianto	h/gg		17	17	17	17	17	17	17	
Tempo attivazione impianto	h		493	935	85	289	187	595	612	3.196
Contatore metano	Nm ³	0	1.738	6.963	7.496	9.364	10.744	14.630	16.475	
Consumo metano	Nm ³		1.738	5.225	533	1.868	1.380	3.886	1.845	16.475
	MWh		16,9	50,7	5,2	18,1	13,4	37,7	17,9	159,8
Potenza media generatore	kW		34,2	54,2	60,8	62,7	71,6	63,3	29,2	50,0
Potenza media generatore su 24 ore	kW		24,2	38,4	43,1	44,4	50,7	44,9	20,7	35,4
Temperatura esterna	°C		8,8	6,4	2,8	3,1	3,2	4,4	11,1	6,7

- **Rilevare** periodicamente i consumi
- **Calcolare la potenza media** nell'intervallo
- **Rilevare la temperatura esterna** media in ciascun intervallo (ARPA, ...) sulle 24 ore
- **Costruire il grafico** della potenza in funzione della temperatura esterna



Più fa freddo... più si consuma!

Tanti calcoli complicati rischiano di far perdere di vista i concetti fondamentali ed i fattori di influenza principali.

La retta interpolante può essere generata facilmente con Excel usando la funzione «linea di tendenza» del grafico

La variazione di potenza richiesta dall'edificio è giustificata per più del 90% dalla temperatura esterna

- **Dato di consumo:** letture del contatore di metano → data e consumo (o del contatore su un bruciatore di gasolio)
 - Differenza di data: giorni trascorsi
→ durata dell'intervallo fra i rilievi
 - Tenendo conto della durata giornaliera
→ **ore di accensione del generatore**
 - Differenza di lettura del contatore:
→ gas consumato → kWh consumati
 - kWh consumati / ore accensione generatore (14...24 ore/giorno)
→ potenza media del generatore nel periodo
- **Dato climatico**
 - Temperatura esterna media sulle 24 ore nello stesso periodo
- **Costruzione del grafico consumo/clima**
 - **Potenza del generatore** / **temperatura esterna**
- **Frequenza ottima delle letture: settimanali**
 - **Quotidiani:** influenzato da fattori transitori
 - **Settimanali:** ottima media delle abitudini e tempo congruo per seguire il clima ed assorbire i transitori dell'involucro edilizio
 - **Mensili:** buon allineamento dei punti, scarse indicazioni operative, ottimo come riferimento
 - **Annuale:** solo come primo riferimento

Le letture dovrebbero avere tutte la stessa periodicità per evitare di dare pesi diversi alle letture

La firma energetica deve essere costruita solo con dati relativi ad un solo tipo di funzionamento dell'impianto

I dati devono essere filtrati classificandoli in almeno tre categorie

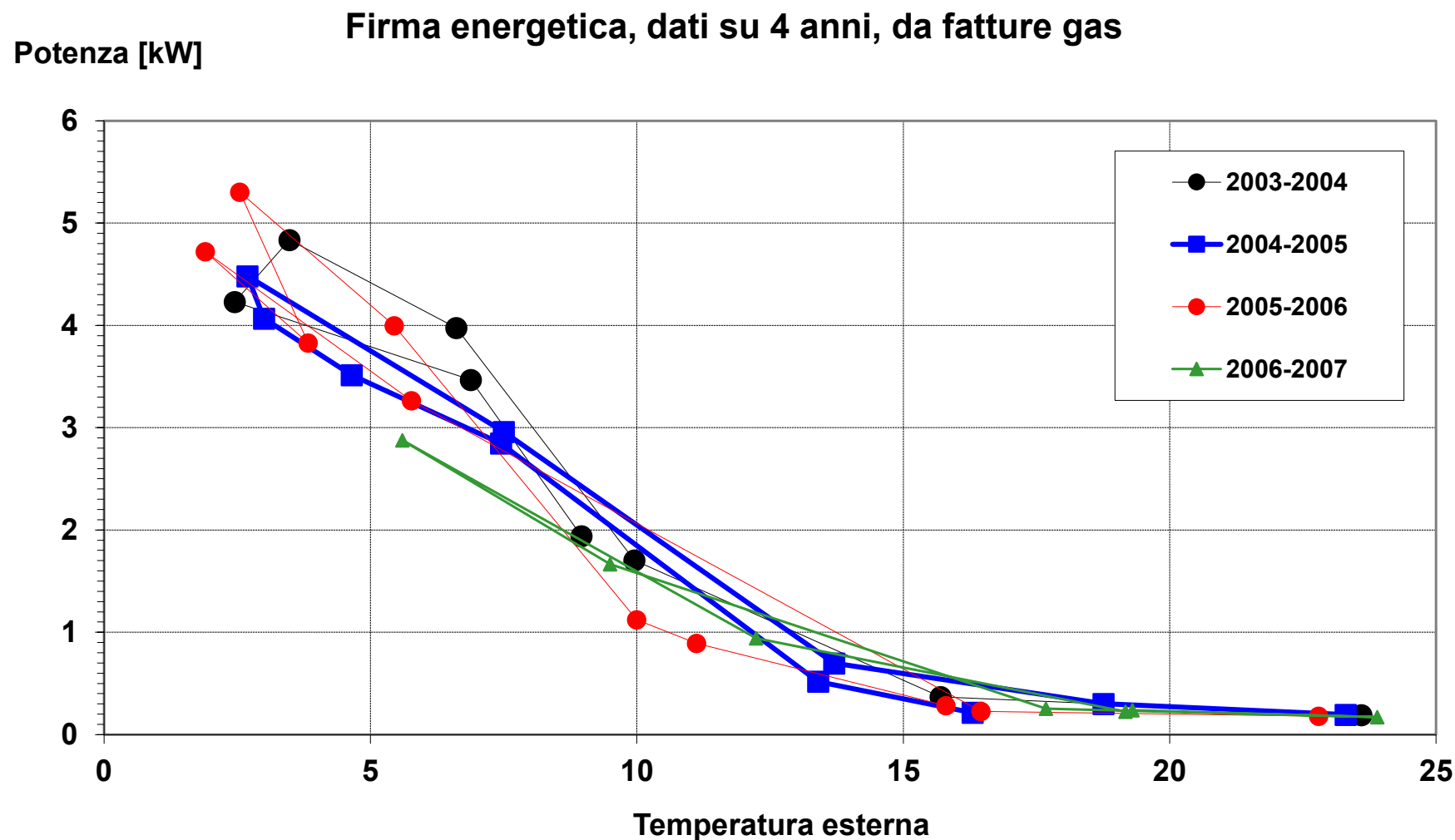
–H **sicuramente con riscaldamento**

–NH **sicuramente senza riscaldamento**

–HNH **casi dubbi (intervalli aprile + ottobre)**

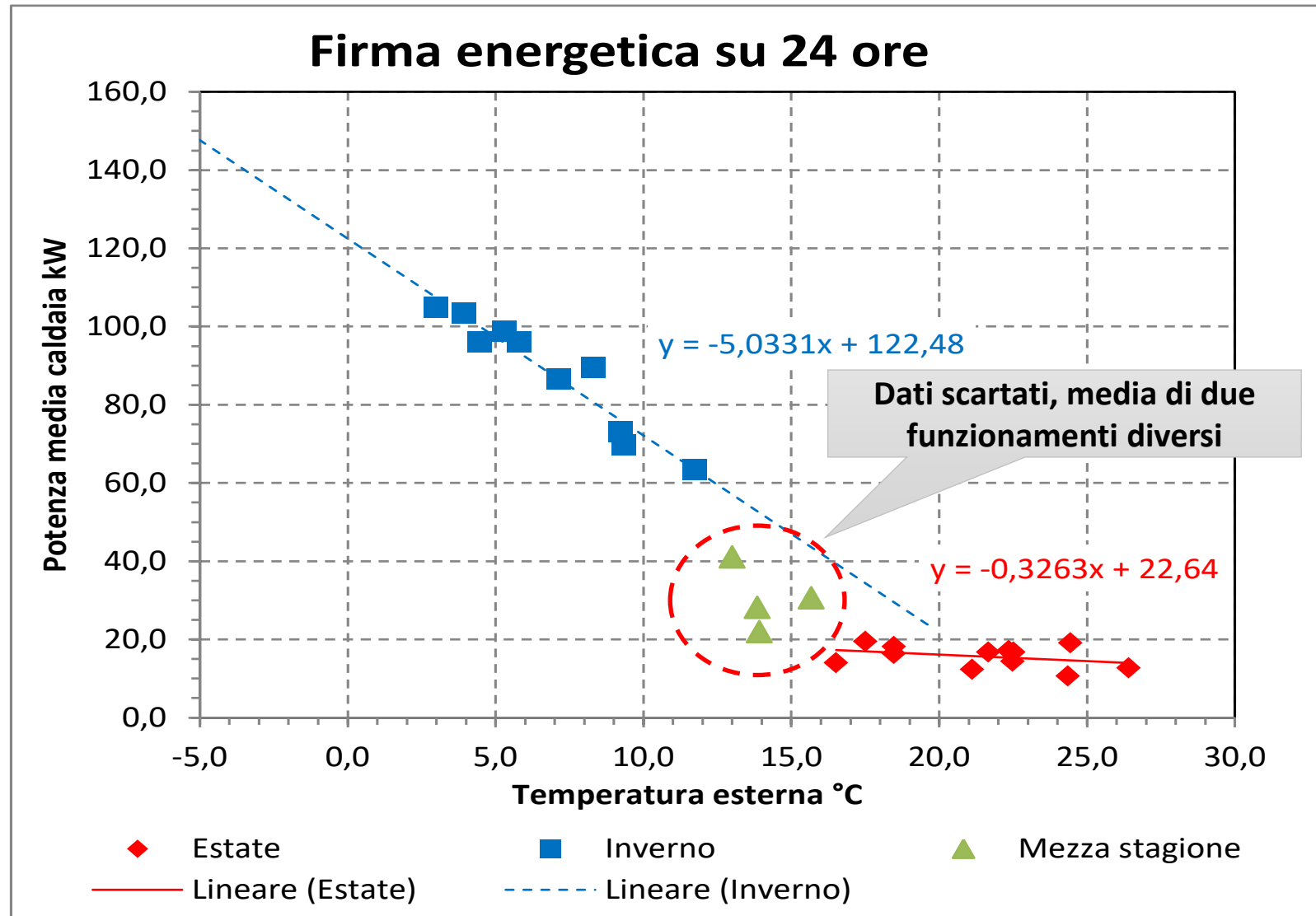
- Costruire una firma energetica invernale con i dati H (anche di più anni)
- Costruire una firma energetica estiva con i dati NH (anche di più anni)
- Effettuare la correlazione separatamente
- A meno delle dispersioni costanti dell'impianto, l'intersezione delle due firme fornisce l'indicazione delle «condizioni di non-riscaldamento»

<i>Initial date</i>	<i>Final date</i>	<i>Initial meter reading or final stock</i>	<i>Final meter reading or initial stock</i>	<i>Source of delivered energy data</i>	<i>Checked</i>	<i>Deliveries</i>	<i>Average ext. Temp.</i>	<i>Source of ext temp.</i>	<i>Indoor temp.</i>	<i>Source of internal temp. data</i>	<i>Type of use during meas. Interval</i>
$D_{meas,i,t;ini}$	$D_{meas,i,t;ini}$	$R_{cr,i,t;ini}$ $M_{stock;cr,i,t;fin}$	$R_{cr,i,t;fin}$ $M_{stock;cr,i,t;ini}$			$M_{sup;cr,i,t}$	$\vartheta_{ext,t}$		$\vartheta_{int,t}$		
[day]	[day]	m ³ /kg/l	m ³ /kg/l		OK/KO	m ³ /kg/l	°C		°C		
26/06/2002	27/08/2002	10657	10690	Inv	OK	0	23,25	METEO		USER	nH
27/08/2002	04/11/2002	10690	10742	Inv	OK	0	16,53	METEO			HnH
04/11/2002	06/12/2002	10742	10868	Inv	OK	0	10,70	METEO	13,6	USER	H
06/12/2002	04/01/2003	10868	11054	Inv	OK	0	5,80	METEO	13,6	USER	H
04/01/2003	10/01/2003	11054	11108	Inv	OK	0	3,30	METEO	13,6	USER	H
10/01/2003	01/02/2003	11108	11310	Inv	OK	0	3,35	METEO	13,6	USER	H
01/02/2003	22/02/2003	11310	11622	Inv	OK	0	2,67	METEO	13,6	USER	H
22/02/2003	04/03/2003	11622	11733	Inv	OK	0	5,85	METEO	13,6	USER	H
04/03/2003	02/05/2003	11733	12066	Inv	OK	0	11,28	METEO			HnH
02/05/2003	04/05/2003	12066	12067	Inv	OK	0	19,30	METEO			nH
04/05/2003	01/07/2003	12067	12095	Inv	OK	0	23,70	METEO			nH
01/07/2003	19/09/2003	12095	12124	Inv	OK	0	26,80	METEO			nH
19/09/2003	16/10/2003	12124	12138	Inv	OK	0	19,50	METEO			HnH
16/10/2003	18/11/2003	12138	12297	Inv	OK	0	8,96	METEO	13,6	USER	H



Le curve non sono perfettamente sovrapposte a causa di cambiamenti nell'uso dell'edificio.

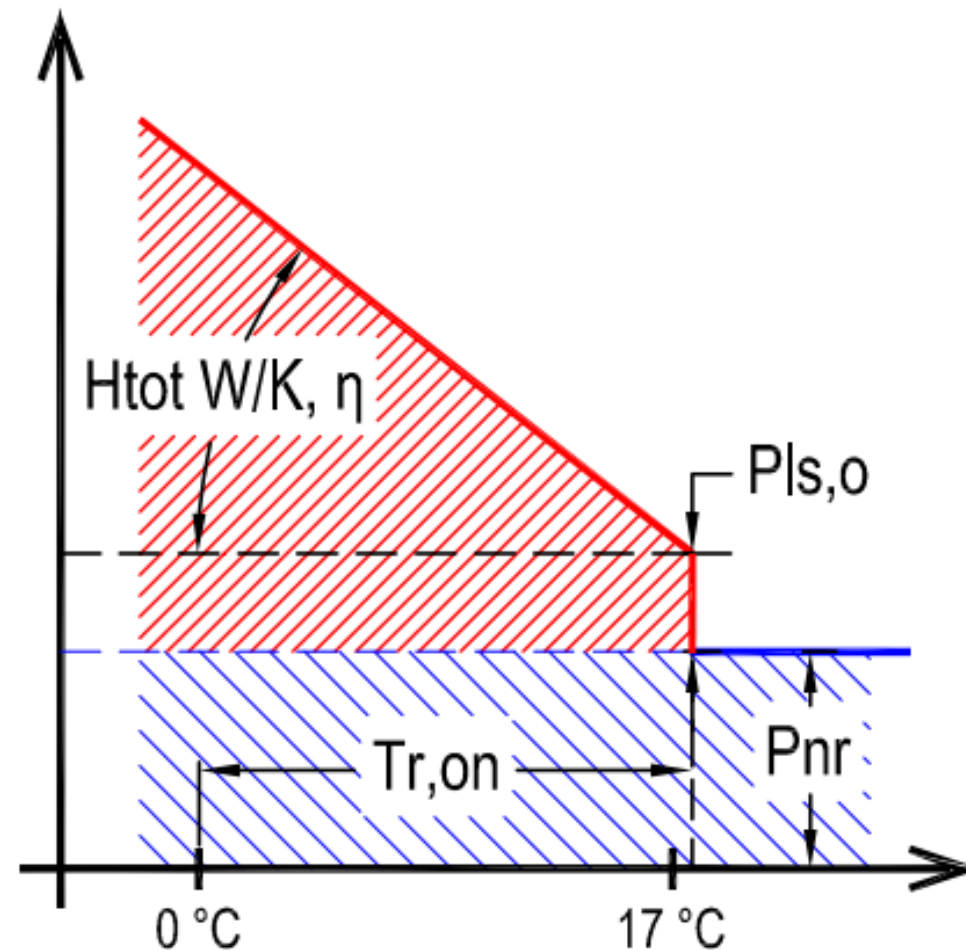
	Data lettura iniziale	Lettura iniziale	Data lettura finale	Lettura finale	Consumo	Costo	Prezzo specifico	Tmm	kW NH	kW H
		m ³		m ³	m ³	€	€/m ³	°C		
Maggio	30/04/2014	37477	31/05/2014	38988	1511	1311,01	0,868	17,5	19,50	
Giugno	31/05/2014	38988	30/06/2014	40271	1283	1081,45	0,843	22,4	17,11	
Luglio	30/06/2014	40271	31/07/2014	41573	1302	1012,98	0,778	22,5	16,80	
Agosto	31/07/2014	41573	31/08/2014	42876	1303	979,25	0,752	21,7	16,81	
Settembre	31/08/2014	42876	30/09/2014	44238	1362	1098,94	0,807	18,5	18,16	
Ottobre	30/09/2014	44238	31/10/2014	46613	2375	1874,98	0,789	15,7		
Novembre	31/10/2014	46613	30/11/2014	51363	4750	3911,17	0,823	11,7		63,33
Dicembre	30/11/2014	51363	31/12/2014	58799	7436	5837,6	0,785	5,8		95,95
Gennaio	31/12/2014	58799	31/01/2015	66815	8016	6552,81	0,817	3,9		103,43
Febbraio	31/01/2015	66815	28/02/2015	73731	6916	5654,99	0,818	5,3		98,80
Marzo	28/02/2015	73731	31/03/2015	79394	5663	4828,55	0,853	9,2		73,07
Aprile	31/03/2015	79394	30/04/2015	82476	3082	2357,88	0,765	13,0		
Maggio	30/04/2015	82476	31/05/2015	83749	1273	1097,93	0,862	18,5	16,43	
Giugno	31/05/2015	83749	30/06/2015	84827	1078	871,25	0,808	22,5	14,37	
Luglio	30/06/2015	84827	31/07/2015	85810	983	787,46	0,801	26,4	12,68	
Agosto	31/07/2015	85810	31/08/2015	87292	1482	1173,4	0,792	24,5	19,12	

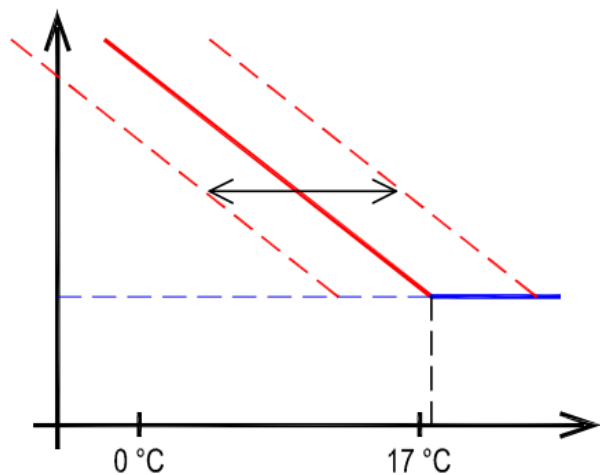


Se non venissero scartati i dati indicati in verde, non si individuerebbe correttamente la firma energetica invernale.

La firma estiva ha un R^2 basso in quanto i consumi diversi dal riscaldamento sono tendenzialmente costanti

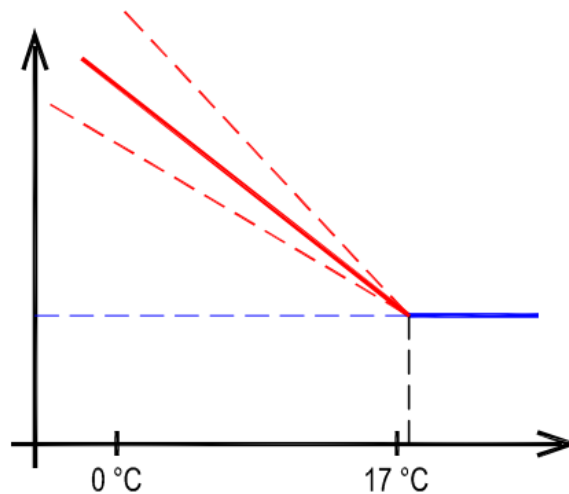
- **Pendenza della retta H_{tot}** → effetti proporzionali alla temperatura
 - Dispersioni dell'edificio
 - Perdite proporzionali dell'impianto
- **Ascissa ($T_{r,on}$) del vertice dell'angolo**
 - Temperatura esterna alla quale si inizia a riscaldare l'edificio
 - Dipende dalla **temperatura interna**
 - Dipende dagli **apporti interni**
 - Di solito, $T_{r,on} = T_{int} - 3...4\text{ °C}$
- **Ordinata (kW) del vertice dell'angolo**
 - Usi diversi dal riscaldamento P_{nr}
 - Dispersioni fisse (tipo di rete di distribuzione)





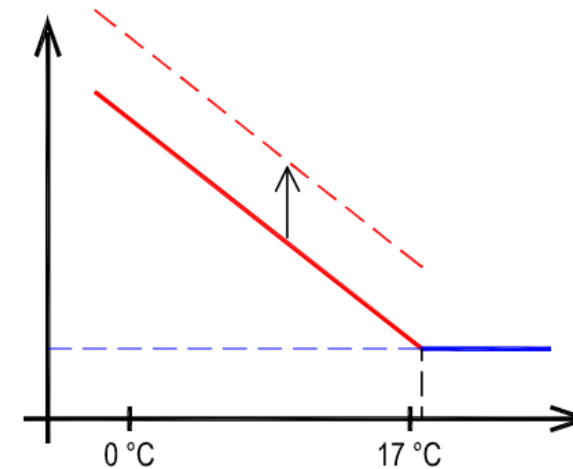
Modifica della temperatura interna degli ambienti riscaldati

La firma invernale si sposta orizzontalmente di un pari numero di gradi.



Modifica del rendimento dell'impianto o delle dispersioni dell'edificio

La pendenza della firma invernale diventa più ripida se aumentano le dispersioni o se diminuisce l'efficienza



Modifica delle dispersioni costanti dell'impianto

La firma invernale si sposta verso l'alto in caso di aumento

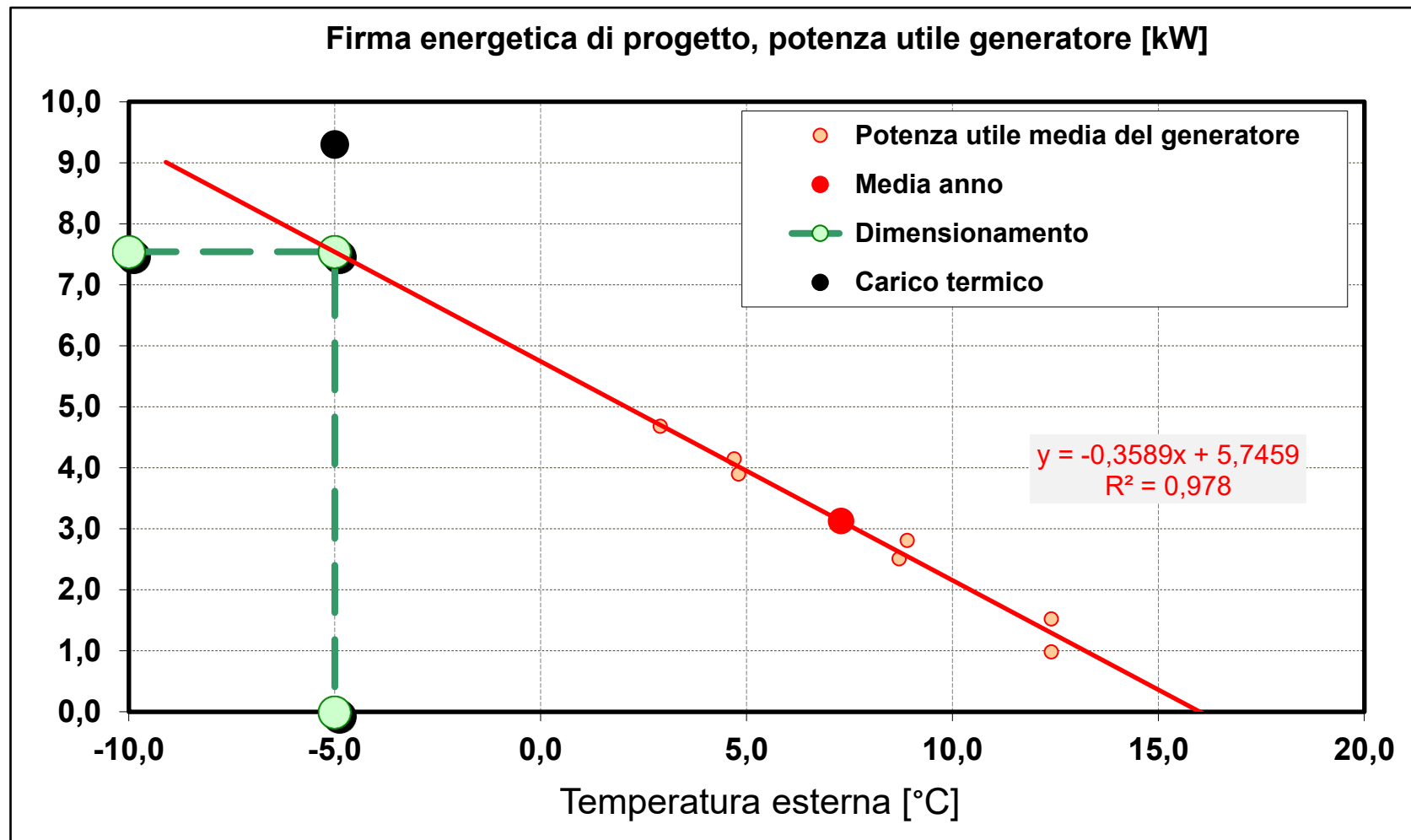
- Procedura base:

- Eseguire il calcolo dei fabbisogni e degli impianti con il metodo UNI-TS 11300
- Estrarre i seguenti dati per ogni intervallo di calcolo mensile
 - Temperatura esterna $\theta_{e,m}$
 - Energia richiesta all'uscita del sistema di generazione $Q_{H;gen;out,m}$
 - Durata dell'intervallo di calcolo t_m
- Calcolare la potenza media richiesta nell'intervallo di calcolo $\Phi_{H;gen;out,m} = Q_{H;gen;out,m} / t_m$
- Effettuare una regressione lineare per identificare la funzione $\Phi_{H;gen;out} = f(\theta_e)$
- Calcolare il valore della funzione in corrispondenza della temperatura di dimensionamento $\Phi_{H;gen;out,des} = f(\theta_{e,des})$

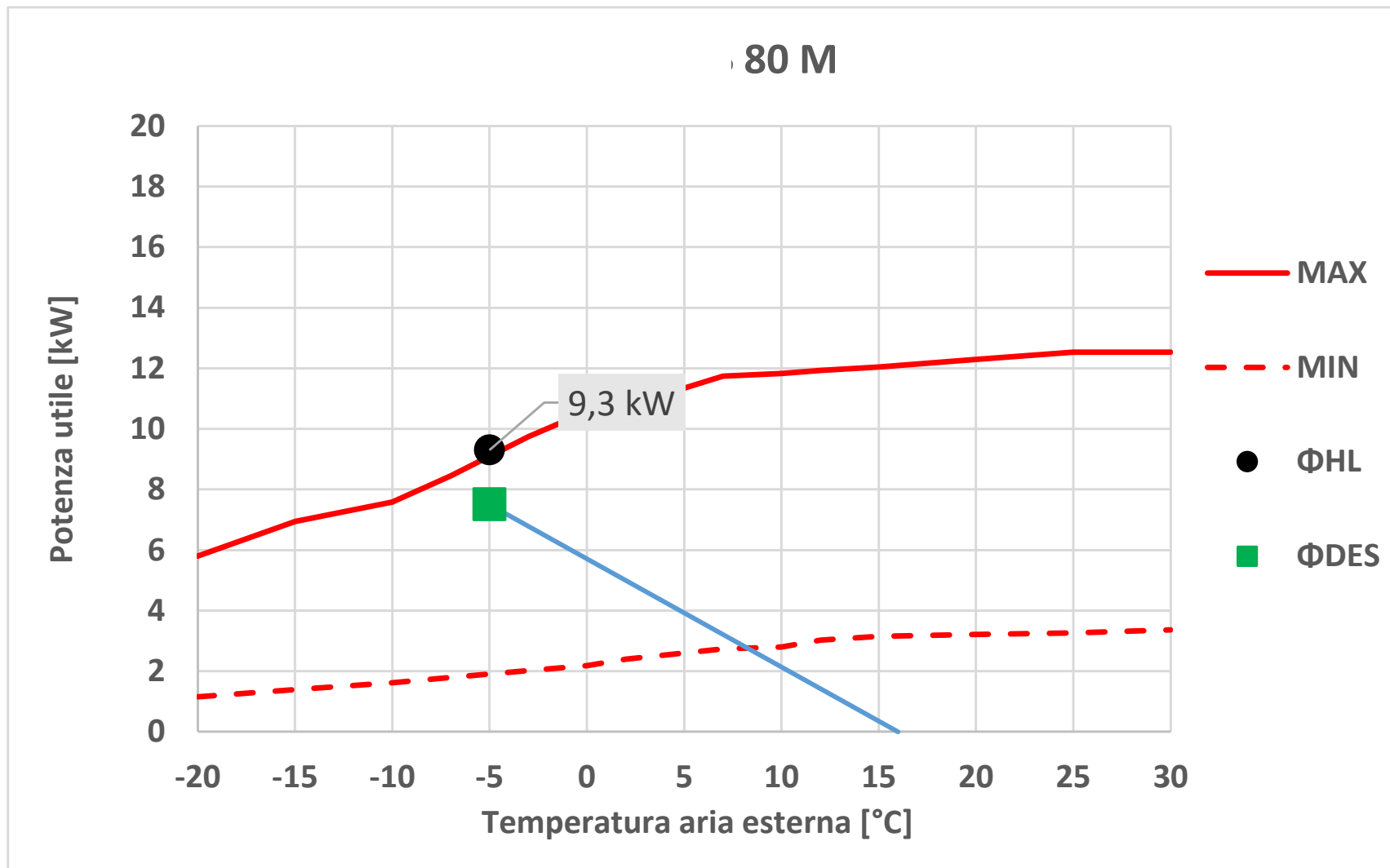
Il metodo può essere utilizzato anche con dei calcoli orari ma è preferibile eseguire le interpolazioni dei dati aggregati per giorno o per settimana.

FIRMA ENERGETICA DI PROGETTO E DIMENSIONAMENTO DEL GENERATORE IN BASE A $Q_p = Q_{gen,out}$									
Mese		Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Stagione
Giorni periodo	g	17	30	31	31	28	31	21	189
Temperatura esterna	°C	12,4	8,9	4,7	2,9	4,8	8,7	12,4	7,3
Gradi giorno stagione		129	333	474	530	426	350	160	2.402
Ore periodo	h	408	720	744	744	672	744	504	4.536
Ore/giorno attivazione impianto	h/gg	24	24	24	24	24	24	24	
Tempo attivazione impianto	h	408	720	744	744	672	744	504	4.536
Fabbisogno di energia utile richiesta in uscita al generatore Q_p (fabbisogno della distribuzione)	kWh	621	2.022	3.086	3.482	2.621	1.868	495	14.195
	kWh	621	2.022	3.086	3.482	2.621	1.868	495	14.195
Potenza utile media del generatore	kW	1,5	2,8	4,1	4,7	3,9	2,5	1,0	3,1
Temperatura esterna di progetto	°C	-5							
Potenza utile di progetto del generatore	kW	7,5							

		Fabbisogni Termici					
Mese	Giorni	QH,sys,out [kWh]	QH,sys,out [kWh]	QH,sys,out,intern [kWh]	QH,sys,out,cont [kWh]	QH,sys,out,corr [kWh]	QH,gen,out [kWh]
gennaio	31	3323	3284	3284	3284	3284	3477
febbraio	28	2506	2471	2471	2471	2471	2616
marzo	31	1796	1759	1759	1759	1759	1863
aprile	15	482	465	465	465	465	492
maggio	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	602	583	583	583	583	617
novembre	30	1940	1904	1904	1904	1904	2016
dicembre	31	2949	2910	2910	2910	2910	3081
Totali	183	13598	13377	13377	13377	13377	14162



- Il carico termico è stato ridotto di quasi 2 kW.
- Non è molto, come mai?



In realtà con la 80M il dimensionamento non è tirato ma persino un po' abbondante

Potenza massima assorbita 4,4 kW
Ci vuole ancora il contatore da 6 kW

L'edificio esempio ha buone trasmittanze ma $Q_{H;nd} = 72,9 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$ a causa del cattivo orientamento e della scarsa estensione delle superfici vetrate a sud.

Passava quasi la verifica 2015 : $Q_{H;nd;max} = 71,34 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$.

Nel caso di edifici ben progettati, ci dovrebbero essere molti più apporti gratuiti solari per ottenere una riduzione di fabbisogno di energia utile.

Gli apporti gratuiti sono a rischio, perché la loro disponibilità nelle giornate più fredde dipende dalle caratteristiche del clima e dal comportamento dell'utente (aprire gli scuri).

Per valutare la possibile incidenza, occorre ripetere il calcolo della firma energetica con:

- dispersioni
- energia utile mensile

Per evidenziare graficamente il livello di rischio.

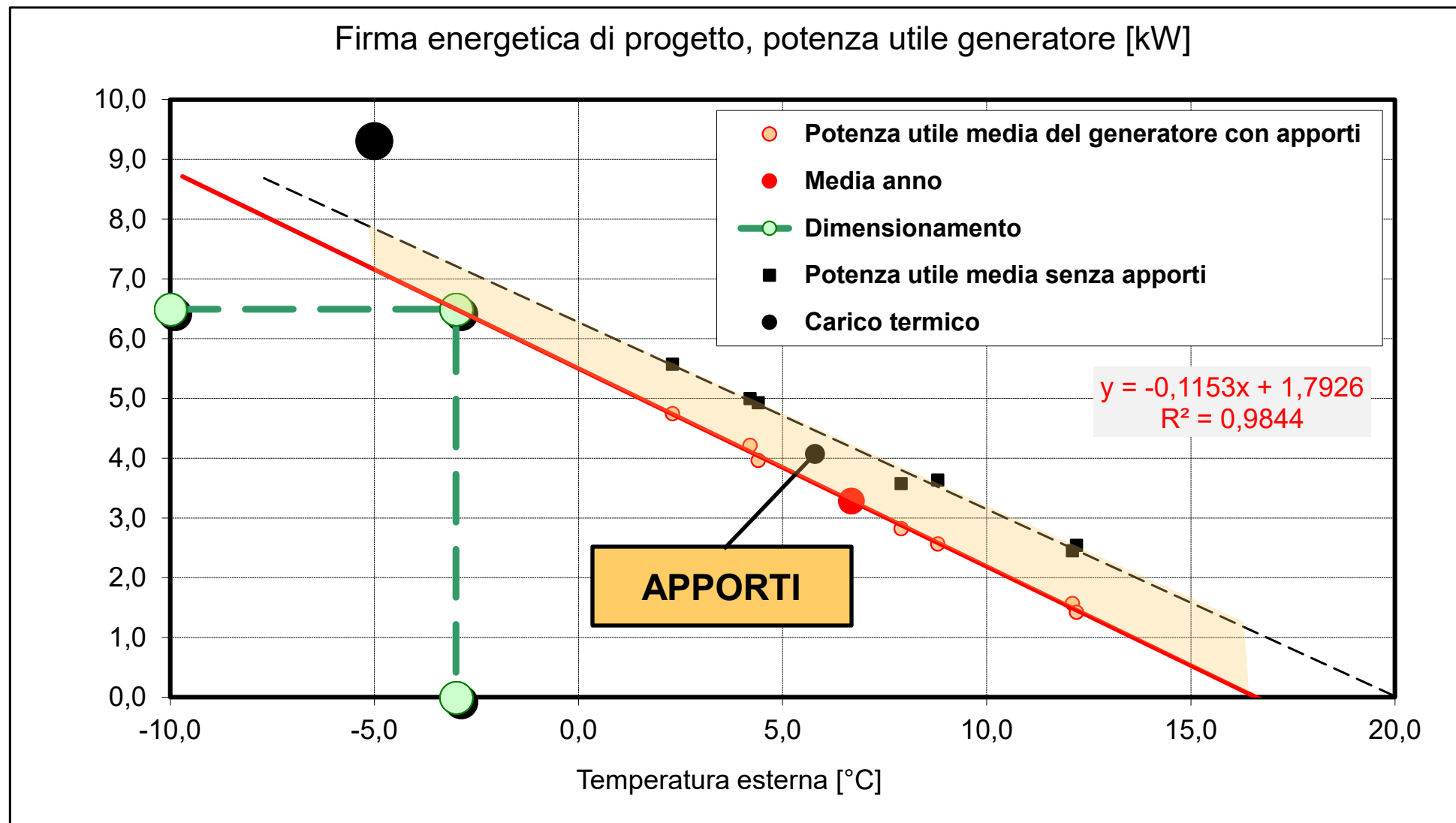
<div>Sommario</div> <div>Dettagli</div> <div>Scambi termici per componente</div> <div>Riassunto zone</div>											
Dispersioni, apporti ed energia utile				Dispersioni				Apporti			
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$ [°C]	$Q_{h,tr}$ [kWh]	$Q_{h,r}$ [kWh]	$Q_{h,ve}$ [kWh]	$Q_{h,ht}$ [kWh]	$Q_{sol,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{h,nd}$ [kWh]	
ottobre	17	12,4	694	45	202	941	156	184	340	602	
novembre	30	8,9	1851	86	519	2456	192	324	516	1940	
dicembre	31	4,7	2654	104	739	3497	214	335	549	2949	
gennaio	31	2,9	2966	110	826	3901	243	335	578	3323	
febbraio	28	4,8	2353	99	663	3115	307	302	609	2506	
marzo	31	8,7	1882	116	546	2544	414	335	748	1796	
aprile	15	12,0	617	58	186	861	220	162	382	482	

Risultati stagionali (riscaldamento invernale)											
Dispersioni				Apporti				Bilancio energetico			
Dispersioni per trasmissione	$Q_{h,tr}$	13017	kWh	Apporti solari	$Q_{sol,w}$	1745	kWh	Energia utile	$Q_{h,nd}$	13598	kWh
Dispersioni per extraflusso	Q_r	618	kWh	Apporti interni	Q_{int}	1976	kWh	Consumo specifico		72,90	kWh / m ²
Dispersioni per ventilazione	$Q_{h,ve}$	3680	kWh	Apporti aggiuntivi	Q_i	0	kWh	Consumo specifico		13,42	kWh / m ³
Dispersioni totali	$Q_{h,ht}$	17315	kWh	Apporti totali	Q_{gn}	3722	kWh	Stagione di riscaldamento dal 15 ottobre al 15 aprile giorni 183			

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	17	30	31	31	28	31	15	183
Temperatura esterna	°C	12,1	7,9	4,2	2,3	4,4	8,8	12,2	6,7
Gradi giorno stagione		134	368	490	549	437	347	117	2.442
Ore periodo	h	408	731	744	744	672	744	360	4.403
Ore/giorno attivazione impianto	h/gg	24	24	24	24	24	24	24	
Tempo attivazione impianto	h	408	731	744	744	672	744	360	4.403
Dispersioni Q_L	kWh	941	2.456	3.497	3.901	3.115	2.544	861	17.315
Energia utile Q_H		602	1.940	2.949	3.323	2.506	1.796	482	13.598
Dispersioni Q_L	kWh	941	2.456	3.497	3.901	3.115	2.544	861	17.315
Energia utile Q_H	kWh	602	1.940	2.949	3.323	2.506	1.796	482	13.598
Potenza utile media del generatore senza apporti	kW	2,5	3,6	5,0	5,6	4,9	3,6	2,5	4.179
Potenza utile media del generatore con apporti	kW	1,6	2,8	4,2	4,7	4,0	2,6	1,4	3,3

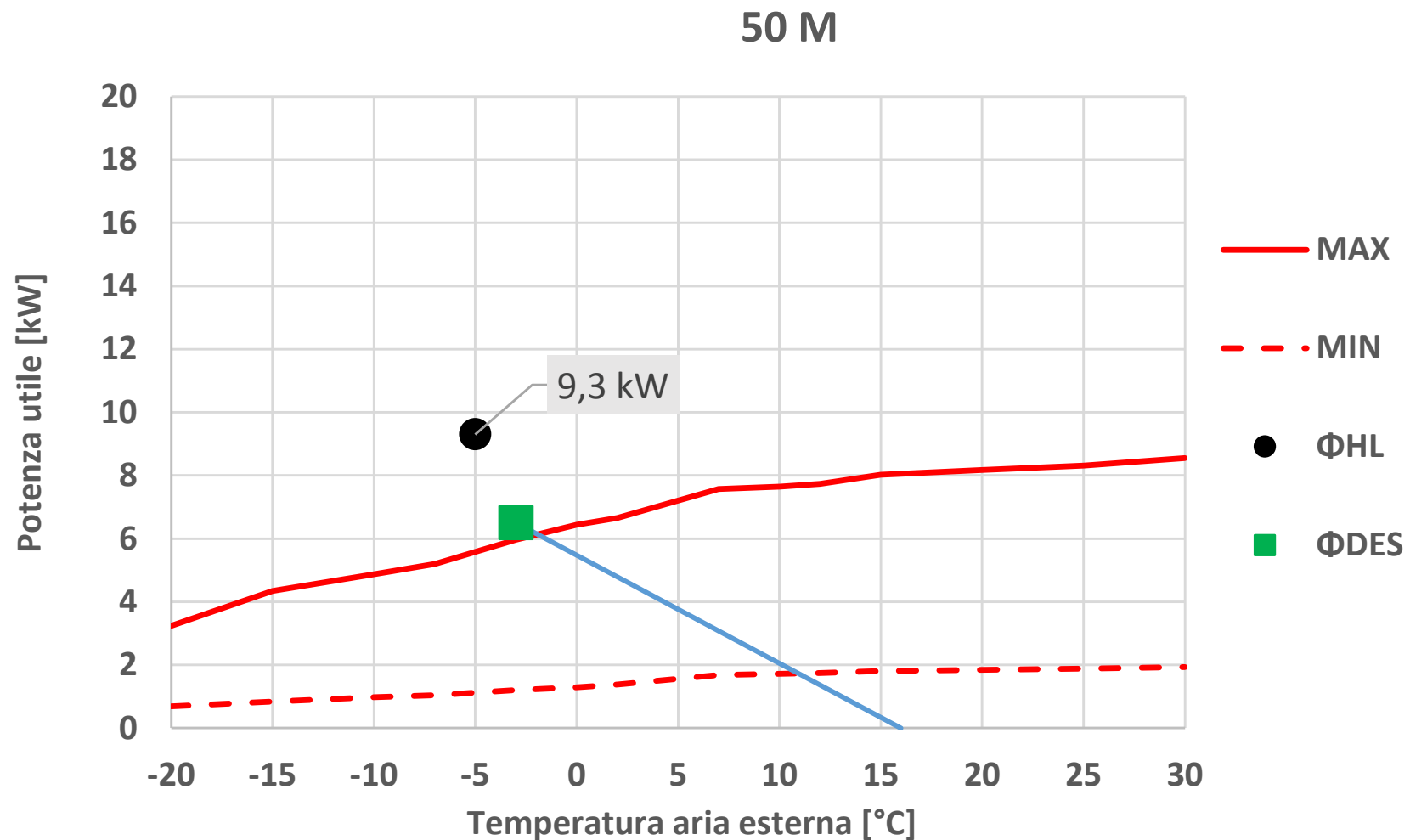
Rendimento di emissione		0,97
Rendimento di regolazione		0,99
Rendimento di distribuzione		0,98
Temperatura esterna di progetto	°C	-3
Potenza utile di progetto del generatore	kW	6,5



Si può ulteriormente ridurre il dimensionamento facendo riferimento alle temperature medie giornaliere qualora l'edificio abbia una elevata costante di tempo

Se si tiene conto del recuperatore di calore della ventilazione il dimensionamento scende ancora

Valutare questo «rischio»?



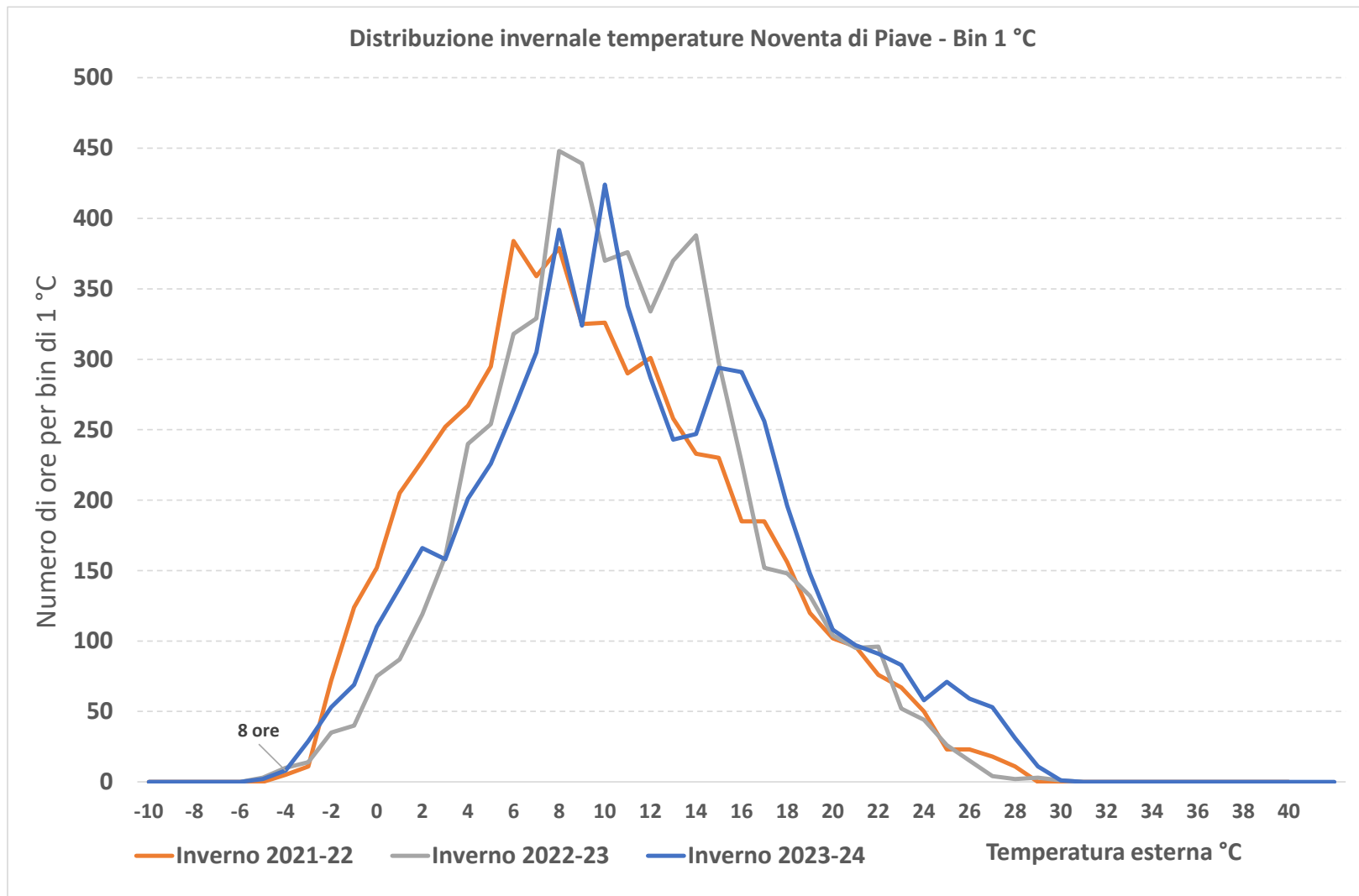
Potenza massima assorbita: 3,0 kW

Si potrebbe anche dimensionare in questo modo ...

Potenza massima assorbita 3,0 kW

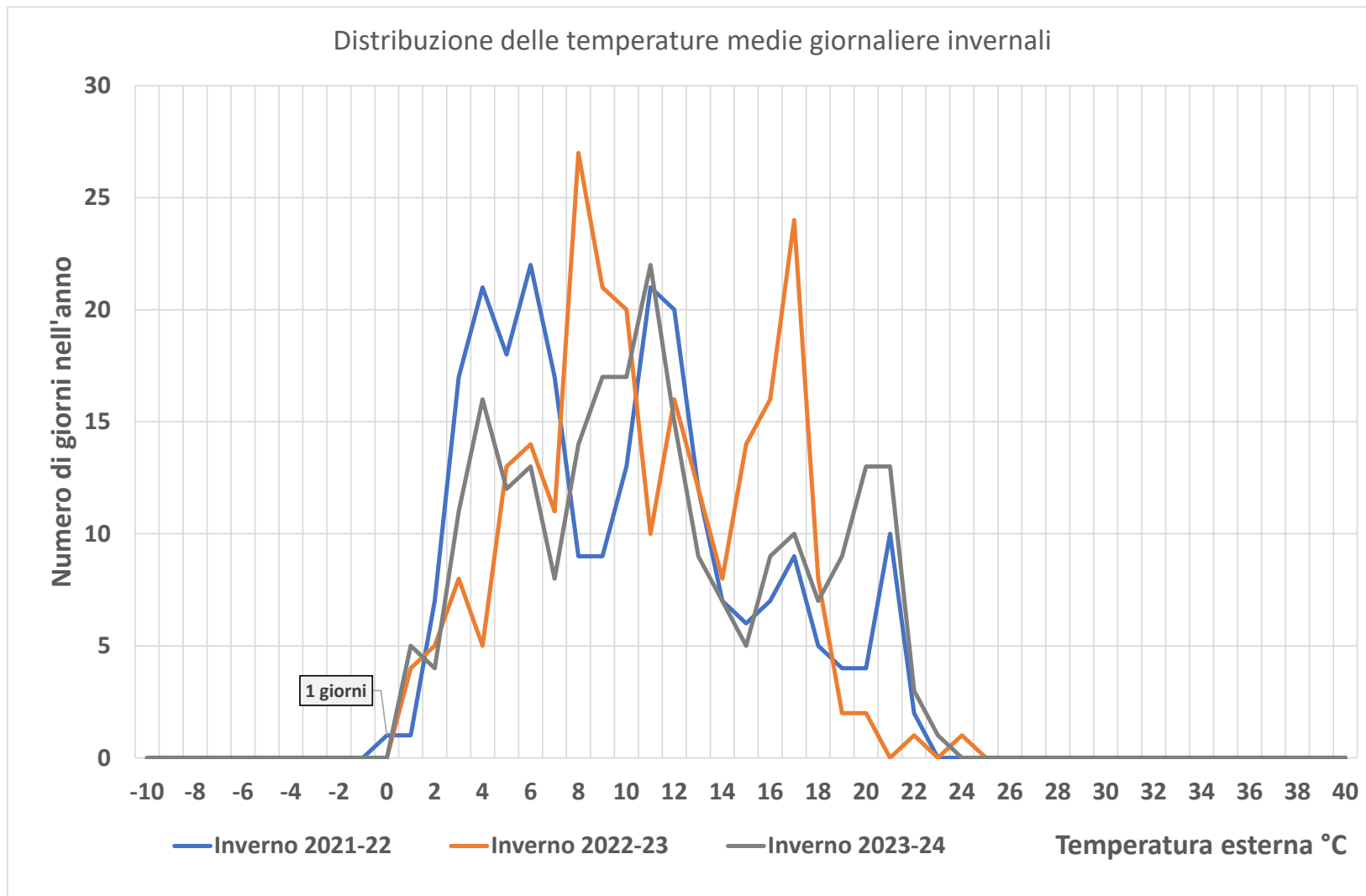
... ma occorre che il Committente sia ben informato...

- La temperatura di progetto è un valore determinato su base statistica: temperatura che si verifica per un certo numero di ore ogni numero di anni.
- Il valore è stato calcolato anni fa, è ancora valido?
- La coibentazione degli edifici nuovi e ristrutturati è tale da livellare la temperatura interna a livello giornaliero → far riferimento alle temperature orarie o alle temperature giornaliere?
- In alcuni paesi (Svizzera) la temperatura di progetto va corretta in base alla costante di tempo dell'edificio: bonus in aumento fino a 3 °C.
- Esempio nelle slide seguenti: confronto fra i dati climatici rilevati negli ultimi due anni e la temperatura di progetto di -5 °C.

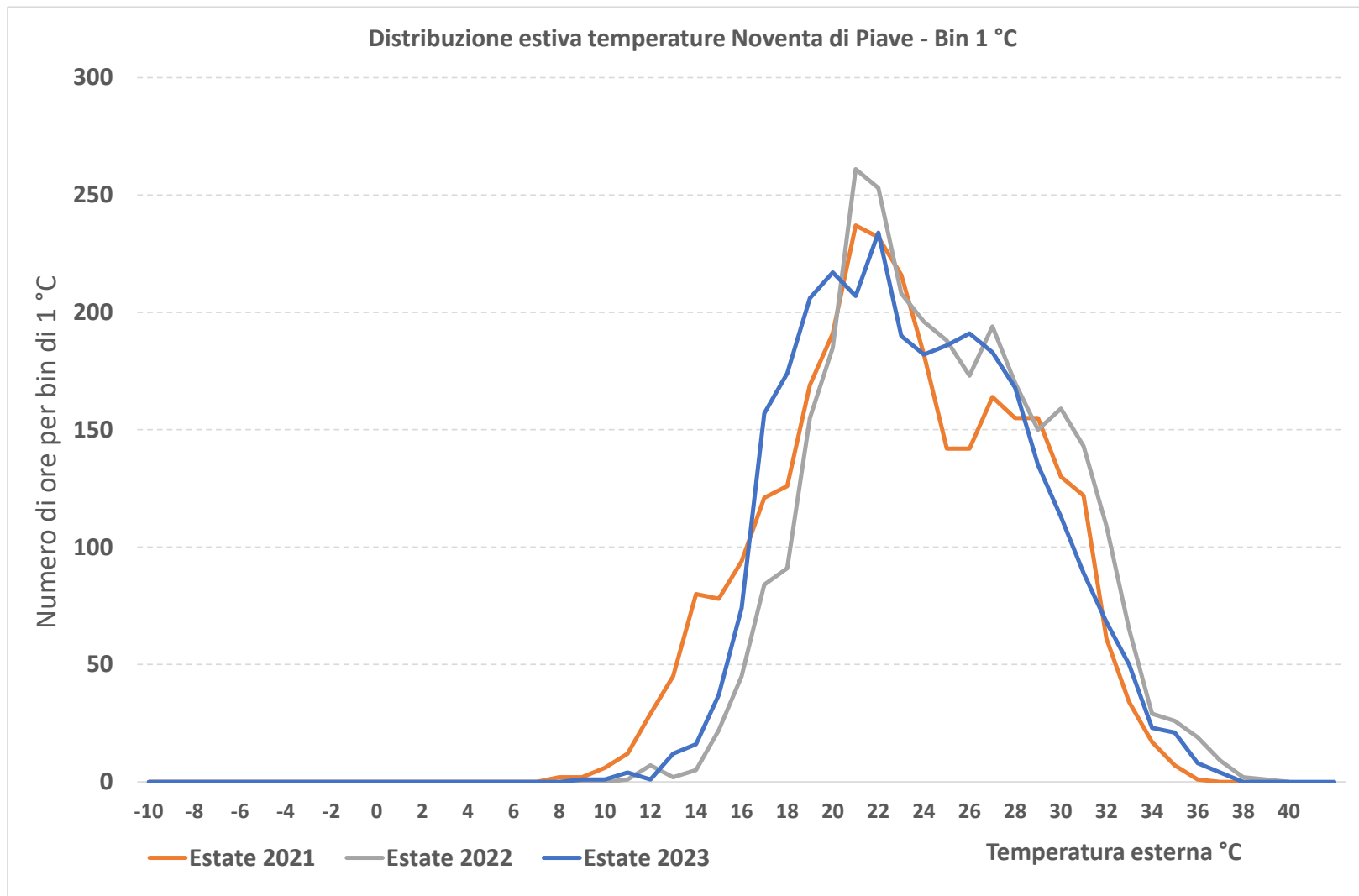


- Ci sono pochissime ore sotto i -3 °C, la temperatura di -4°C viene raggiunta per 8 ore all'anno...
- ... e quelle ore non sono tutte consecutive...

Bin 1°C dal 15/09 and 15/05 dell'anno successivo

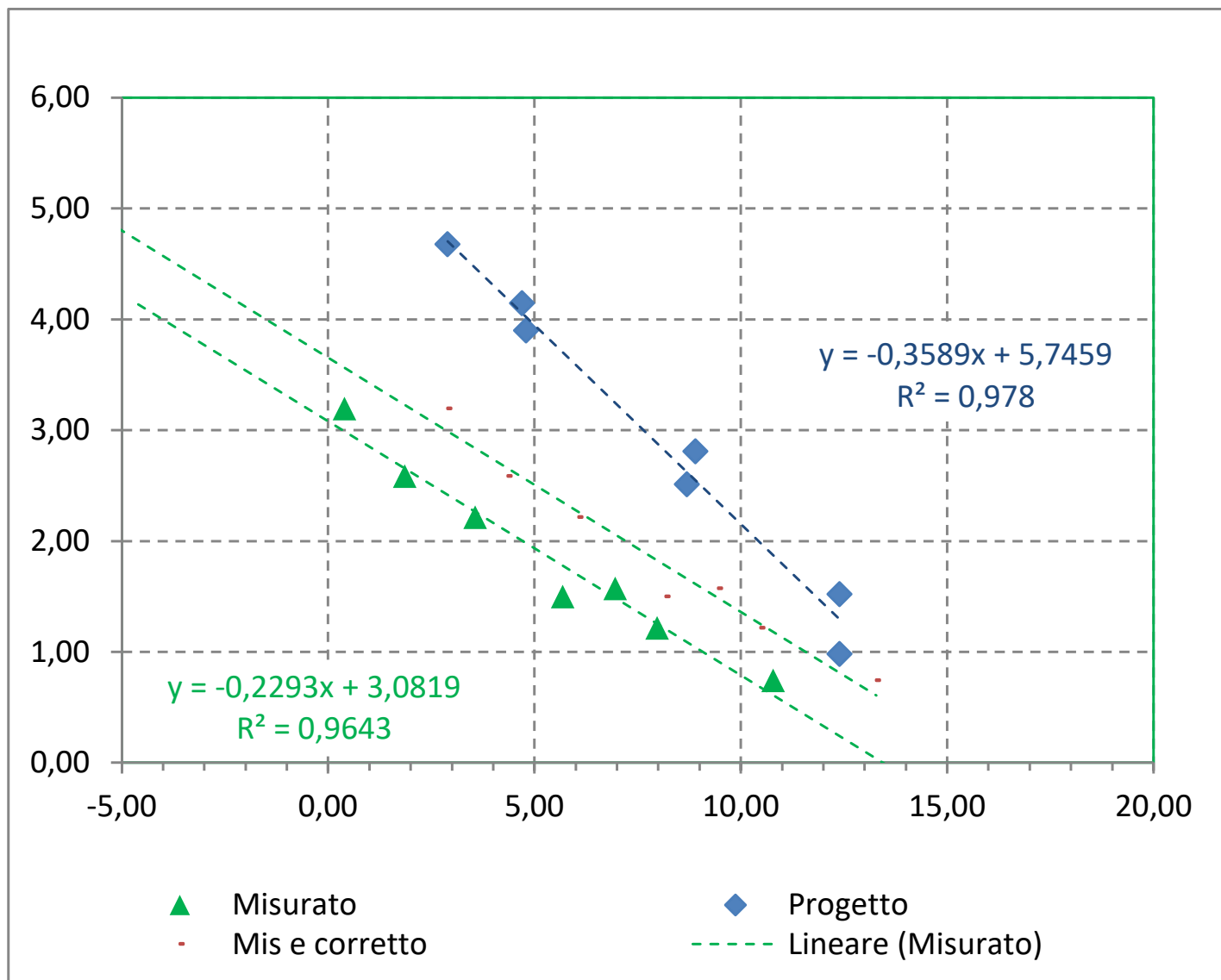


- In tre anni c'è un solo giorno con temperatura esterna media di 0 °C. Accadde nel 2021.
- Bin 1°C dal 15/09 and 15/05 dell'anno successivo
- Se la casa è decentemente isolata e ha una buona capacità termica, questo fornisce un ulteriore margine nel dimensionamento



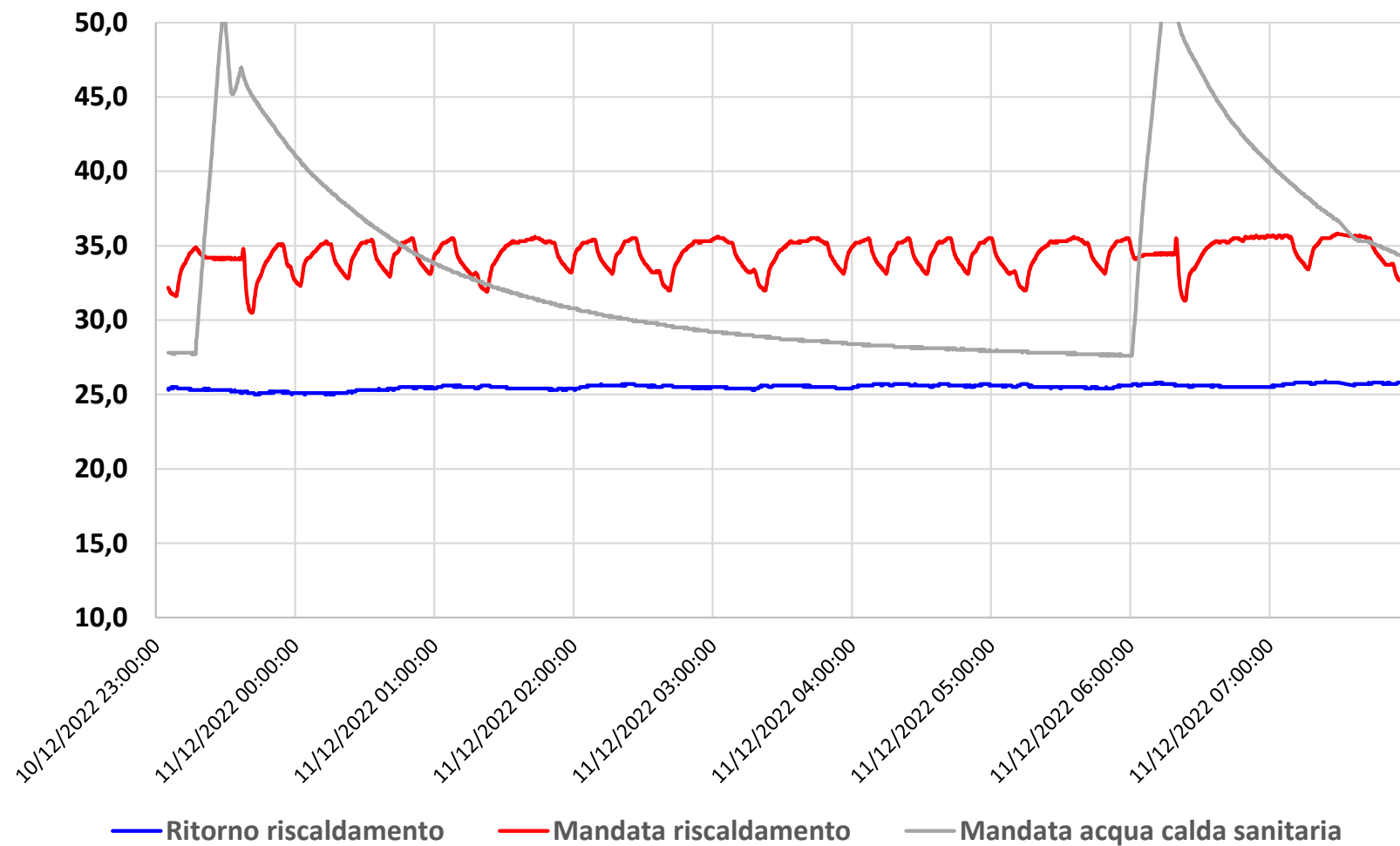
- Nella valutazione estiva è interessante vedere fino a che temperatura deve lavorare la pompa di calore

Bin 1°C dal 15/05 and 15/09 di ciascun anno



- I consumi sono inferiori alle previsioni
- La firma energetica misurata è stata corretta traslandola di 2,5 °C per tenere conto della temperatura interna di 18 °C
- Durante il rilievo la VMC era spenta.
- Pompa di calore installata simile a modello 06/08
- Nel 2022...2023 la potenza massima giornaliera riscontrata è stata di 3 kW
- Nel 2023...2024 il funzionamento è stato limitato a 12 ore/giorno durante il giorno per sfruttare al massimo il fotovoltaico e le temperature più elevate dell'aria esterna.
→ sfruttamento del sovradimensionamento

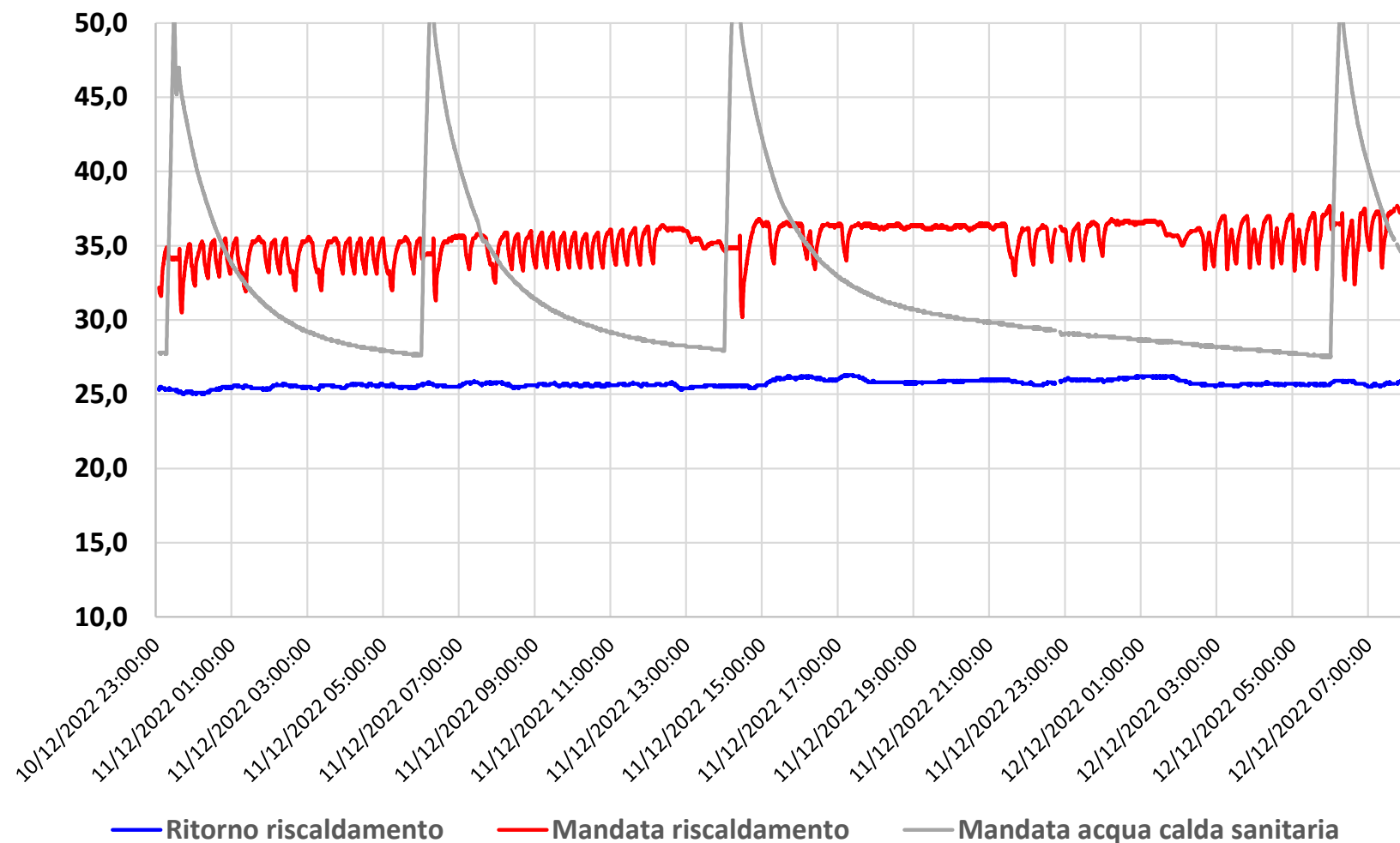
Funzionamento notturno (T esterna 5...7 °C)



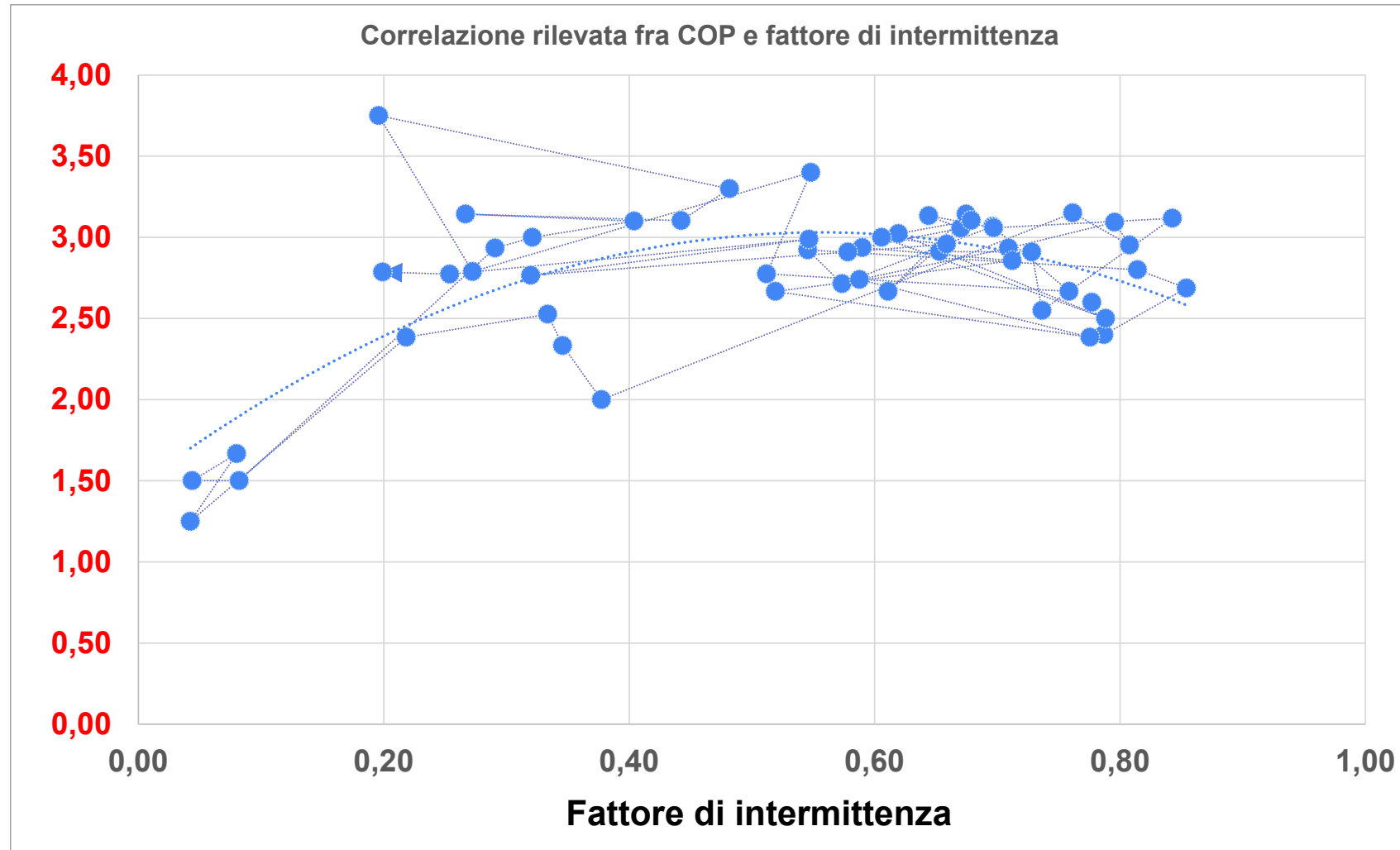
Temperature di funzionamento rilevate

- La temperatura esterna era compresa fra 5 e 7 °C.
- La pompa di calore funziona ancora ad intermittenza.
- La temperatura esterna è stabile con una curva climatica che punta a 39°C alla temperatura di progetto.
- Il salto termico sui radiatori è di circa 10 °C
- Le temperature dell'impianto sono anch'esse inferiori a quanto calcolato

Funzionamento pdc (T esterna 0...7 °C)



- Con il calo della temperatura esterna verso i 0 °C finalmente la pompa di calore riesce al lavorare con continuità al minimo, poi iniziano gli sbrinamenti.
- Si noti la stabilità della temperatura di ritorno, indice della stabilità della regolazione delle valvole termostatiche



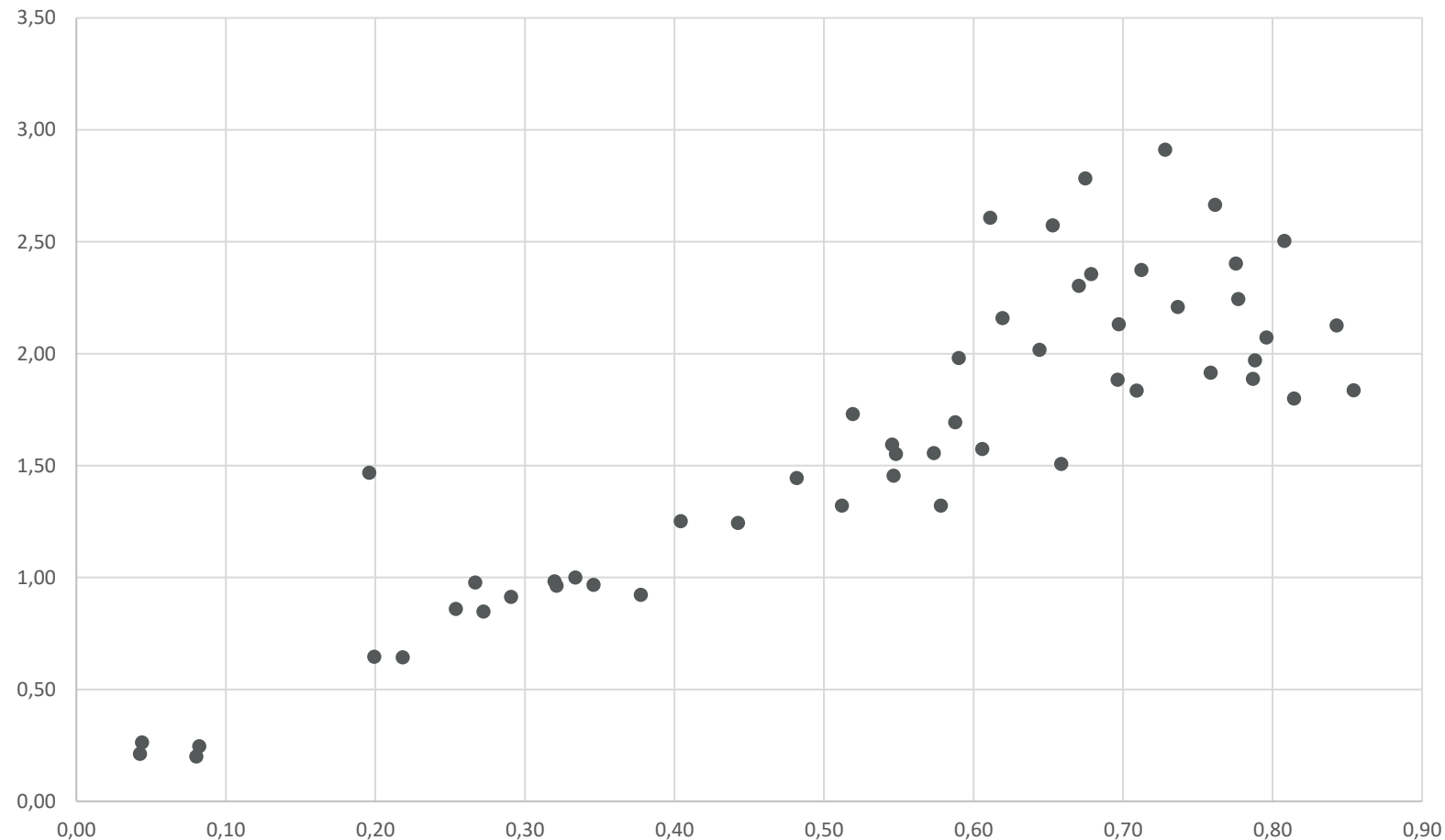
Buona parte del tempo la pompa di calore ha funzionato ad intermittenza

Le ascisse non sono il fattore di carico ma il fattore di intermittenza.

Non si arriva ad 1,0 a causa degli sbrinamenti e della produzione di acqua calda sanitaria

La pompa di calore installata è sovradimensionata

Correlazione IR/potenza

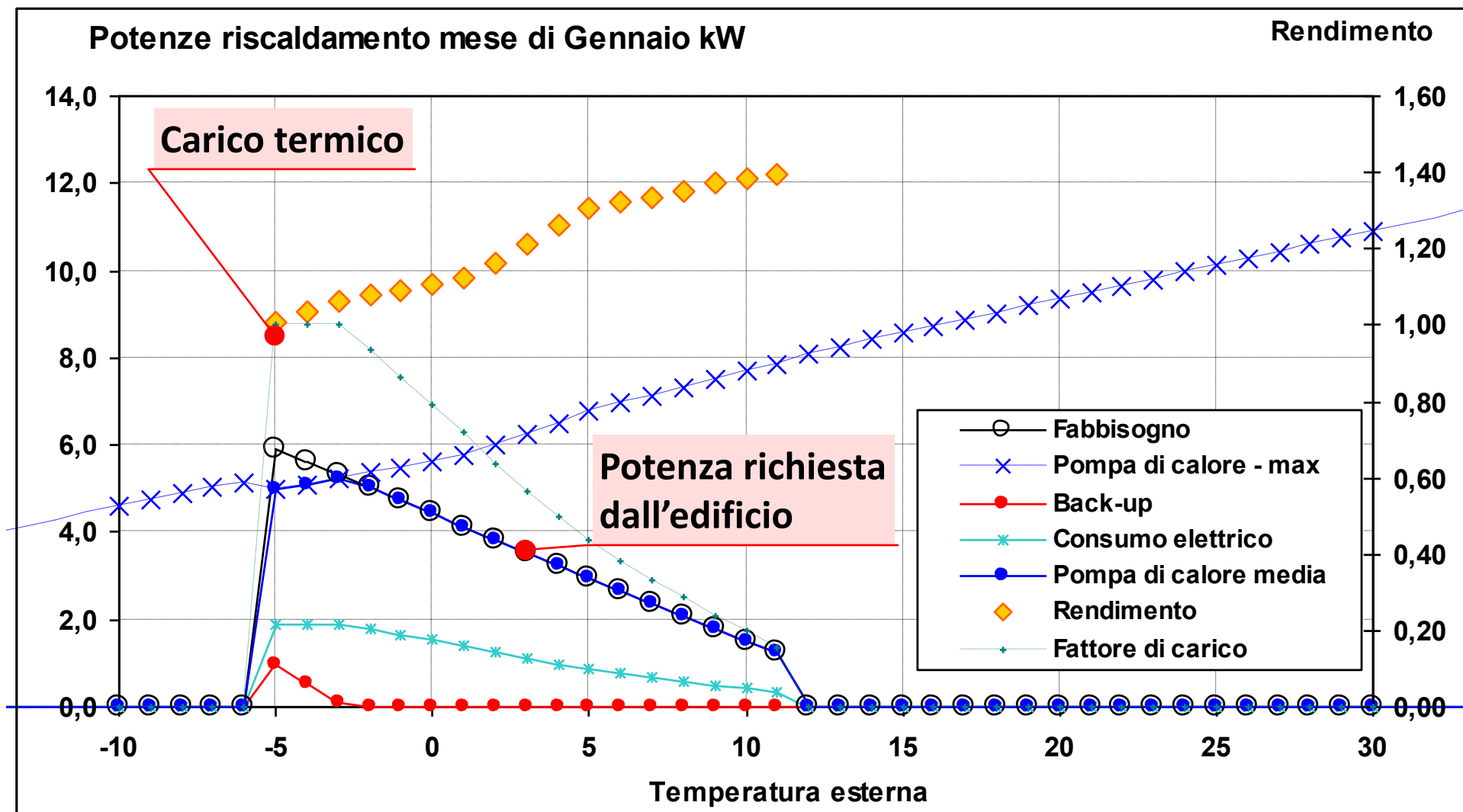


Il carico sulla pompa di calore è sempre molto basso.

Massima potenza media giornaliera nell'inverno: 3 kW

Si conferma che la pompa di calore sta funzionando ad intermittenza perché c'è una correlazione stretta fra potenza e fattore di intermittenza

Solo a partire da $\cong 0,6$ la nuvola si apre (funzionamento anche a potenza superiore al minimo)



Ci mostrerebbero già molte cose interessanti...

Per esempio il numero limitato di ore in cui la temperatura è realmente così bassa

SommariorDettagliScambi termici per componente										
Dispersioni, apporti ed energia utile			Dispersioni			Apporti				
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$ [°C]	$Q_{h,tr}$ [kWh]	$Q_{h,ve}$ [kWh]	$Q_{h,ht}$ [kWh]	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{h,nd}$ [kWh]	
ottobre	17	13,1	1361	356	1717	1024	801	1825	170	
novembre	30	8,5	3702	1046	4748	1067	1414	2480	2281	
dicembre	31	4,3	5052	1476	6528	1007	1461	2468	4062	
gennaio	31	2,4	5606	1655	7261	931	1461	2391	4870	
febbraio	28	4,9	4404	1282	5687	1355	1319	2674	3020	
marzo	31	9,3	3591	1006	4597	1995	1461	3456	1264	
aprile	15	12,7	1256	332	1588	1161	707	1868	97	

Risultati stagionali (riscaldamento invernale)

Dispersioni			Apporti			Bilancio energetico		
Dispersioni per trasmissione	$Q_{h,tr}$	24972 kWh	Apporti solari	Q_{sol}	8540 kWh	Energia utile	$Q_{h,nd}$	15764 kWh
Dispersioni per ventilazione	$Q_{h,ve}$	7153 kWh	Apporti interni	Q_{int}	8623 kWh	Consumo specifico		33,68 kWh/m²
Dispersioni totali	$Q_{h,ht}$	32125 kWh	Apporti totali	Q_{gn}	17163 kWh	Stagione di riscaldamento		
						dal	15 ottobre	al 15 aprile giorni 183



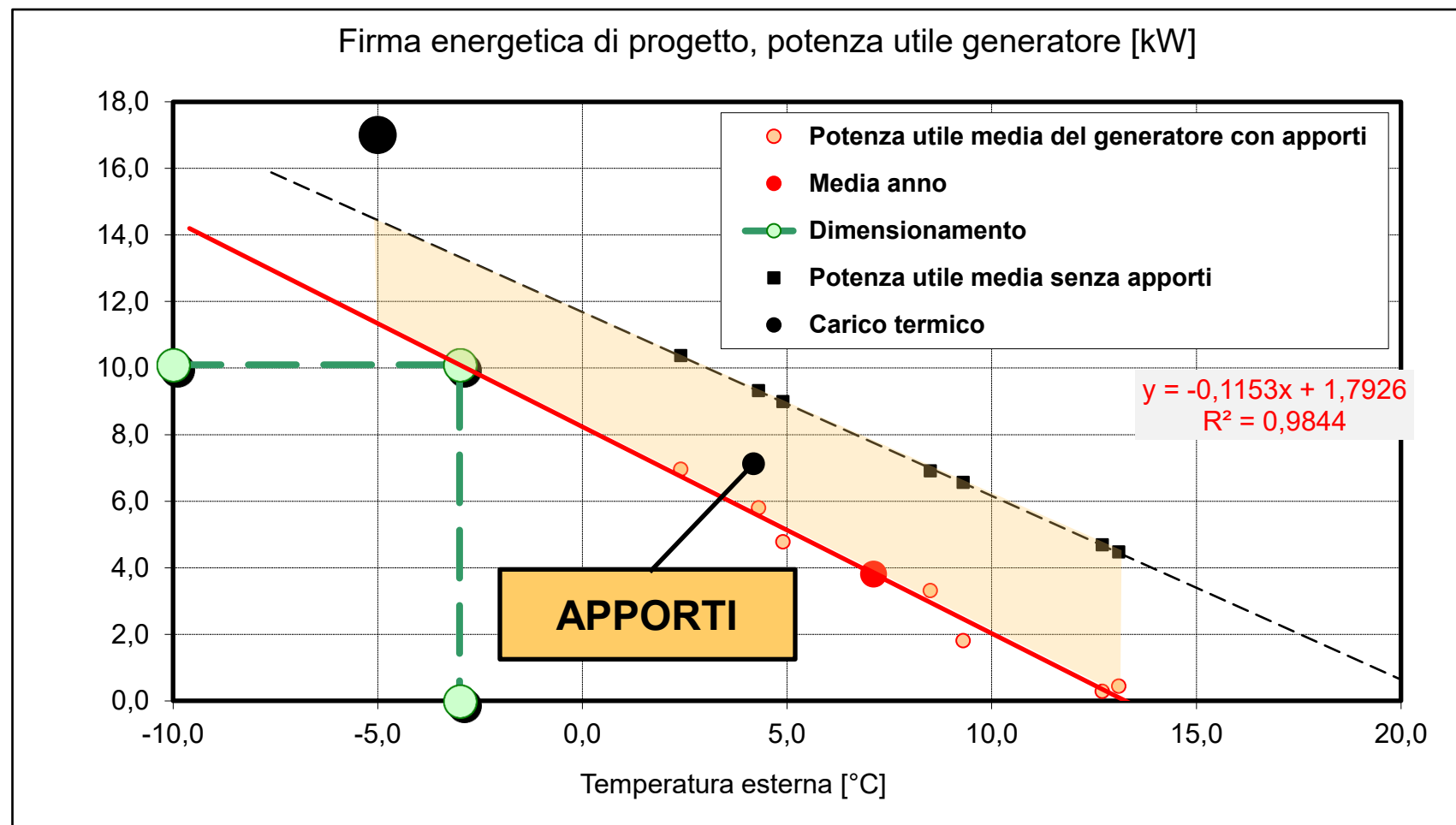
Dati edificio					
	NETTO	LORDO			
Superficie in pianta	468,01	540,40	m²	Superficie esterna lorda (con strutture tipo N)	1115,99 m²
Volume	1263,63	1800,00	m³	Superficie esterna lorda (senza strutture tipo N)	1115,99 m²
				Rapporto S/V	0,62 m⁻¹

Residenziale, 7 appartamenti

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	17	30	31	31	28	31	15	183
Temperatura esterna	°C	13,1	8,5	4,3	2,4	4,9	9,3	12,7	7,1
Gradi giorno stagione		117	350	487	546	423	332	110	2.364
Ore periodo	h	408	731	744	744	672	744	360	4.403
Ore/giorno attivazione impianto	h/gg	24	24	24	24	24	24	24	
Tempo attivazione impianto	h	408	731	744	744	672	744	360	4.403
Dispersioni Q_L	kWh	1.717	4.748	6.528	7.261	5.687	4.597	1.588	32.126
Energia utile Q_H		170	2.281	4.062	4.870	3.020	1.264	97	15.764
Dispersioni Q_L	kWh	1.717	4.748	6.528	7.261	5.687	4.597	1.588	32.126
Energia utile Q_H	kWh	170	2.281	4.062	4.870	3.020	1.264	97	15.764
Potenza utile media del generatore senza apporti	kW	4,5	6,9	9,3	10,4	9,0	6,6	4,7	7.754
Potenza utile media del generatore con apporti	kW	0,4	3,3	5,8	7,0	4,8	1,8	0,3	3,8

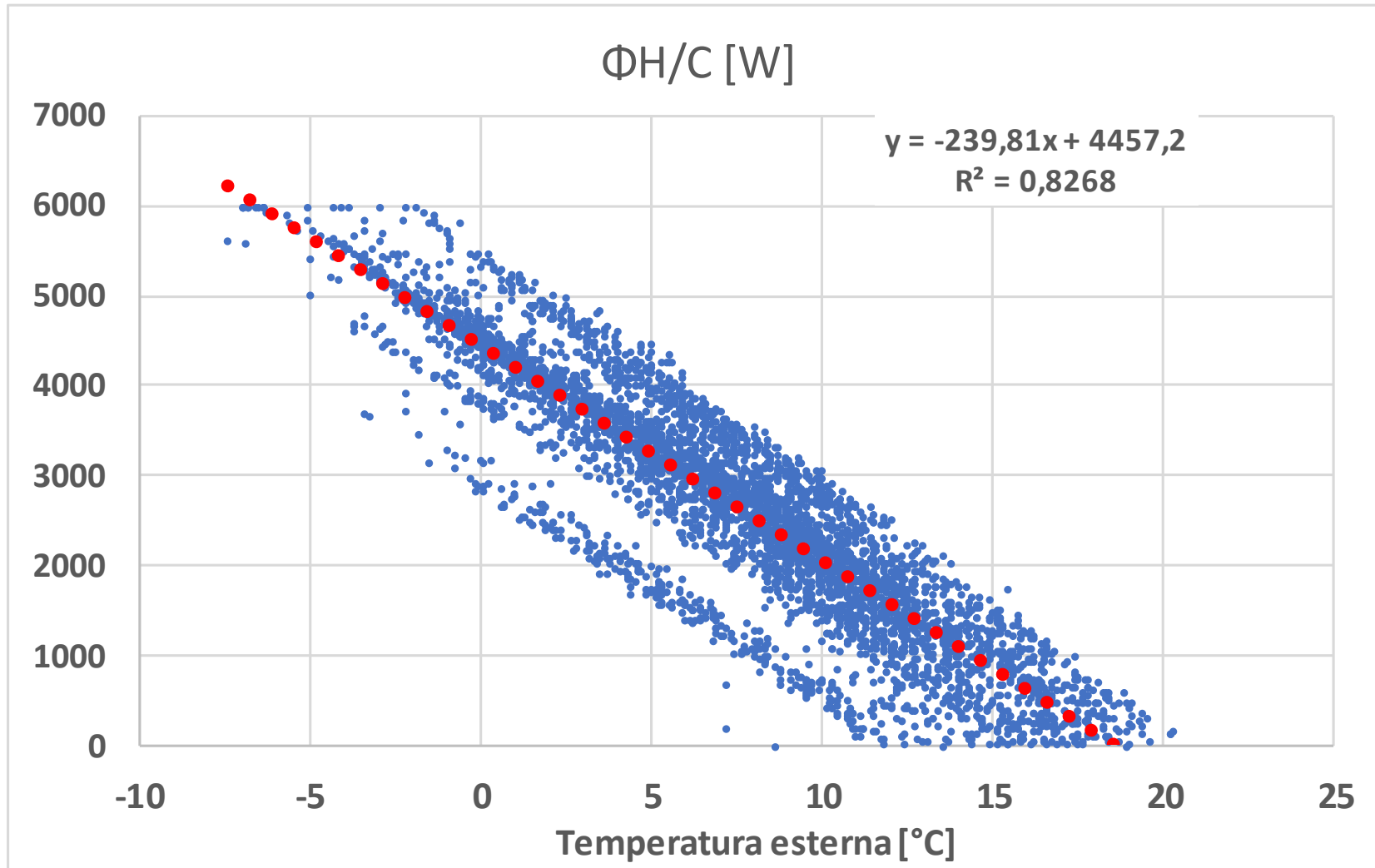
Rendimento di emissione		0,97
Rendimento di regolazione		0,99
Rendimento di distribuzione		0,98
Temperatura esterna di progetto	°C	-3
Potenza utile di progetto del generatore	kW	10,1



Il calcolo della potenza con l'energia può essere sfruttato al massimo in presenza di sistemi ibridi.

Per 7 appartamenti vale la pena installare una caldaia da 25 kW che faccia da back-up totale in caso di guasto della pompa di calore.

In questo caso, il dimensionamento della pompa di calore dovrà essere «tirato» al massimo.



- L'interpolazione diretta dei dati orari è incerta perché fornisce una nuvoletta di valori
- Preferibile fare prima una aggregazione giornaliera o settimanale
- Non ci sono differenze significative rispetto all'interpolazione di dati mensili

- Metodo completo: fare una firma energetica e validarla con indicatori statistici come R^2 e CVRMS (scarto quadratico medio normalizzato).
- Metodo semplificato: considerare i consumi e clima annuali
- Problema del metodo dei consumi: **separare** i consumi per riscaldamento da tutto il resto (acqua calda sanitaria, uso cottura, ...).
- Ipotesi di base: **i consumi diversi dal riscaldamento sono costanti.**
Possono quindi essere identificati sulla base di una misura spot al di fuori del periodo di riscaldamento.
La durata della misura dovrà essere preferibilmente di alcune settimane.

ESEMPIO DI INFORMAZIONI SUI CONSUMI STORICI: LETTURE EFFETTIVE DALLE FATTURE

	Giorni	Lettura	Consumo		Base	Risc.	Test	Base	GG	Consumo	Potenza
Data	gg	m³	m³	m³/gg	m³	m³	°C	°C	gg°C	m³/GG	kW
12/10/2022		16803						17			
16/02/2023	127	17637	834	6,57	204	630	8,3		1101	0,573	2,63
18/05/2023	91	18011	374	4,11	146	228	11,3		520	0,438	1,64
11/10/2023	146	18245	234	1,60	234	0	22,7				0,64
16/02/2024	128	19130	885	6,91	205	680	7,5		1218	0,558	2,77
16/03/2024	29	19307	177	6,10	46	131	9,8		208	0,628	2,44

Base per usi diversi dal riscaldamento 600 W...

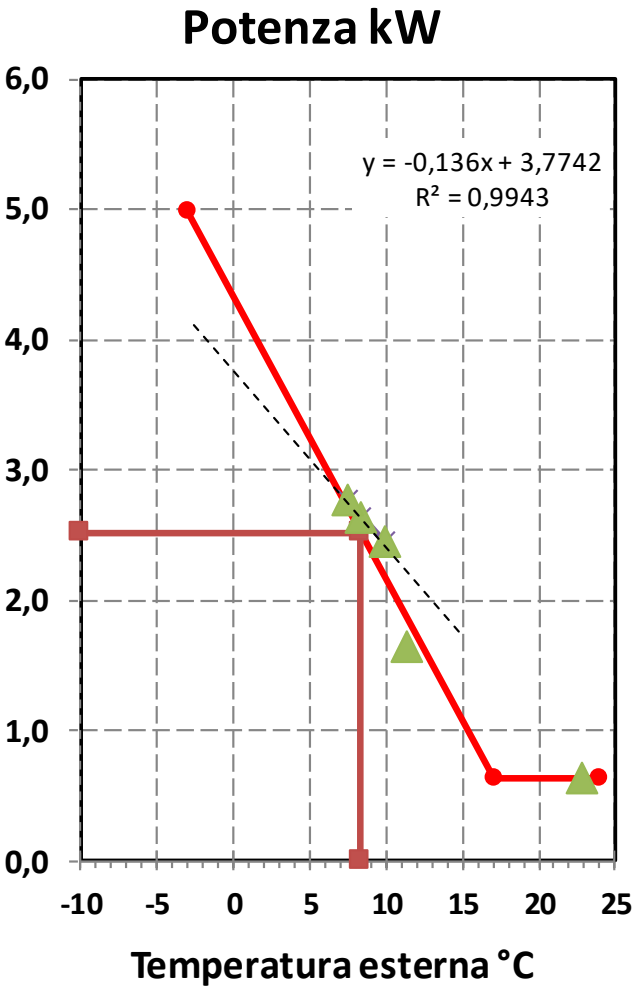
Consumo costante per usi diversi dal riscaldamento

Consumo per riscaldamento

Verifica con periodi diversi
Due sono significativi

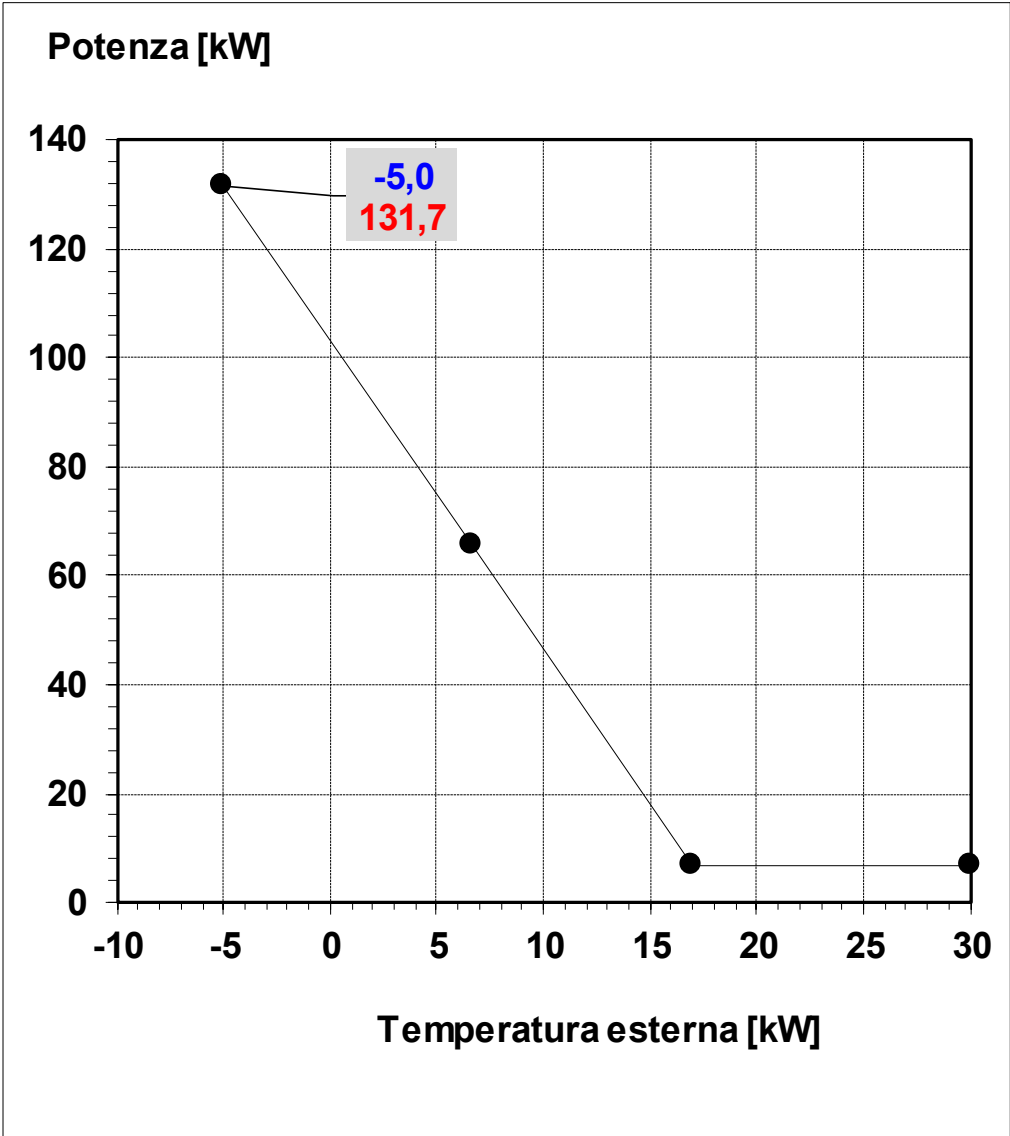
Dati per firma energetica

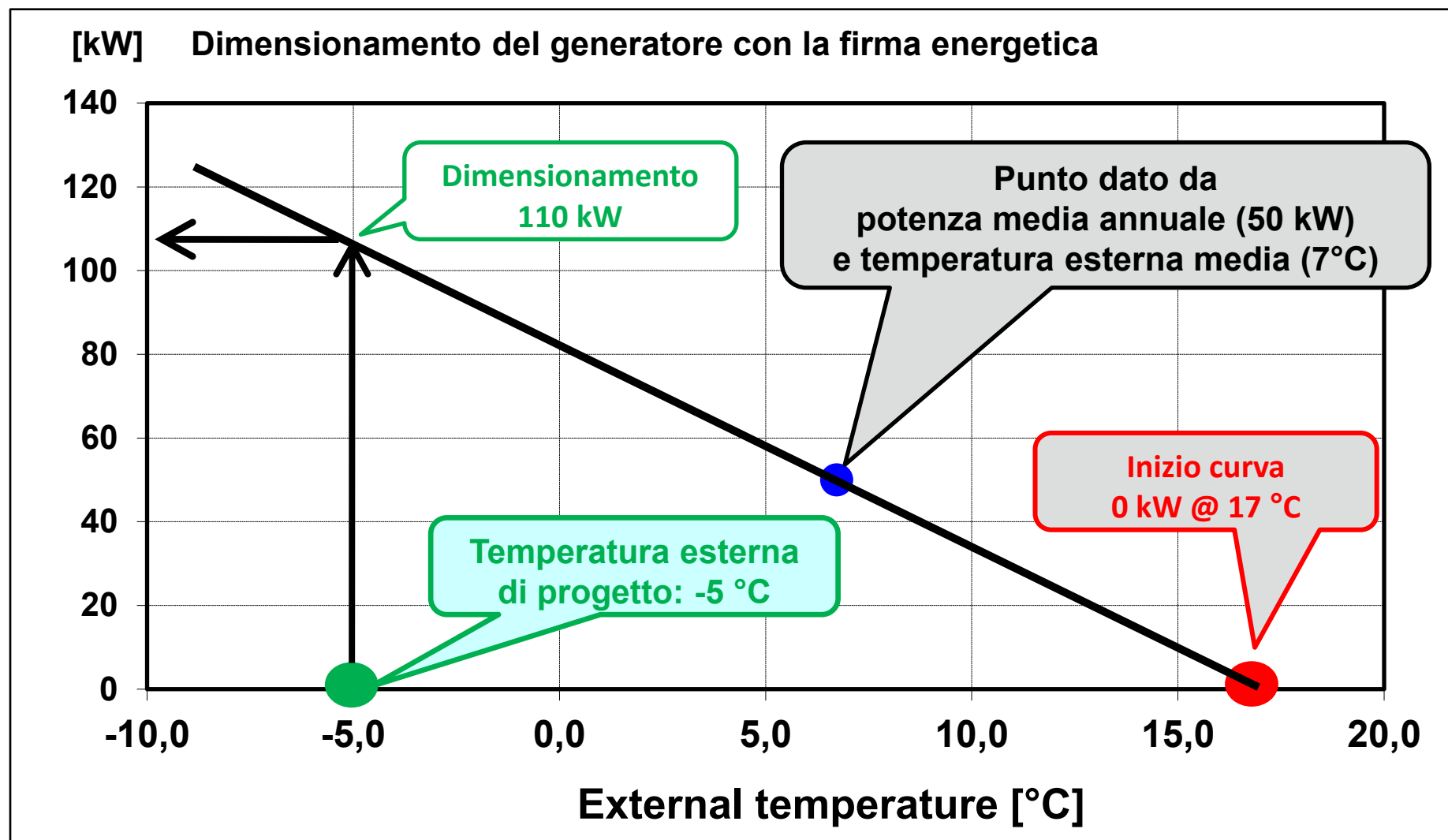
Descrizione	Simbolo	U.M.	Valore
Unità di misura combustibile			Sm³
Potere calorifico combustibile		kWh/Sm³	9,6
Gradi giorno località	DD	°Cday	2.150
Temperatura di spegnimento	θ ₀	°C	17
Temperatura di progetto	θ _{des}	°C	-3,0
Durata stagione di riscaldamento		days	185
	t _{seas}	h	4.440
Consumo annuo		Sm³	1.450
	E _{HW;del;y}	kWh	13.920
Consumo estivo		Sm³	234
	E _{HW;del;summ}	kWh	2.246
Giorni misura consumo estivo	t _{summ}	gg	146
Potenza media a.c.s.	Φ _{W;av g}	kW	0,6
Consumo per a.c.s. annuale	E _{W;del;y}	kWh	5.616
Consumo per riscaldamento	E _{H;del;y}	kWh	8.304
Ore giornaliere accensione riscaldamento		h/gg	24
	t _{H;on;day}	h	4.440
Potenza media generatore	Φ _{H;av g}	kW	1,9
Temperatura esterna media	θ _{ext;av g;H}	°C	8,4
Potenza per riscaldamento	Φ _{H;des}	kW	4,3
Potenza per a.c.s.	Φ _{W;des}	kW	0,6
Potenza di progetto	Φ _{des}	kW	5,0



I dati dei consumi rilevati da contatore (triangoli verdi) sono compatibili con la firma energetica semplificata

Descrizione	Simb.	U.M.	Valore	
Unità di misura combustibile			Stm³	
Potere calorifico combustibile		kWh/Stm³	9,6	
Gradi giorno stagione di riscaldamento	GG	°Cgg	2.400	
Temperatura di spegnimento	θ ₀	°C	17	
Temperatura esterna di progetto	θ _{des}	°C	-5,0	
Durata stagione di riscaldamento	t _r	gg/anno	180	
		h/anno		4.320
Consumo annuo	C _a	Stm³/anno	21.500	
		kWh		206.400
Stima del consumo per acqua calda sanitaria ed uso cottura				
Consumo in un periodo campione estivo	C _e	Stm³	500	
		kWh		4.800
Giorni misura consumo estivo	t _e	gg	30	
Potenza media acqua calda sanitaria	Φ _{acs}	kW		6,7
Consumo annuale per acqua calda sanitaria	C _{acs}	kWh/anno		58.400
Consumo per riscaldamento	Cr	kWh		148.000
Ore accensione impianto		h/gg	14	
	t _{ON}	h		2.520
Potenza media generatore	Φ _m	kW		58,7
Temperatura esterna media	θ _{media}	°C		6,7
Potenza per riscaldamento	Φ _r	kW		125,0
Potenza per a.c.s.	Φ _{acs}	kW		6,7
Potenza di dimensionamento	Φ _{des}	kW		131,7

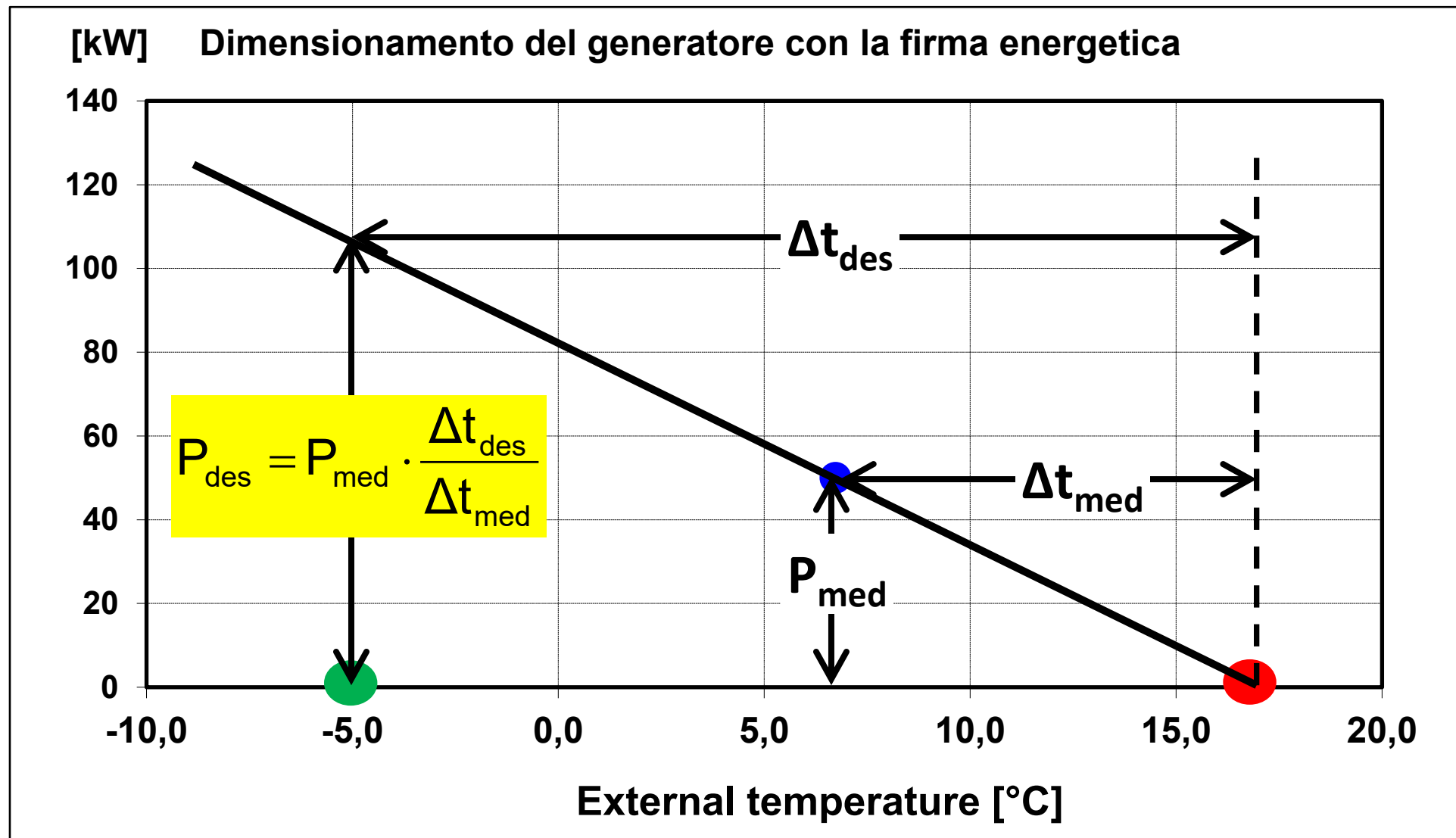




Questo metodo fornisce una prima stima della potenza necessaria sulla base del consumo annuo, che risulta essere

- 7 kW / 1000 Sm³ per funzionamento 14/24
- 4,2 kW / 1000 Sm³ per funzionamento 24/24

... dimostrazione...



$$P_{des} = P_{med} \cdot \frac{\Delta t_{des}}{\Delta t_{med}}$$

$$\Delta t_{med} = \frac{GG}{gg} = \frac{2400 [^{\circ}C \text{ gg}]}{180[gg]}$$

$$P_{med} = \frac{C \times PCI}{gg \times h_{ON}} = \frac{C [Sm^3] \times 9,6 [kWh / Sm^3]}{180[gg] \times 14[h / gg]}$$

$$P_{des} = C \times \frac{PCI \times \Delta t_{des} \times \cancel{gg}}{\cancel{gg} \times h_{ON} \times GG} = C[Sm^3] \times \frac{PCI \times \Delta t_{des}}{h_{ON} \times GG}$$

... e sostituendo i valori tipici per la zona E si ottiene ...

$$P_{des} = C[Sm^3] \times \frac{9,6[kWh / Sm^3] \times 25^{\circ}C}{14[h / gg] \times 2400[^{\circ}Cgg]} = C[Sm^3] \times 0,007[kW / Sm^3]$$

- I metodi precedenti vanno bene se si ipotizza un utilizzo continuo o quasi continuo dell'edificio: residenziale e simili
- Per utilizzi con interruzioni settimanali significative o edifici con costanti di tempo basse, occorre tener conto della potenza aggiuntiva per la ripresa
 - Aggiungere «fattore di ripresa» empirico secondo EN 12831
 - Verificare il raggiungimento del comfort all'orario previsto con un metodo dinamico orario
 - Preferibilmente, ripetere ciclicamente la settimana più severa dell'anno oppure una «settimana di dimensionamento» ed aggiustare la potenza della pompa di calore e i tempi di pre-accensione finché non si ottiene il comfort al momento voluto.

Il metodo orario è l'unico che può valutare la dinamica tenendo conto della capacità termica delle strutture e della potenza disponibile.

Occorre però utilizzare una «settimana di dimensionamento» (combinazione della settimana più fredda e del carico massimo dell'edificio) e non solamente verificare il picco in un «anno tipo»

- **Casistica di riferimento: settore residenziale**

- Villetta monofamiliare: il dimensionamento deve essere giusto anche per evitare potenze elettriche abnormi che non lascerebbero spazio agli altri carichi
- Edificio condominiale:
L'integrazione con una caldaia di back-up incide poco sui costi e fornisce la massima tranquillità .
In questo caso il dimensionamento della pompa di calore può e deve essere «tirato»

- **In presenza di impianto ibrido (caldaia + pompa di calore)**

- Dal punto di vista del calcolo di efficienza energetica
conviene che la pompa di calore funzioni sempre
- Dal punto di vista economico, in esercizio,
si deciderà una temperatura di cut-off sulla base delle tariffe di gas ed energia elettrica.
- Il dimensionamento della pompa di calore sarà quello minimo possibile

Facciamo esperienza perché in un edificio a «zero emissioni» c'è solo la pompa di calore...

«**Smart Grid**» vuol dire che l'utente dovrà partecipare (flessibilità della domanda) al tentativo di stabilizzare la rete elettrica che, in quanto tale, non accumula energia:

- **Prima:** solo utilizzatori che **prelevano energia quando vogliono** e la rete provvede.
- **Ora:** anche «**prosumer**» che **immettono in rete o prelevano dalla rete come vogliono**, la rete provvede a ricevere ed integrare... (logica dello «scambio sul posto»)
«**smart grid**» ora = rete che accetta scambi bidirezionali (protezioni !)
- **Domani:** la «**smart grid**» manda ai «prosumer» due segnali:
 - **Divieto di consumare**, ovvero obbligo di staccare i carichi sacrificabili o usare i propri accumuli
 - **Obbligo di consumare**, ovvero obbligo immagazzinare energia in tutti i modi disponibili

Vuol dire che dobbiamo ingegnarci a trovare soluzioni per accumulare energia...

Vuol dire che non potremo considerare tutte e 24 le ore giornaliere disponibili: servirà un sovradimensionamento per recuperare i periodi di fermata oppure batterie tali da alimentare la pompa di calore nei periodi di indisponibilità della rete.

Le valutazioni dovranno essere necessariamente su base oraria (almeno profili tipici)

Identificazione della potenza di dimensionamento:

- Carico termico
- Firma energetica di progetto su $Q_{H;gen;out}$
- Firma energetica di progetto su dispersioni ed energia utile
- Firma energetica misurata o consumi annui
- Metodi orari dinamici EN 52016

Correzioni

- Per indisponibilità della pompa di calore per alcune ore al giorno (in aumento)
- Per integrazione con generatore di back-up (in diminuzione)

**Servirebbe che tutte queste considerazioni entrassero in una norma tecnica
... forse nella futura EN 15450 ...**

6. Le disposizioni di cui ai commi 2, 3 e 4, limitatamente alla sola durata giornaliera di attivazione, non si applicano nei seguenti casi:

- a) edifici adibiti a uffici e assimilabili, nonché edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili, limitatamente alle parti adibite a servizi senza interruzione giornaliera delle attività;
- b) impianti termici che utilizzano calore proveniente da centrali di cogenerazione con produzione combinata di elettricità e calore;
- c) impianti termici che utilizzano sistemi di riscaldamento di tipo a pannelli radianti incassati nell'opera muraria;**
- d) impianti termici al servizio di uno o più edifici dotati di circuito primario, volti esclusivamente ad alimentare gli edifici di cui alle deroghe previste al comma 5, per la produzione di acqua calda per usi igienici e sanitari, nonché al fine di mantenere la temperatura dell'acqua nel circuito primario al valore necessario a garantire il funzionamento dei circuiti secondari nei tempi previsti;
- e) impianti termici al servizio di più unità immobiliari residenziali** e assimilate dotati di gruppo termoregolatore pilotato da una sonda di rilevamento della temperatura esterna con programmatore che consenta la **regolazione almeno su due livelli della temperatura ambiente nell'arco delle 24 ore**; questi impianti possono essere condotti in esercizio continuo **purché il programmatore giornaliero venga tarato e sigillato per il raggiungimento di una temperatura degli ambienti pari a 16°C + 2°C** di tolleranza nelle ore al di fuori della durata giornaliera di attivazione di cui al comma 2 del presente articolo;
- f) impianti termici al servizio di più unità immobiliari residenziali** e assimilate nei quali sia installato e funzionante, in ogni singola unità immobiliare, un sistema di **contabilizzazione del calore e un sistema di termoregolazione** della temperatura ambiente dell'unità immobiliare stessa dotato di un programmatore che consenta la regolazione almeno su **due livelli di detta temperatura nell'arco delle 24 ore**;
- g) impianti termici per singole unità immobiliari residenziali e assimilate** dotati di un sistema di termoregolazione della temperatura ambiente con **programmatore giornaliero** che consenta la regolazione di detta temperatura **almeno su due livelli nell'arco delle 24 ore** nonché lo spegnimento del generatore di calore sulla base delle necessità dell'utente;
- h) impianti termici condotti mediante "contratti di servizio energia"** ove i corrispettivi sono correlati al raggiungimento del comfort ambientale nei limiti consentiti dal presente regolamento, purché si provveda, durante le ore al di fuori della durata di attivazione degli impianti consentita dai commi 2 e 3, ad attenuare la potenza erogata dall'impianto nei limiti indicati alla lettera e).

Gli impianti a pannelli possono funzionare 24/24
Per gli altri impianti occorre un regolatore su due livelli di temperatura.
Nel caso dei radiatori con termostatiche ci vuole anche il termostato di zona (che farà il ridotto)

01 Le basi teoriche della pompa di calore

02 Criteri di progettazione impianti a pompa di calore

03 Esempi pratici di progettazione

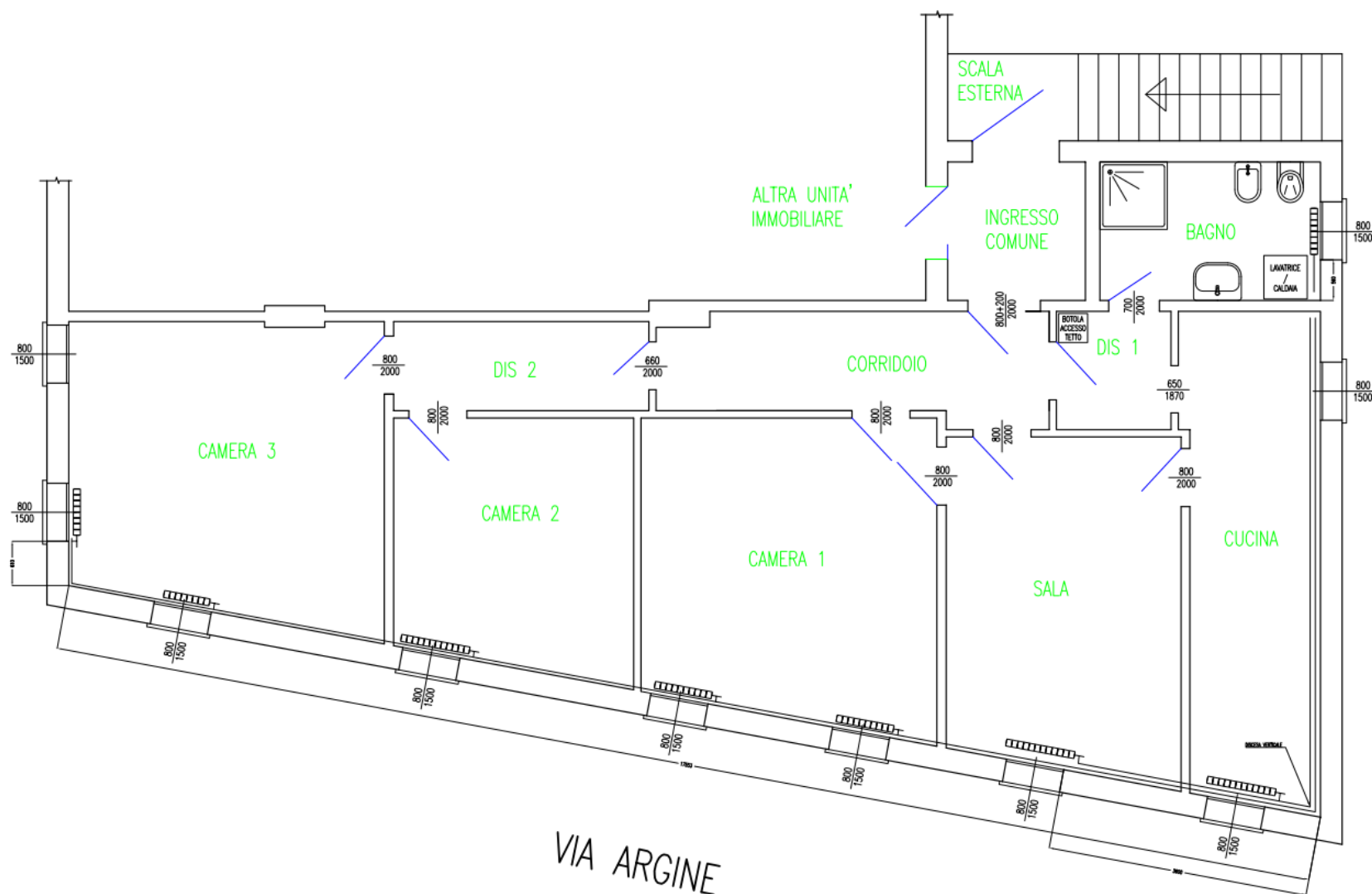
04 Pompa di calore e fotovoltaico

Procedura di intervento

- Verificare la potenza nominale dei corpi scaldanti installati
 - Verificare le condizioni di funzionamento attuali
 - Verificare se è possibile coibentare l'edificio
 - Valutare la possibilità di funzionamento 24/24 (anziché 14 o anche 8 ore...)
 - Decidere come trattare eventuali corpi scaldanti non omogenei
 - Verificare le condizioni di funzionamento ottenibili (temperatura di mandata) → Attenzione ai parametri di calcolo in UNI-TS 11300!
 - Trovare il posto per la pompa di calore e per l'accumulo di acqua calda sanitaria
- ... procedere con tutti gli altri aspetti del dimensionamento e progettazione.







- Secondo ed ultimo piano di edificio in mattoni pieni.
- Soffitto: 25 mm eraclit verso sottotetto
- Finestre: telaio di legno e vetri singoli
- Superficie 100 m²
- Carico termico: 15 kW
- **Radiatori installati per circa 14 kW nominali su $\Delta\theta$ 50 °C.**
- Caldaia soffiata di tipo C con acqua calda sanitaria istantanea.
- Consumo annuo previsto per calcolo: 3600 m³ di metano (forse un po' sovrastimato perché a causa dello scarso isolamento del soffitto il suo fattore b è 0,6...0,7 e non 0,9 ... → 2960 m³/anno con b=0,65)



Trasmittanza
2,9 W/m²K

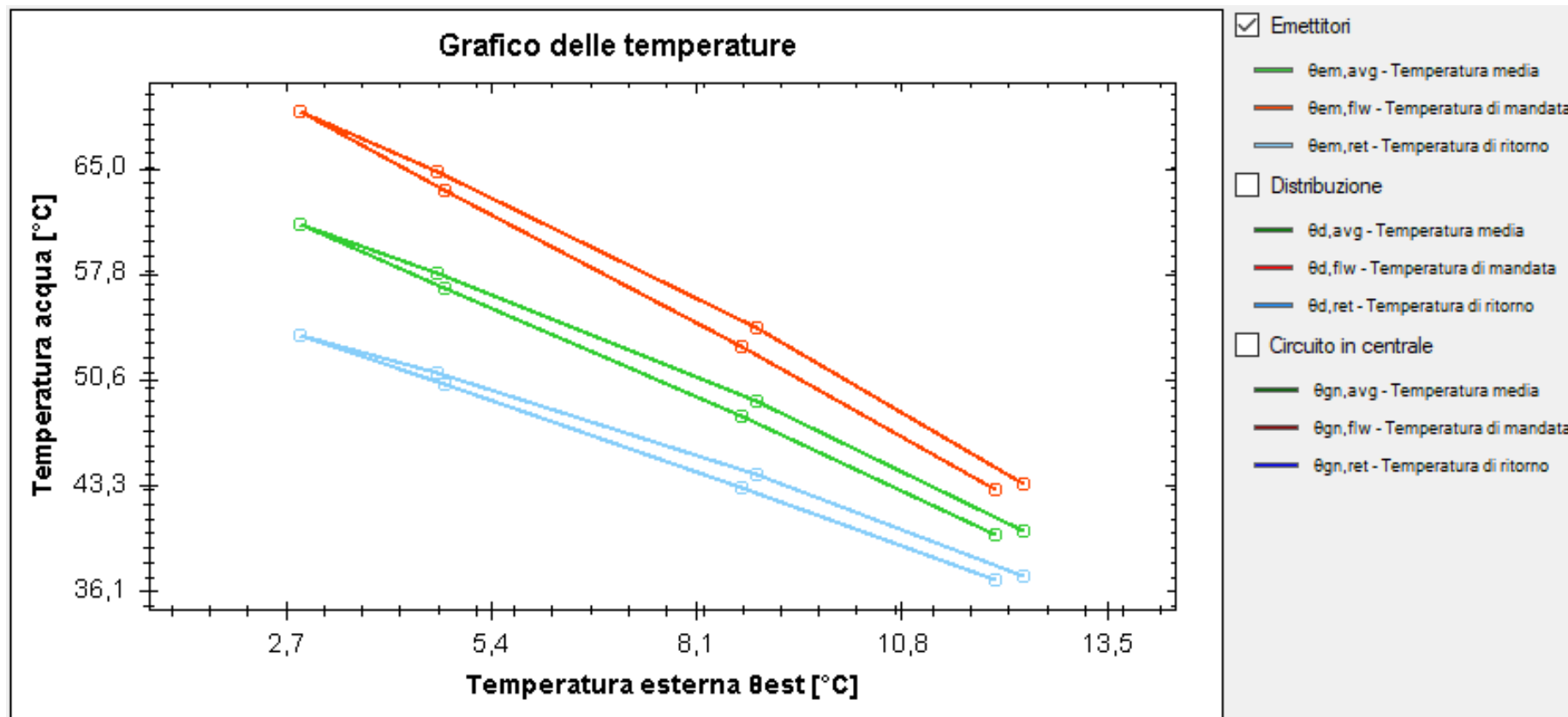
Praticamente un enorme
vetro singolo...

Non semplice accedere
(botola 50x50 cm),
altezza 30...230 cm.

Occorre camminare
sulle tavole

Stato impianti elettrici...
... da rifare

Reazione a catena
quando si interviene



La temperatura di funzionamento degli emettitori calcolata con funzionamento 24/24 supera abbondantemente 70 °C di mandata.
(63 °C con sottotetto corretto)

Anche avendo a disposizione la potenza necessaria, la pompa di calore si bloccherebbe

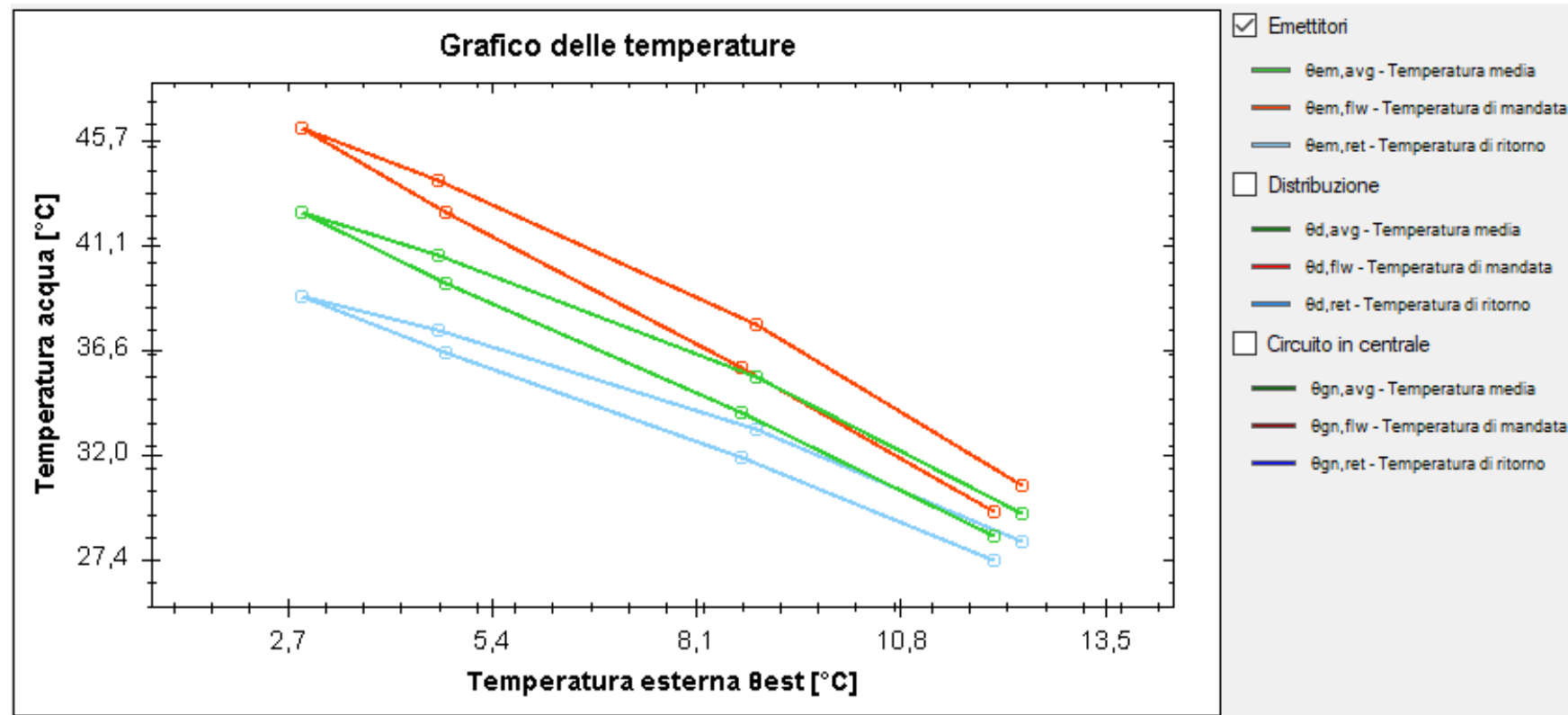
Non ragionevole proporre una pompa di calore senza opere di coibentazione

Anche volendo, non si possono proporre pannelli radianti.



Lavori in corso...

- Coibentazione con 20 cm lana di roccia
- Trasmittanza sottotetto dopo intervento $0,197 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Carico termico $8,3 \text{ kW}$
- Consumo per riscaldamento 1500 Nm^3 di metano all'anno se rimane la caldaia
- Temperatura massima di mandata $< 50^\circ\text{C}$
- Funzionamento **non ideale ma accettabile** anche in pompa di calore



- 1. Isolamento del sottotetto:** provvedimento ovvio, molto efficace, costi con mercato drogato 110?
Difficoltà: lavorare nel sottotetto in mezzo alla travatura in legno e sopra il soffitto di eraclit.
Possibile soluzione: insufflaggio con fiocchi di lana di vetro
- 2. Sostituzione del generatore di calore:** Ultima caldaia a condensazione o pompa di calore?
Dopo aver coibentato il sottotetto, può essere considerata anche l'installazione di una pompa di calore, anche se la potenza rimane un po' elevata.
Necessario il funzionamento 24/24 in pompa di calore (possibile con doppio livello temperature)
- 3. Cappotto e finestre.**
L'intervento decisivo è il cappotto, che dimezza ulteriormente i fabbisogni e consente l'installazione di una pompa di calore almeno di una taglia più piccola.
Difficoltà: accordo nel condominio e lavoro sulla piazza del paese (fra 10...15 anni, passaporto).
Con i radiatori originali (8...12 elementi ciascuno), la temperatura di mandata media in gennaio scende a 32 °C nel funzionamento 24/24.

RISULTATI CON SUCCESSIVI INTERVENTI (TUTTI SENZA FOTOVOLTAICO)

Stato	Carico termico	Fabbisogno riscaldamento $Q_{H;nd}$	Consumo riscaldamento	Temp. mandata gennaio	Potenza da firma energetica	Rendimento o COP	Classe
Inizio	15 kW	287 kWh/m ² a	3600 Sm ³ CH ₄	69,0	15 kW	0,91	G 422 kWh/m ² a
Tetto coibentato condensazione	8,3 kW	123 kWh/m ² a	1500 Sm ³ CH ₄	46,2 °C	7,2 kW	0,92	F 187 kWh/m ² a
Pompa di calore 6 kW	8,3 kW	123 kWh/m ² a	3750 kWh _{el}	44,0 °C	7,2 kW	3,7	C 88 kWh/m ² a
Cappotto e finestre	4,2 kW	45 kWh/m ² a	1033 kWh _{el}	32,0 °C	3,1 kW	4,75	A3 32 kWh/m ² a

Edifici nuovi: fattibile «zero emissioni»

Edifici esistenti: sono il grosso problema

- ***Senza coibentazione*** (tranne casi particolari, come pannelli radianti in origine), non si può funzionare solo con la pompa di calore per problemi di temperatura dell'impianto, basso COP, potenza dell'allacciamento elettrico, ...
- ***Dopo coibentazione parziale***, almeno il tetto e pareti «facili» ...
le condizioni di funzionamento possono diventare accettabili anche con radiatori di dimensioni ragionevoli
- ***Dopo coibentazione completa***, anche un impianto a radiatori esistente diventa a bassa temperatura e la potenza richiesta diventa molto ridotta
Attenzione alla ventilazione quando si cambiano le finestre
→ insieme col cappotto, per ottimizzare la giunzione e ridurre/eliminare il ponte termico.

L'edificio esistente durerà ancora un tempo sufficiente ad ammortizzare l'intervento?

- In che stato sono le strutture portanti?
 - Due corsi di mattoni pieni (muro da 26 cm)
- Sono adeguate dal punto di vista sismico?
- In che stato è la travatura del tetto?
 - Travi in legno sani, nessuna infiltrazione d'acqua, teste dei travi in ottime condizioni.
- In che stato sono gli impianti che si vanno a coprire con la coibentazione?
 - Impianto elettrico: scatole metalliche, fili rigidi, condutture cotte, **da rifare**
 - Antenna: corre sopra il tetto, plastica del cavo crepato dal sole, **da rifare**
- **Nel posare la coibentazione, attenzione a non provocare condensa sulle travi ed ai ponti termici causati dagli «appendini» (in legno, fissati con chiodi!)**

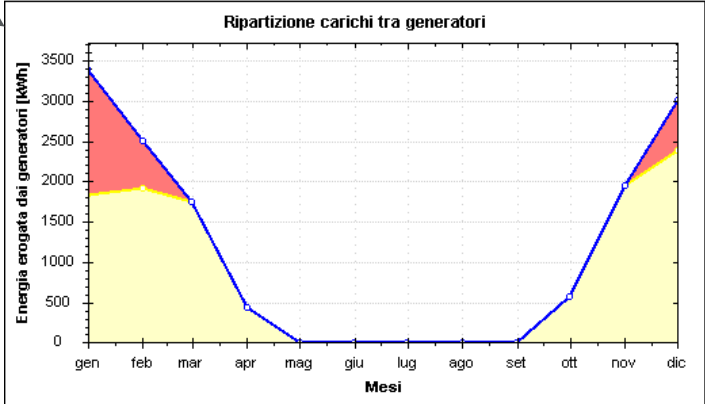
Stato	Carico termico	Fabbisogno riscaldamento $Q_{H;nd}$	Consumo riscaldamento	Temp. mandata gennaio	Potenza da firma energetica	COP	Classe
Pompa di calore 6 kW + Res	8,3 kW	123 kWh/m ² a	3750 kWh_{el} 6600 kWh _{el}	44,0 °C 56,4 °C	7,2 kW 12,3 kW	3,7 2,1	D (*) 147 kWh/m ² a
Cappotto e finestre	4,2 kW	45 kWh/m ² a	1033 kWh_{el} 1238 kWh _{el}	32,0 °C 37,8 °C	3,1 kW 5,2 kW	4,75 4,0	A2 (*) 41,4 kWh/m ² a

L'intermittenza provoca un aumento delle temperature, un aumento della potenza richiesta ed una perdita di efficienza.

Senza cappotto interviene l'integrazione elettrica

Con cappotto non serve l'integrazione ma il COP cala comunque

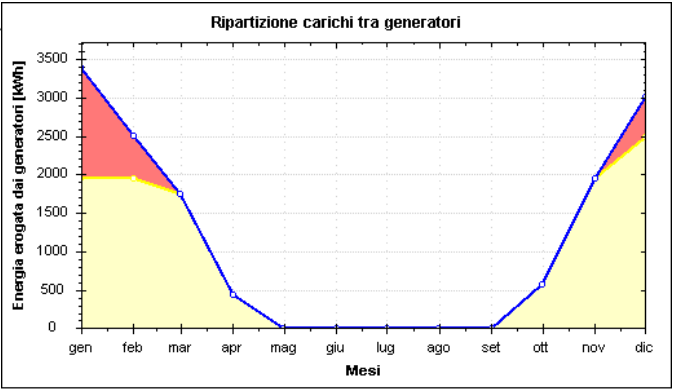
(*) Classi fittizie, la classe va calcolata con funzionamento continuo



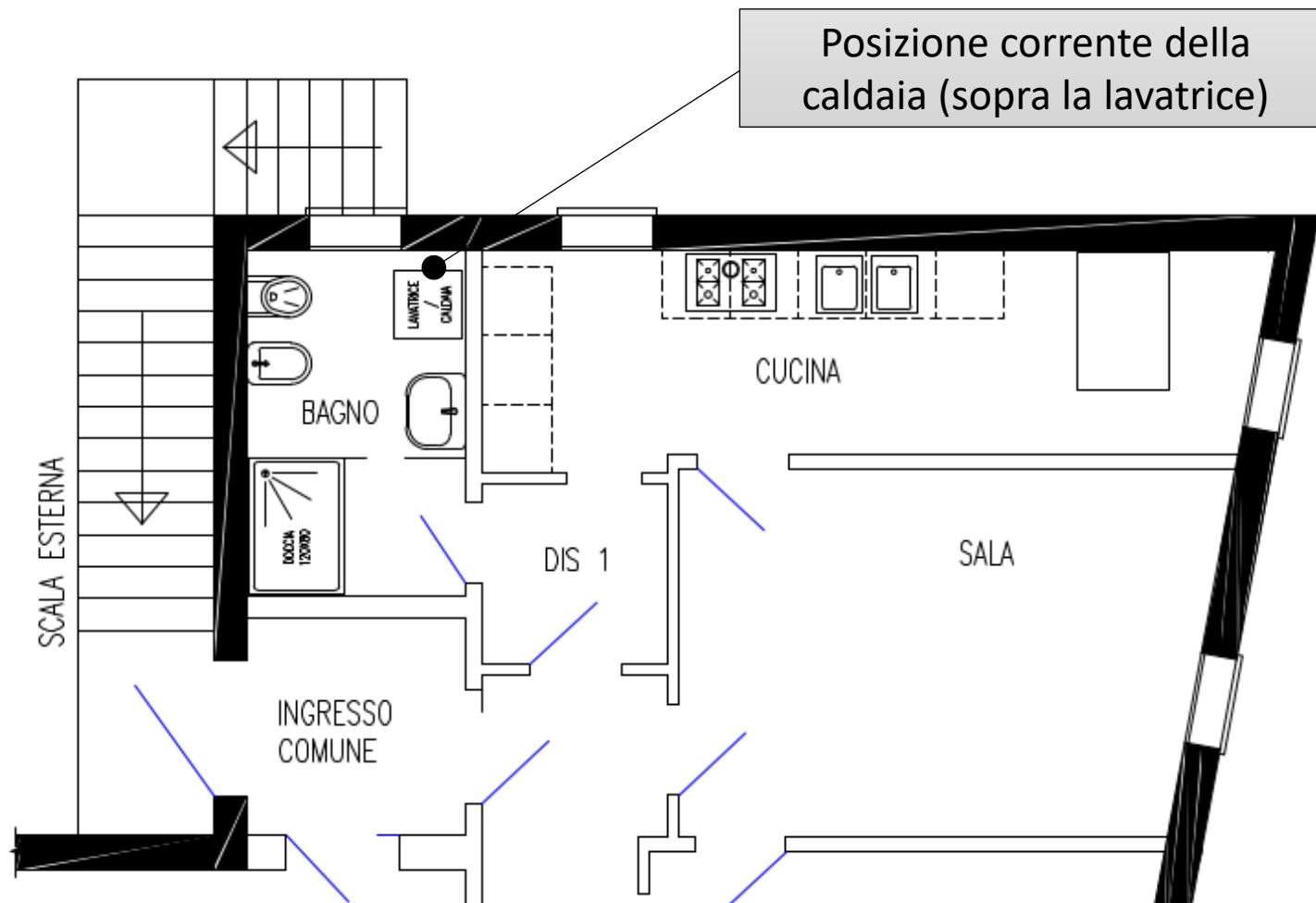
Stato	Carico termico	Fabbisogno riscaldamento $Q_{H;nd}$	Consumo riscaldamento	Temp. mandata gennaio	Potenza da firma energetica	COP	Classe
Pompa di calore 10 kW + Res	8,3 kW	123 kWh/m ² a	3750 kWh_{el} 5833 kWh _{el}	44,0 °C 56,4 °C	7,2 kW 12,3 kW	3,7 2,3	D (*) 131 kWh/m ² a

L'aumento della potenza della pompa di calore (potenza nominale passata da 6 a 10 kW) non risolve il problema a causa della temperatura di mandata massima di 55 °C

(*) Classi fittizie, la classe va calcolata con funzionamento continuo



- Componenti da posizionare:
 - pompa di calore
 - unità esterna
 - accumulo sanitario
 - accumulo tecnico
- Non è più possibile la produzione istantanea di acqua calda sanitaria, occorre trovare uno spazio per l'accumulo di acqua calda sanitaria, almeno 120 litri...

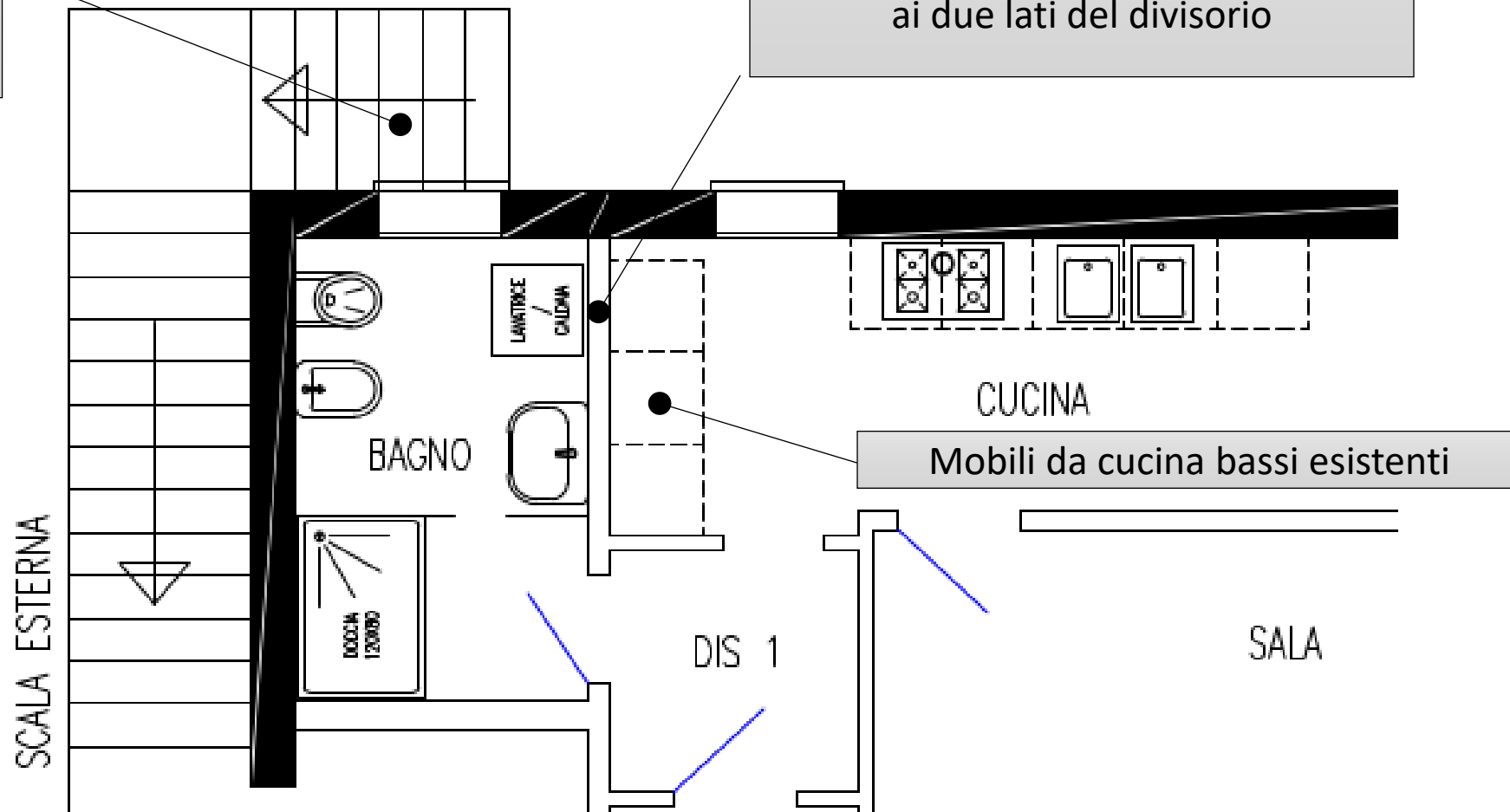


Dettagli nella slide seguente...

Unità esterna: posizione obbligata ma scomoda perché sopra la scala.
ATTENZIONE ai vicini (rumore)

Scelte obbligate.
Attenzione al rumore all'interno

Pompa di calore, accumuli e lavatrice
Sfruttare due colonne ai due lati del divisorio



(S)BILANCIAMENTO IMPIANTO A SEGUITO DELLA COIBENTAZIONE

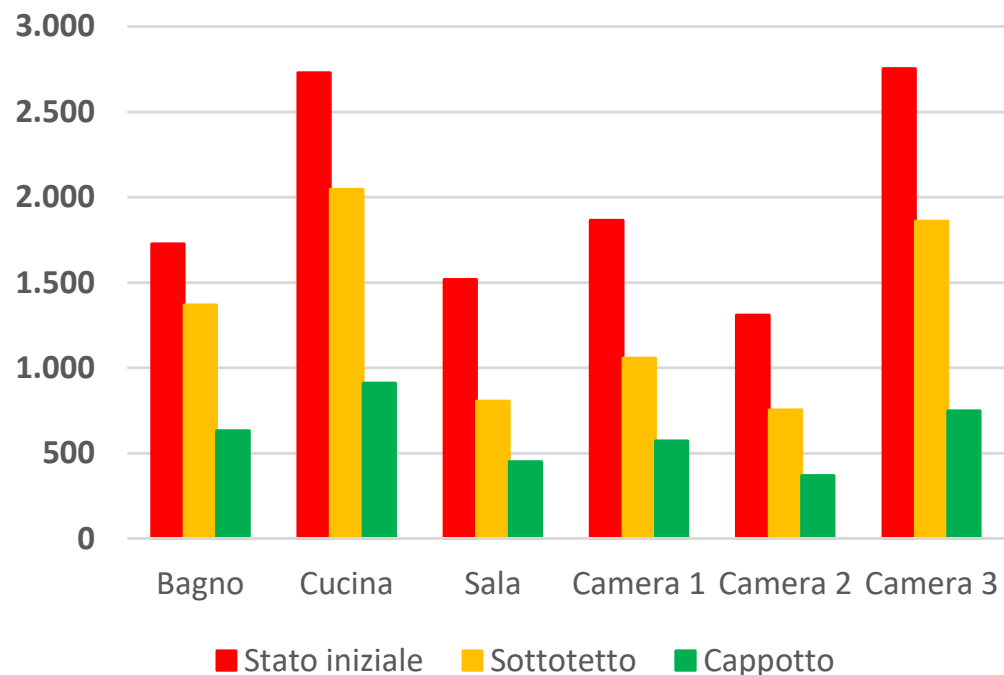
			Stato iniziale					Sottotetto					Cappotto				
Locale	S	Φve	Φtr	Φhl	Elem.	Φrad	Φrad ----- Φhl	Φtr	Φhl	Elem.	Φrad	Φrad ----- Φhl	Φtr	Φhl	Elem.	Φrad	Φrad ----- Φhl
	[m²]	[W]	[W]	[W]	n	W		[W]	[W]				[W]	[W]	n	W	
Bagno	5,75	258	1.470	1.727	8	1.120	0,65	1.113	1.371	8	1.120	0,82	374	632	8	1.120	1,77
Cucina	12,61	424	2.308	2.731	20	2.800	1,03	1.623	2.046	18	2.520	1,23	488	912	18	2.520	2,76
Sala	14,99	168	1.352	1.520	12	1.680	1,11	639	806	12	1.680	2,08	284	452	12	1.680	3,72
Camera 1	16,92	190	1.676	1.865	20	2.800	1,50	869	1.058	12	1.680	1,59	384	574	12	1.680	2,93
Camera 2	11,4	128	1.184	1.311	12	1.680	1,28	628	755	12	1.680	2,23	243	370	12	1.680	4,54
Camera 3	17,65	198	2.557	2.755	24	3.360	1,22	1.663	1.861	18	2.520	1,35	553	750	18	2.520	3,36
Disimpegno 2	4,33	49	233	282				22	70				60	109			
Corridoio	7,64	86	531	617				150	235				215	300			
Disimpegno 1	2,58	29	160	189				28	57				59	88			
TOTALE	93,9	1.530,0	11.471	12.997	96	13.440	1,03	6.735	8.259	80	11.200	1,36	2.660	4.187	80	11.200	2,67

Bilanciamento non ideale, fatto in economia con i corpi scaldanti esistenti

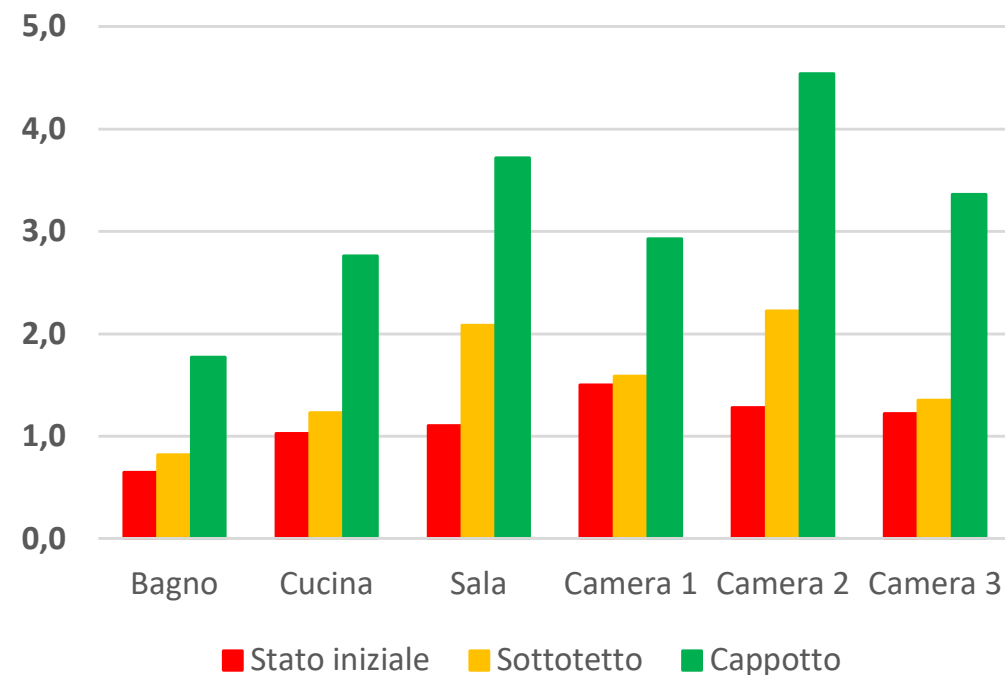
La nuova configurazione è stata decisa in funzione dello stato finale dell'edificio

In generale, quando si fanno opere di coibentazione occorre verificare la (ri)distribuzione delle potenze dei corpi scaldanti

Carico termico dei locali



Sovradimensionamento radiatori



Bilanciamento non ideale, fatto in economia con i corpi scaldanti esistenti

La nuova configurazione è stata decisa in funzione dello stato finale dell'edificio

In generale, quando si fanno opere di coibentazione occorre verificare la distribuzione delle potenze dei corpi scaldanti

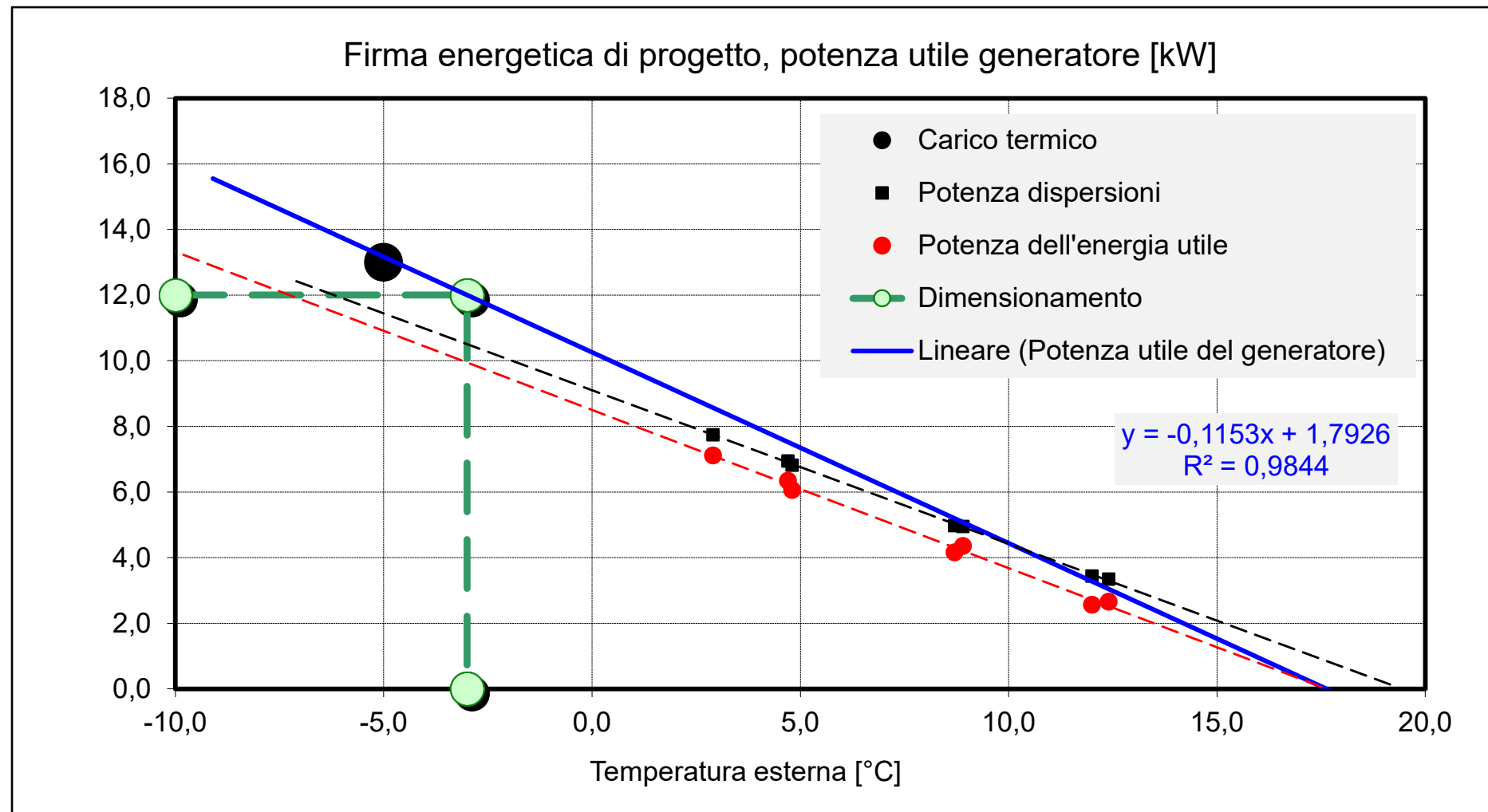
... e si potrebbe ancora pensare ad una VMC (ma spazio per tubazioni e unità con ventilatori e scambiatore?)

Dimensionamento poco diverso dal carico termico a causa delle dispersioni per trasmissione molto elevate.

Apporti gratuiti (12% delle dispersioni) e ventilazione (8% delle dispersioni) incidono poco.

Se si tiene conto dei rendimenti dell'impianto, il carico termico ed il dimensionamento energetico portano agli stessi risultati.

Temperatura di non-riscaldamento 18 °C

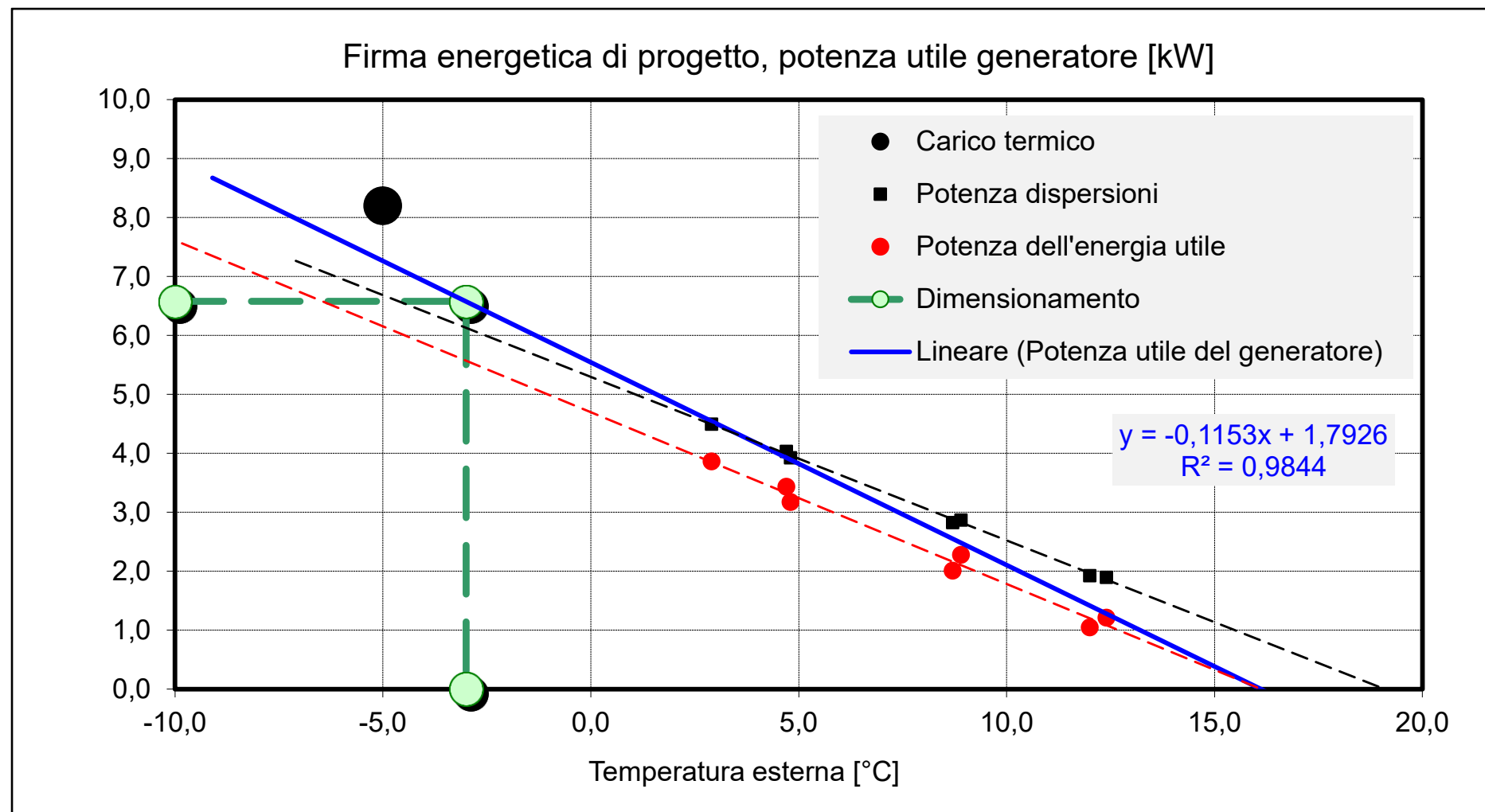


Dimensionamento un po' diverso dal carico termico

Apporti gratuiti
20% delle dispersioni
e ventilazione
10 % delle dispersioni

I rendimenti
dell'impianto non
compensano più questi
effetti.

Temperatura di non-
riscaldamento 16 °C

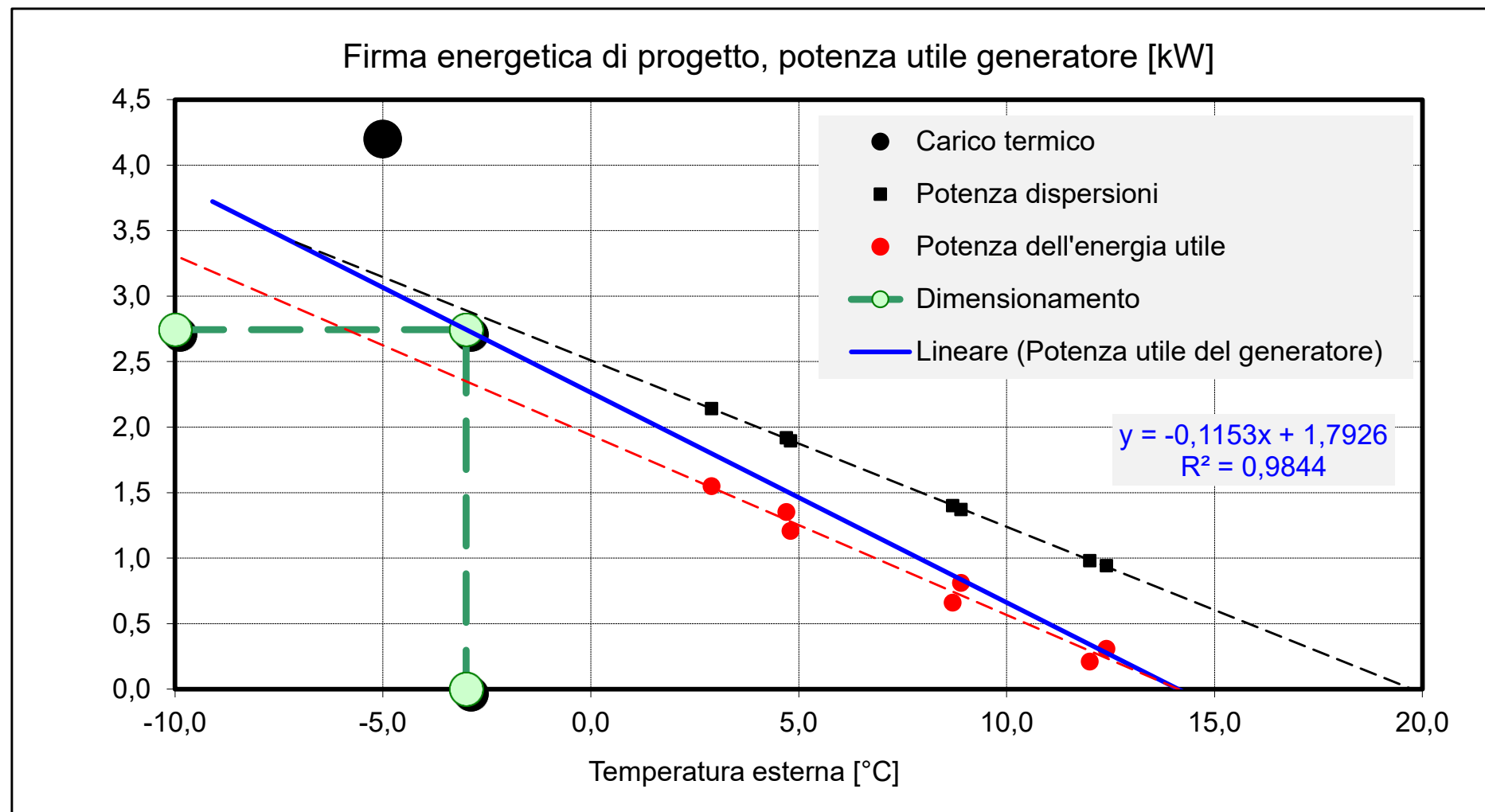


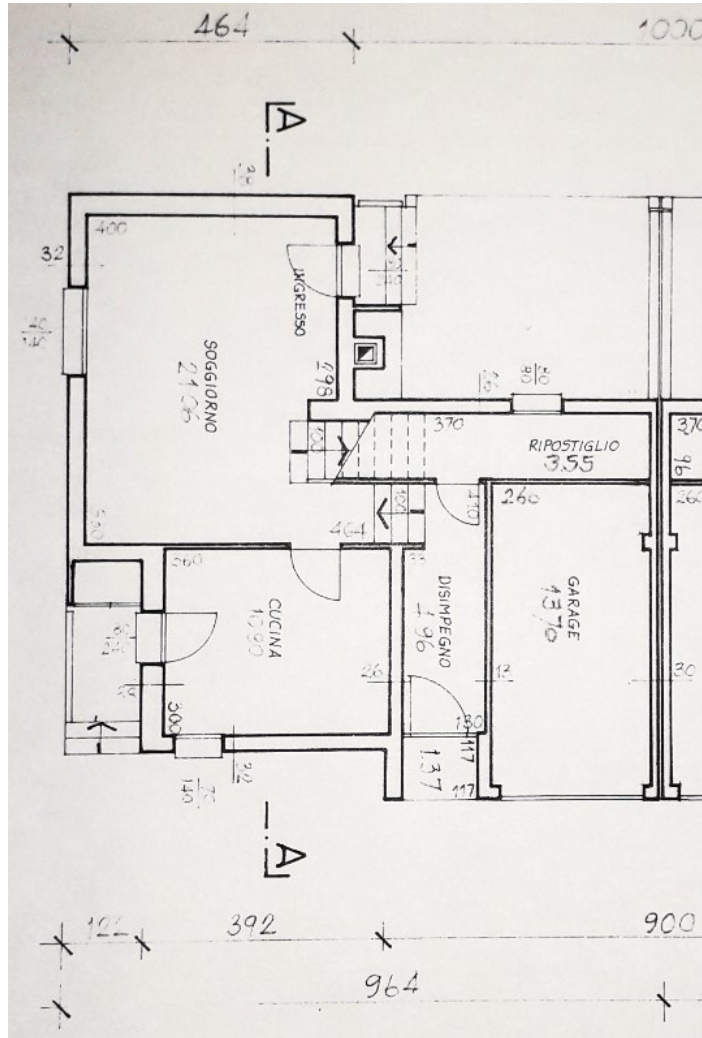
Dimensionamento molto diverso dal carico termico

Apporti gratuiti
40% delle dispersioni
e ventilazione
20 % delle dispersioni

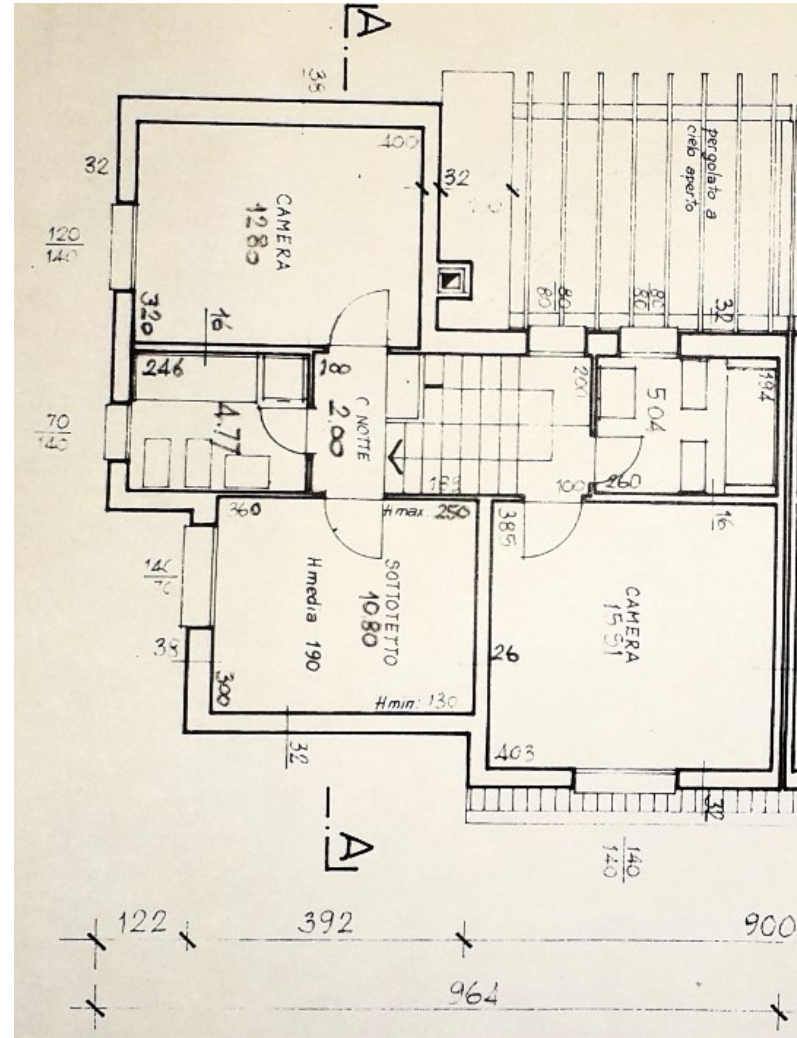
Il rendimento
dell'impianto compensa
solo parzialmente
l'effetto degli apporti.

Temperatura di non-
riscaldamento 14 °C





Piano terra



Piano primo

- Frazione di bivilla, 90 m² suddivisi in piani sfalsati.
- Impianto a radiatori diviso in due zone, collegamento monotubo.
- Disponibili le fatture, non disponibili calcoli prestazione energetica.
- Caldaia atmosferica 21 kW installata all'esterno su accesso secondario
Accumulo acqua calda sanitaria integrato
- Edificio da poco ridipinto e rifinito esternamente.
- Tetto coibentato a circa 0,2 W/m²K
- Impianto fotovoltaico da 11 kW con batteria da 9 kWh

	Giorni	Lettura	Consumo		Base	Risc.	Test	Base	GG	Consumo	Potenza
Data	gg	m³	m³	m³/gg	m³	m³	°C	°C	gg°C	m³/GG	kW
12/10/2022		16803						17			
16/02/2023	127	17637	834	6,57	204	630	8,3		1101	0,573	2,63
18/05/2023	91	18011	374	4,11	146	228	11,3		520	0,438	1,64
11/10/2023	146	18245	234	1,60	234	0	22,7				0,64
16/02/2024	128	19130	885	6,91	205	680	7,5		1218	0,558	2,77
16/03/2024	29	19307	177	6,10	46	131	9,8		208	0,628	2,44

Base per usi diversi dal riscaldamento 600 W...

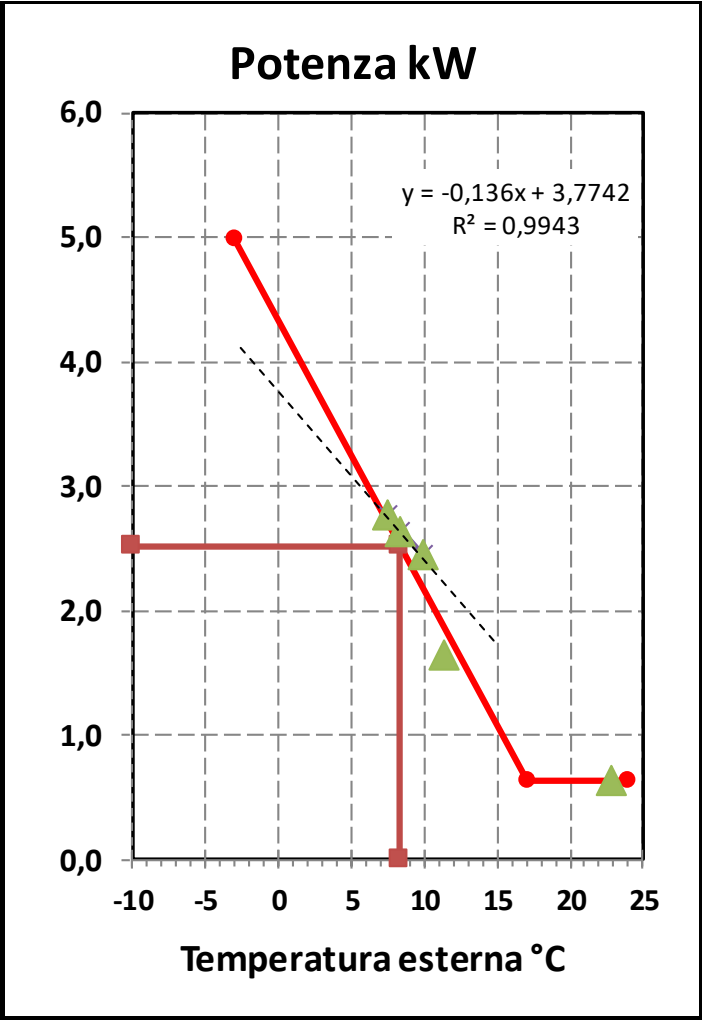
Consumo costante per usi diversi dal riscaldamento

Consumo per riscaldamento

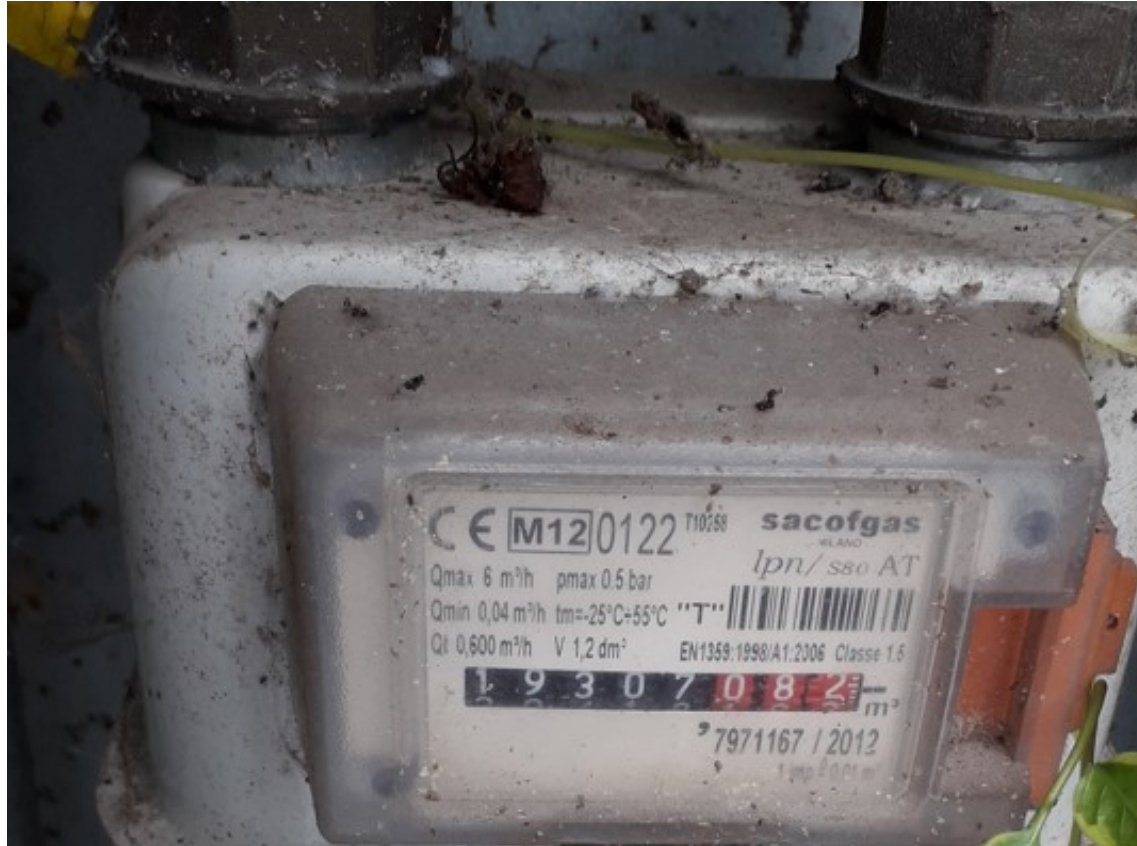
Verifica con periodi diversi
Due sono significativi

Dati per firma energetica

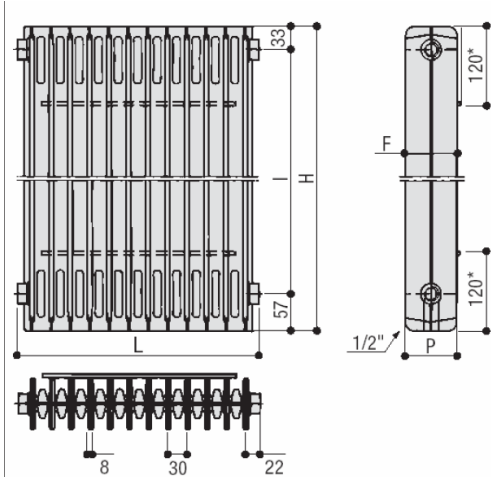
Descrizione	Simbolo	U.M.	Valore
Unità di misura combustibile			Sm³
Potere calorifico combustibile		kWh/Sm³	9,6
Gradi giorno località	DD	°Cday	2.150
Temperatura di spegnimento	θ ₀	°C	17
Temperatura di progetto	θ _{des}	°C	-3,0
Durata stagione di riscaldamento		days	185
	t _{seas}	h	4.440
Consumo annuo		Sm³	1.450
	E _{HW;del;y}	kWh	13.920
Consumo estivo		Sm³	234
	E _{HW;del;summ}	kWh	2.246
Giorni misura consumo estivo	t _{summ}	gg	146
Potenza media a.c.s.	Φ _{W;avg}	kW	0,6
Consumo per a.c.s. annuale	E _{W;del;y}	kWh	5.616
Consumo per riscaldamento	E _{H;del;y}	kWh	8.304
Ore giornaliere accensione riscaldamento		h/gg	24
	t _{H,on;day}	h	4.440
Potenza media generatore	Φ _{H;avg}	kW	1,9
Temperatura esterna media	θ _{ext;avg;H}	°C	8,4
Potenza per riscaldamento	Φ _{H;des}	kW	4,3
Potenza per a.c.s.	Φ _{W;des}	kW	0,6
Potenza di progetto	Φ _{des}	kW	5,0



I dati dei consumi rilevati da contatore (triangoli verdi) sono compatibili con la firma energetica semplificata



- Conferma ulteriore dei consumi storici
- Totale 19307 m³ di metano
- Periodo: 2012...2024 = 12 anni
- Consumo medio: $19307/15 = 1608$ m³/anno
- Preferibile utilizzare i dati rilevati dalle fatture perché:
 - 1 cambio occupanti durante i 12 anni
 - Coibentato il tetto



Elementi n	Altezza H	Larghezza L	Profondità P	Interasse I	Peso Kg	Contenuto acqua	Potenza (watt)	Esponente n
Element n	Height mm	Width mm	Depth mm	Distance mm	Weight Kg	Capacité d'eau	Power (watt)	Exponent n
8	600	254	105	510	13,1	2,4	383	1,27042
10	600	314	105	510	16,3	3	478	1,27042
12 •	600	374	105	510	19,6	3,6	574	1,27042
14	600	434	105	510	22,9	4,2	670	1,27042
16 •	600	494	105	510	26,1	4,8	765	1,27042
18	600	554	105	510	29,4	5,4	861	1,27042
20 •	600	614	105	510	32,7	6	975	1,27042
22	600	674	105	510	35,9	6,6	1052	1,27042
24 •	600	734	105	510	39,2	7,2	1148	1,27042
26	600	794	105	510	42,5	7,8	1244	1,27042
28 •	600	854	105	510	45,7	8,4	1340	1,27042

	Area m²	Lrad mm	Srad mm	Hrad mm	Installati W Dt50
Piano terra	40,5				5106
Ingresso	4,9	360	105	800	728
Bagno	3,6	490	105	800	971
Cucina	10,9	670	105	600	1148
Sala	21,1	970	105	600	1531
Sala		370	105	800	728
Piano primo	49,4				5645
Bagno	5,1	680	105	600	1052
Camera	15,9	850	105	600	1340
Camera	12,8	790	105	600	1244
Ripostiglio	4,8	550	105	600	861
Laboratorio	10,8	730	105	600	1148
TOTALE	89,9				10751

Se mancano i dati dei costruttori, si può sempre ricorrere alle tabelle della UNI 10200...
... ma le potenze saranno con DT=60

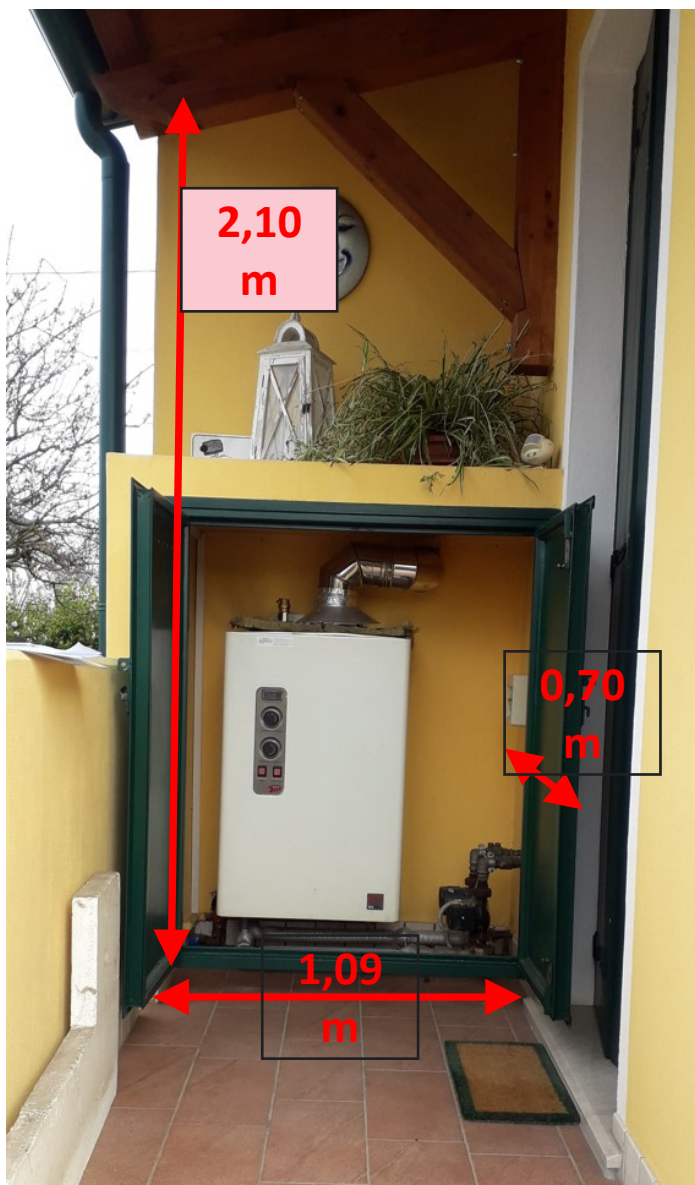
	Area m ²	Lrad mm	Srad mm	Hrad mm	Installati W Dt50	Exp n	Tm,des °C	Erogabile
Piano terra	40,5				5106			2410
Ingresso	4,9	360	105	800	728	1,24	47,5	347
Bagno	3,6	490	105	800	971	1,24		463
Cucina	10,9	670	105	600	1148	1,27		537
Sala	21,1	970	105	600	1531	1,27		717
Sala		370	105	800	728	1,24		347
Piano primo	49,4				5645			2642
Bagno	5,1	680	105	600	1052	1,27		492
Camera	15,9	850	105	600	1340	1,27		627
Camera	12,8	790	105	600	1244	1,27		582
Ripostiglio	4,8	550	105	600	861	1,27		403
Laboratorio	10,8	730	105	600	1148	1,27		537
TOTALE	89,9				10751			5052

Con una temperatura media di 47,5 °C si riesce ad emettere 5 kW

Non è un valore ottimale ma al limite dell'accettabile e, anche se l'efficienza non è al massimo, c'è del fotovoltaico da sfruttare

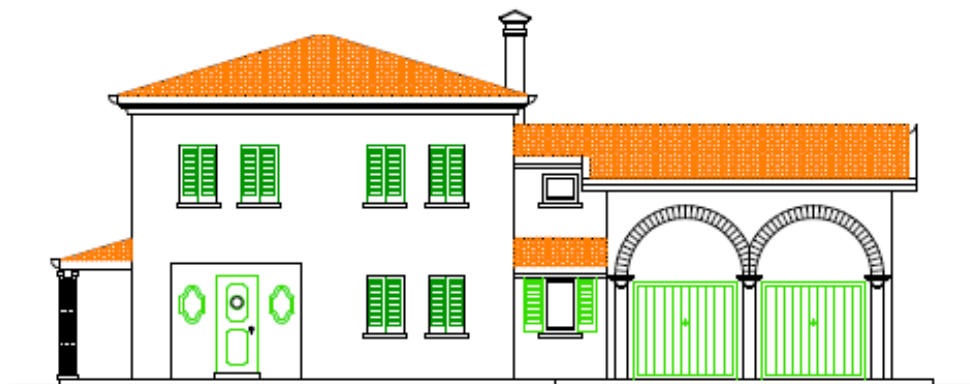


- Il collegamento è probabilmente monotubo. Non c'è traccia di collettori nell'abitazione.
- Occorreranno 2...3 °C in più di temperatura di mandata e la potenza dei corpi scaldanti deve essere diminuita in considerazione dell'alimentazione dal basso.
- Occorrerà verificare bene la taratura delle valvole (by-pass e derivazione) ed il dimensionamento della pompa di circolazione (ce ne sono due, una per circuito, mentre il problema del monotubo è la prevalenza...).
- Nota: le portate non vanno dimensionate in base alla potenza nominale dei corpi scaldanti ma in base alla potenza che si vuole trasmettere → 2,5 kW per anello = un grosso radiatore

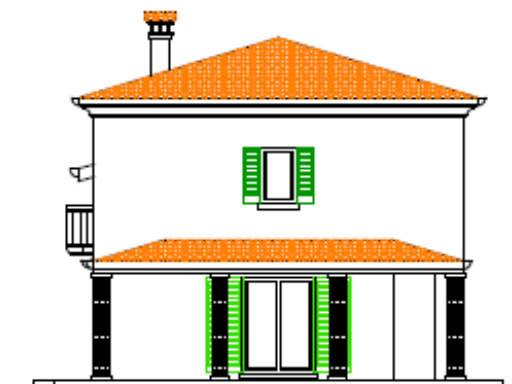


- Non facile trovare un posizionamento della pompa di calore accettabile.
- Posizione attuale caldaia: ingresso secondario lato nord
Lì si trova la partenza dell'impianto di riscaldamento con le due zone.
- Dall'altra parte della parete ci sono soggiorno e cucina
- Probabilmente dovrà essere installata una macchina monoblocco in prossimità della grondaia della tettoia... se il proprietario è d'accordo...





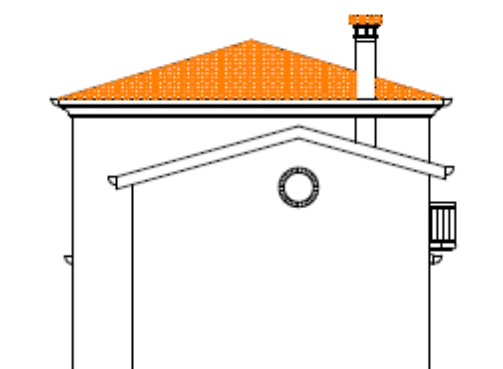
PROSPETTO NORD - EST



PROSPETTO SUD - EST



PROSPETTO SUD - OVEST

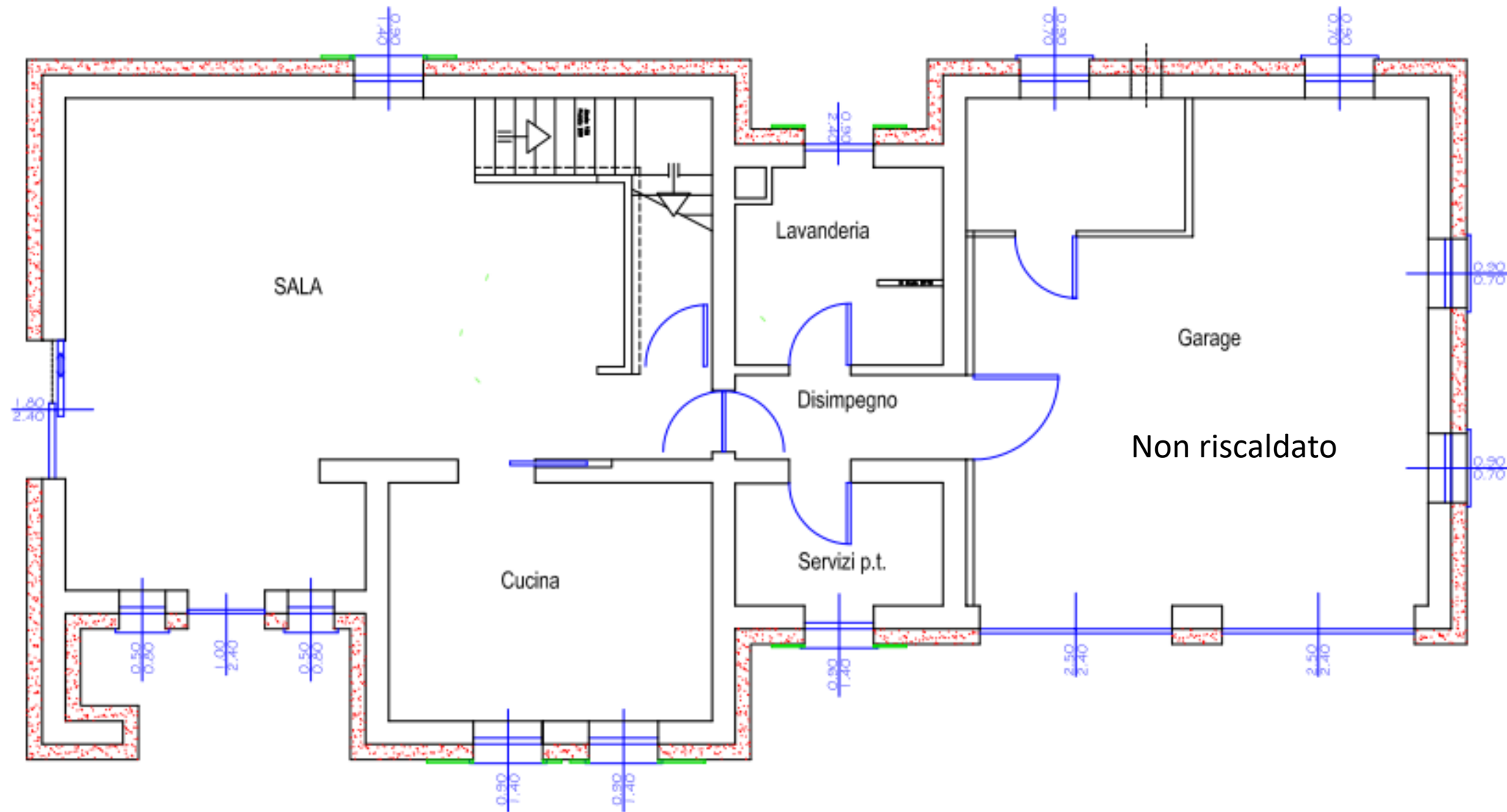


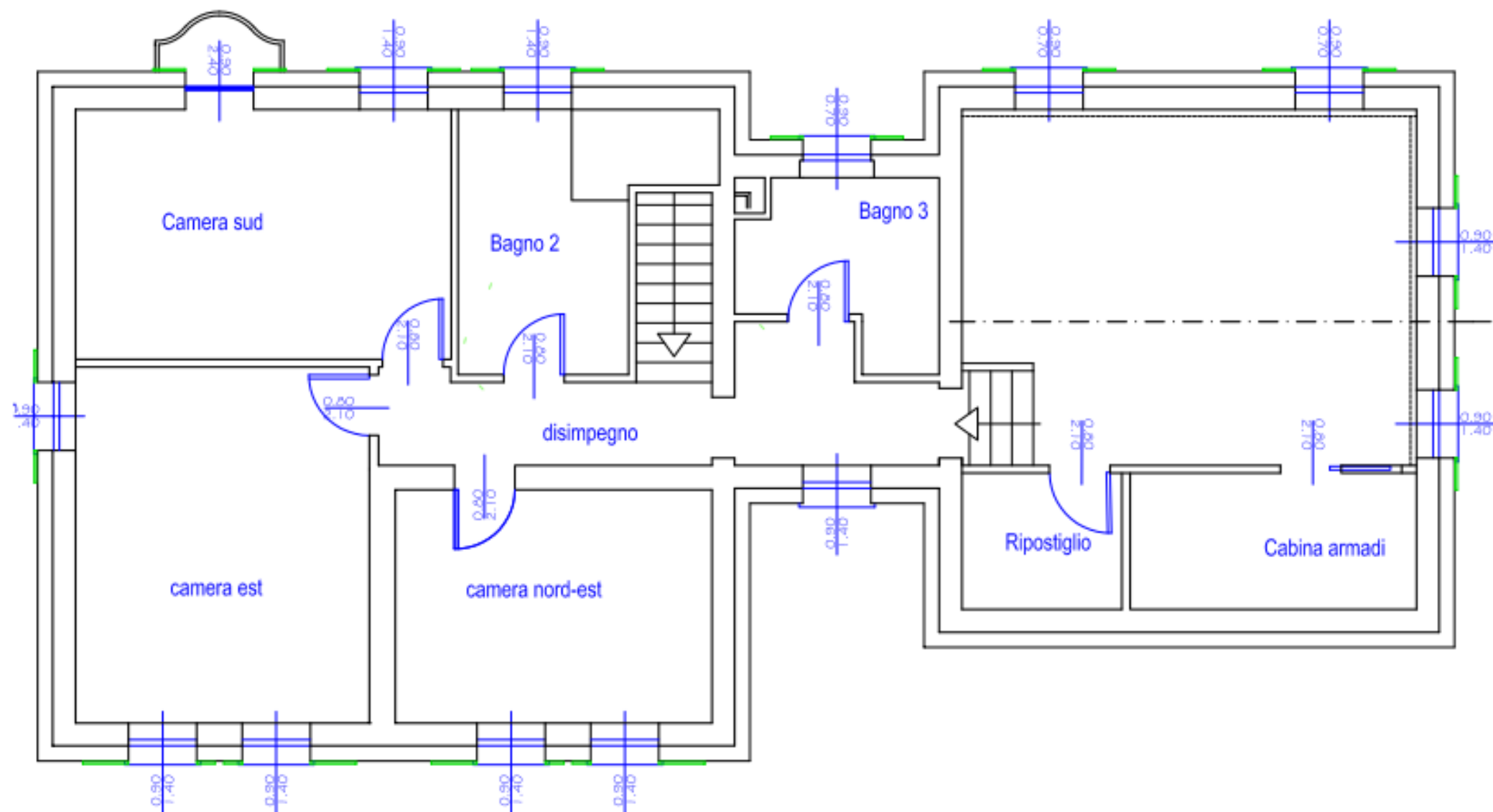
PROSPETTO NORD - OVEST

Struttura in muratura con cappotto esterno 16 cm, trasmittanza 0,18 W/m²K

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

Potenza di progetto originale 8,2 kW ma dipende molto dalle scelte in merito alle portate di ventilazione





Dispersioni per locale		Dispersioni per componente		Dispersioni per orientamento		Riassunto zone			
Potenza dispersa per trasmissione, ventilazione, effetto intermittenza e coefficiente di sicurezza									
Locale	Zona	Descrizione	θ_i [°C]	V [m³]	S [m²]	Φ_{tr} [W]	Φ_{ve} [W]	Φ_{rh} [W]	Φ_{hl} [W]
1	1	Soggiorno	20,0	147,7	49,22	1325	615	0	1941
2	1	Lavanderia	20,0	20,8	6,94	315	87	0	401
3	1	Bagno piano terra	20,0	13,7	4,29	287	57	0	344
4	1	Cucina	20,0	39,1	13,02	445	163	0	608
5	1	Camera NORD-EST	20,0	58,5	12,94	556	244	0	799
6	1	Camera EST	20,0	84,0	18,24	686	350	0	1036
7	1	Camera SUD	20,0	73,6	16,30	582	307	0	889
8	1	Bagno vasca	20,0	40,4	8,95	298	168	0	466
9	1	Bagno doccia	20,0	17,0	5,64	120	71	0	191
10	1	Corridoio	20,0	48,8	12,32	194	203	0	397
11	1	Camera NORD	20,0	81,4	28,06	1155	339	0	1494
12	1	Locale amadi	20,0	15,5	6,80	382	65	0	446
13	1	Ripostiglio	20,0	8,7	3,80	243	36	0	279

Risultati

Dettaglio dispersioni

Potenza dispersa per trasmissione

Φ_{tr}

6587

W

Potenza dispersa per ventilazione

Φ_{ve}

2704

W

Potenza dispersa per intermittenza

Φ_{rh}

0

W

Totali

Volume totale

V

649,1

m³

Potenza totale

Φ_{hl}

9292

W

Potenza totale, con fattore di sicurezza

Φ_{hl} sic

9292

W

Dispersioni

- **trasmissione: 6,6 kW**
- **ventilazione**
 - **n=0,5 h⁻¹ : 2,7 kW**
 - **meccanica 270 m³/h:**
0,25 ...2,3 kW

Intervallo risultante: 6,9...10,5 kW

Carico termico con n=0,5 h⁻¹:
6,6 + 2,7 = 9,3 kW nel seguito

Sicuramente abbondante perché
corrisponde a **320 m³/h**,
ampiamente sufficienti per 10
persone

LOCALE		Cucina	Sala A	Sala B	Sala C	Lavand.	Bagno 1	Totale zona	Camera 1 NE	Camera 2 E	Camera 3 S	Totale zona	Totale edificio
Carico termico	W	608	310	1.049	582	401	344	3.294	799	1.036	889	5.997	9.291
Temperatura media nominale	°C	70	1941										
Temperatura media desiderata	°C	45	1.941										
Esponente corpo scaldante		1,33											
Fattore di correzione		2,51											
Potenza nominale di progetto	W	1529	779	2638	1463	1008	865	8.281	2009	2605	2235	15.077	23.358
Potenza singolo elemento	W	150											
Numero elementi indicativo		11	6	18	10	7	6		14	18	15		
Larghezza elemento	mm	80											
Lunghezza radiatore	mm	880	480	1440	800	560	480		1120	1440	1200		
Potenza radiatore installato	W	2304	756	2560	1420	1485	1485	10.010	2560	2560	2520	16.671	26.681
Temperatura media teorica	°C	38,4	45,6	45,6	45,6	38,7	36,6	41,7	40,8	45,3	42,8	43,2	42,6

Dimensionamento fatto come al solito con il carico termico, si trascurano gli apporti gratuiti
... ma si comincia a cambiare strada rispetto alla progettazione tradizionale perché si fa un passaggio in più per progettare la temperatura di mandata massima da utilizzare

Le dimensioni dei radiatori non sono maggiori di quelle «normali» disponibili sotto finestra

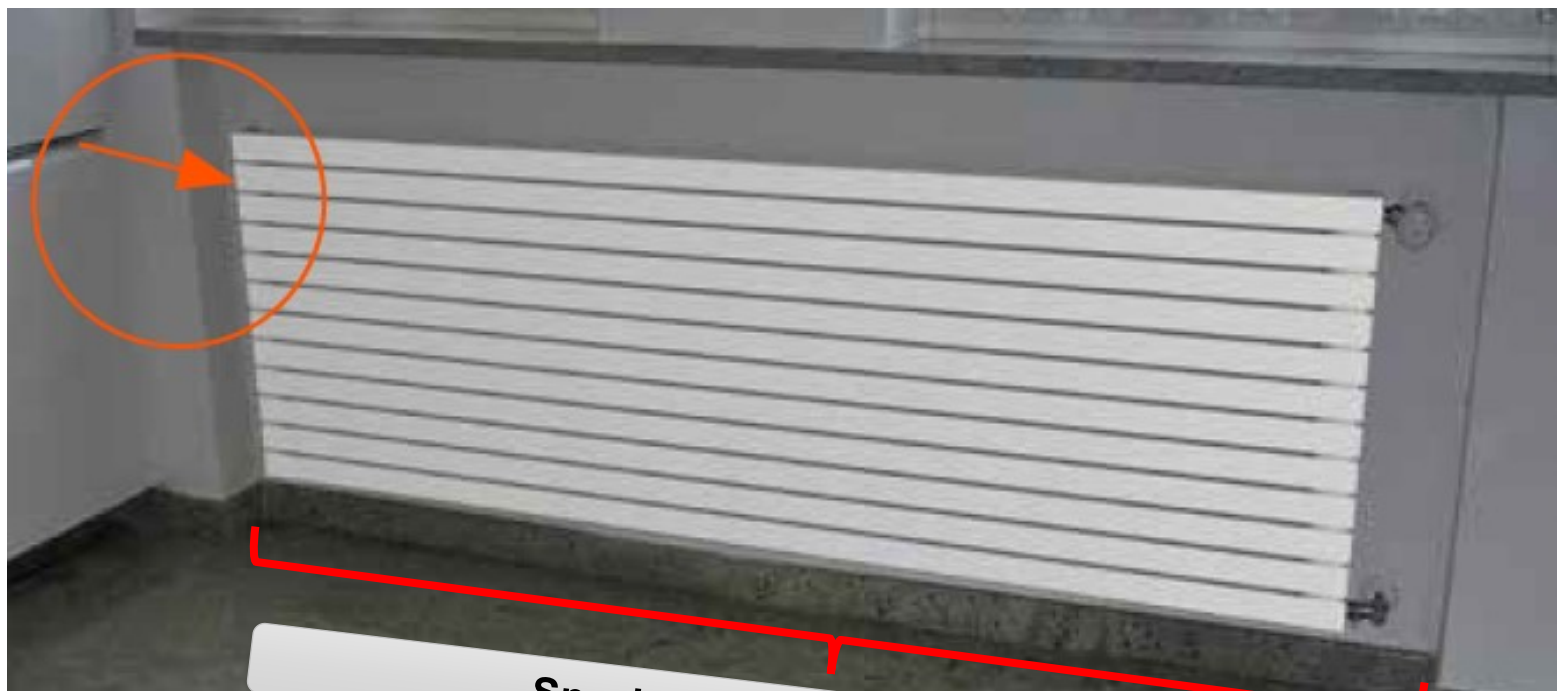
**Temperatura di
mandata 80 °C**



**Temperatura di
mandata 45 °C**

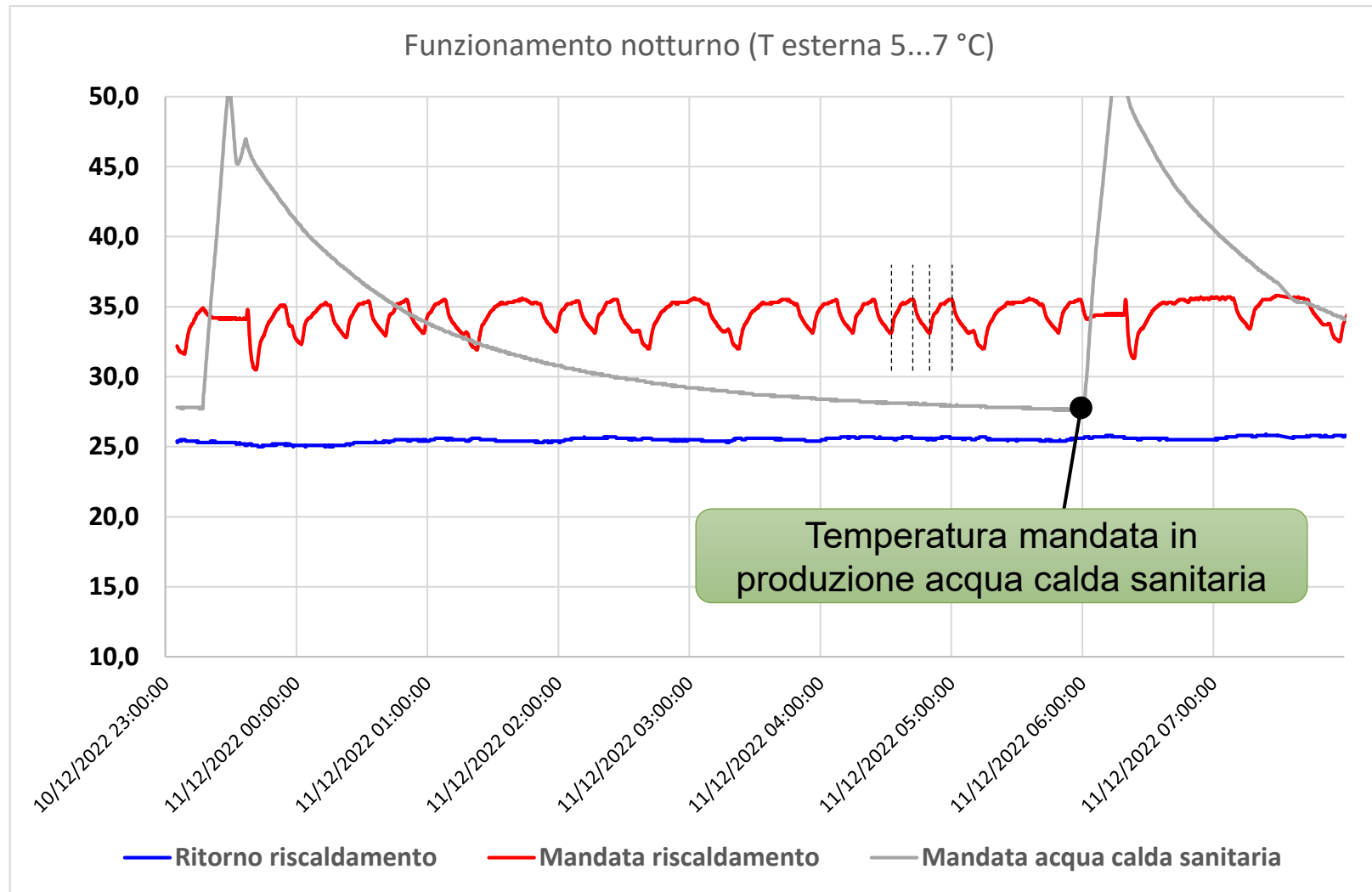


Occhio ai mobili!

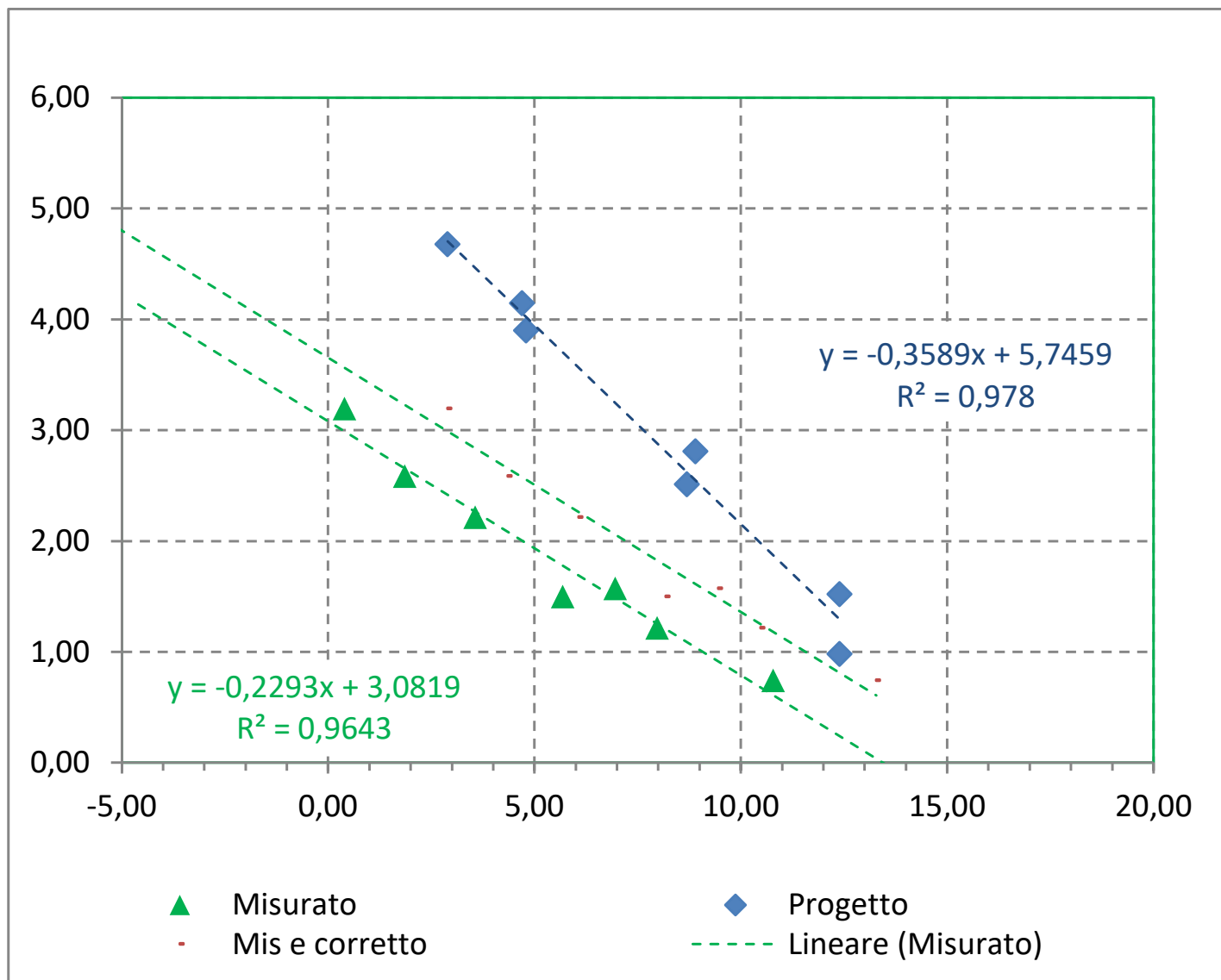


Spazio sotto finestra 2,2 m

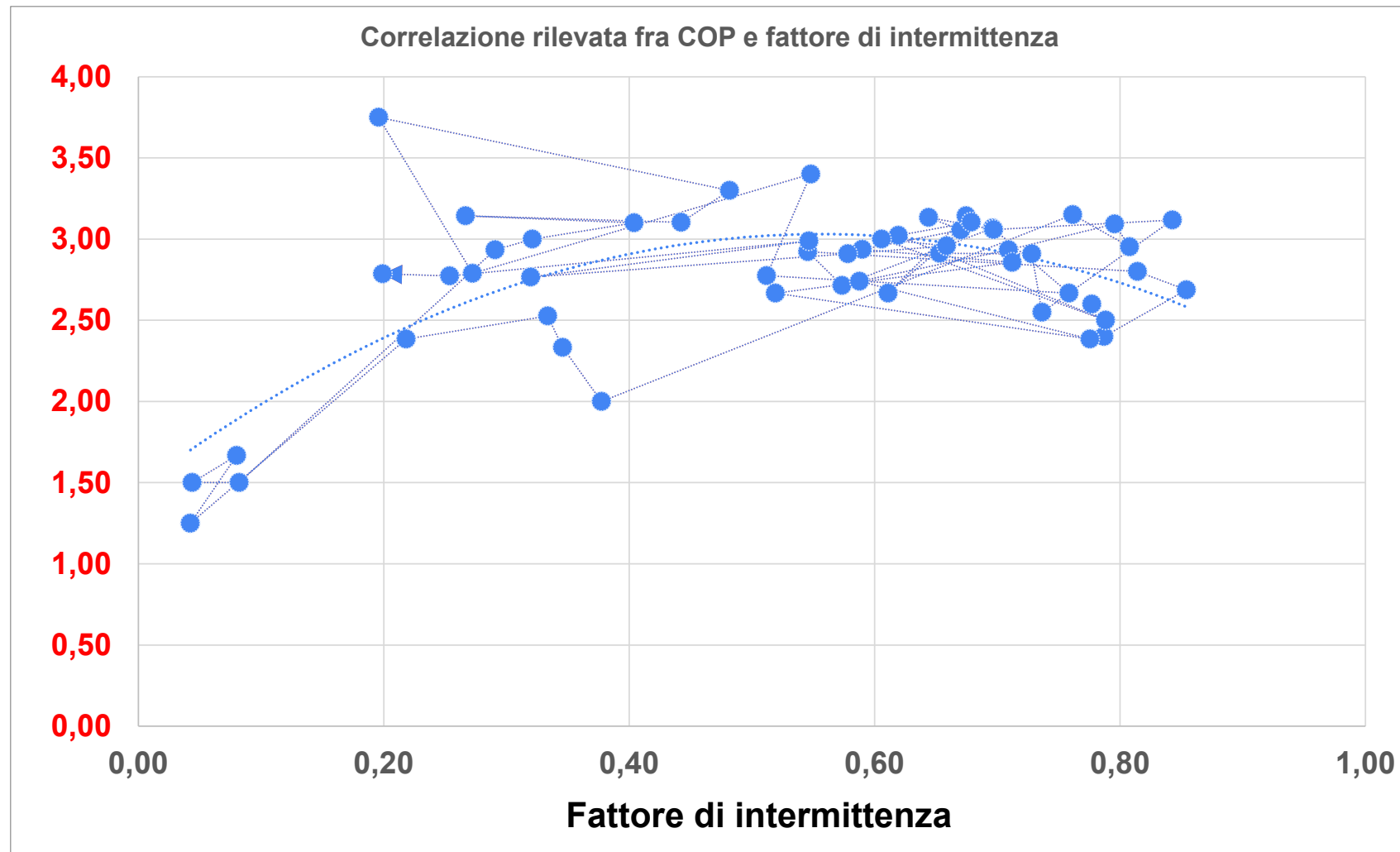
**Quello
che ha
voluto il
cliente**



Temperature di funzionamento rilevate
La temperatura esterna era compresa fra 5 e 7 °C.
La pompa di calore funziona ancora ad intermittenza e fa molta intermittenza.
La temperatura esterna è stabile con una curva climatica che punta a 39°C alla temperatura di progetto.
Il salto termico effettivo sui radiatori è di circa 10 °C



- I consumi sono inferiori alle previsioni
- La firma energetica misurata è stata corretta traslandola di 2,5 °C per tenere conto della temperatura interna di 18 °C
- Durante il rilievo la VMC era spenta.
- Pompa di calore installata simile a modello 06/08
- Nel 2022...2023 la potenza massima giornaliera riscontrata è stata di 3 kW
- Nel 2023...2024 il funzionamento è stato limitato a 12 ore/giorno durante il giorno per sfruttare al massimo il fotovoltaico e le temperature più elevate dell'aria esterna.
→ sfruttamento del sovradimensionamento

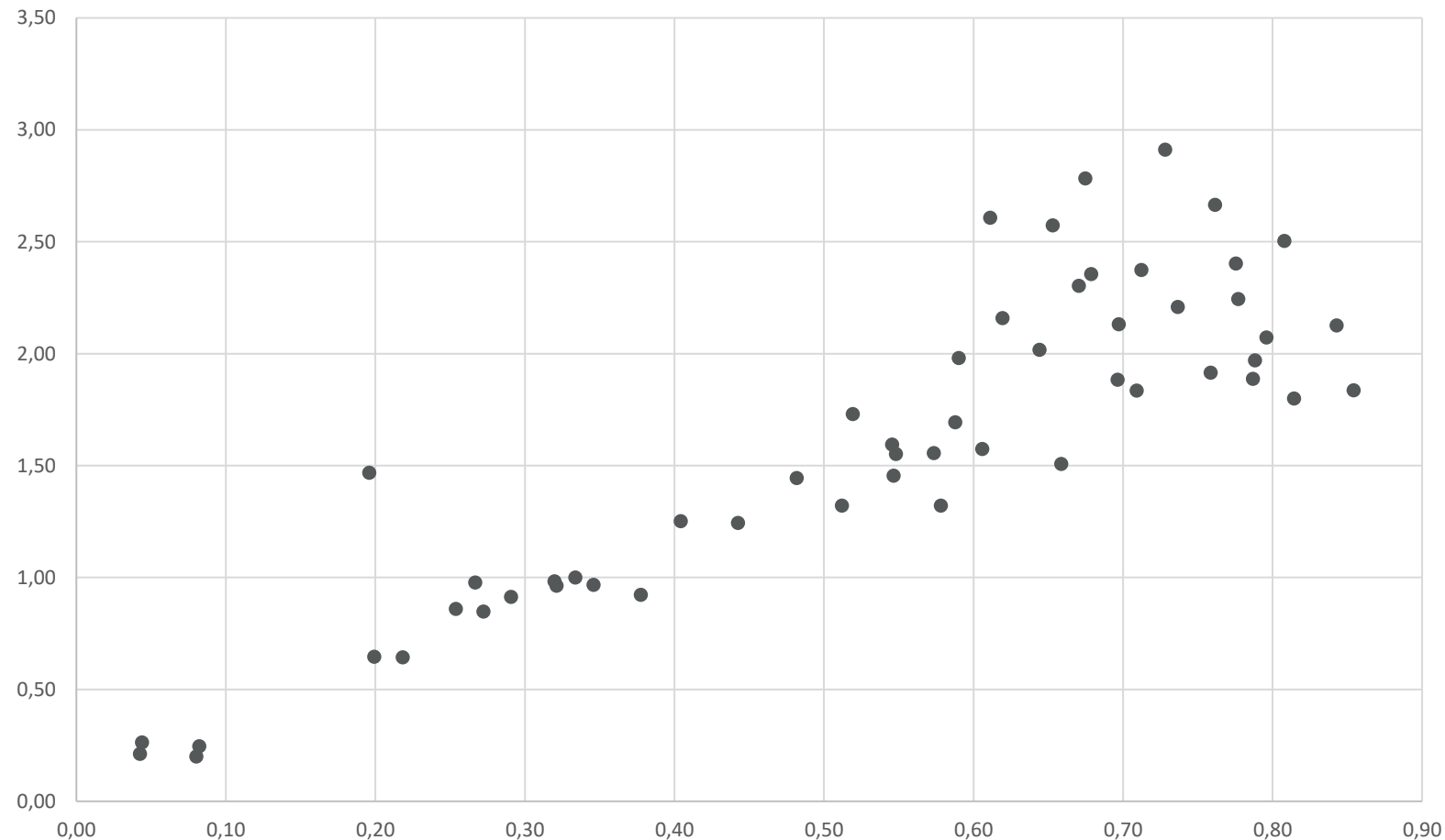


Buona parte del tempo la pompa di calore ha funzionato ad intermittenza

Le ascisse non sono il fattore di carico ma il fattore di intermittenza.

Non si arriva ad 1,0 a causa degli sbrinamenti e della produzione di acqua calda sanitaria

Correlazione IR/potenza

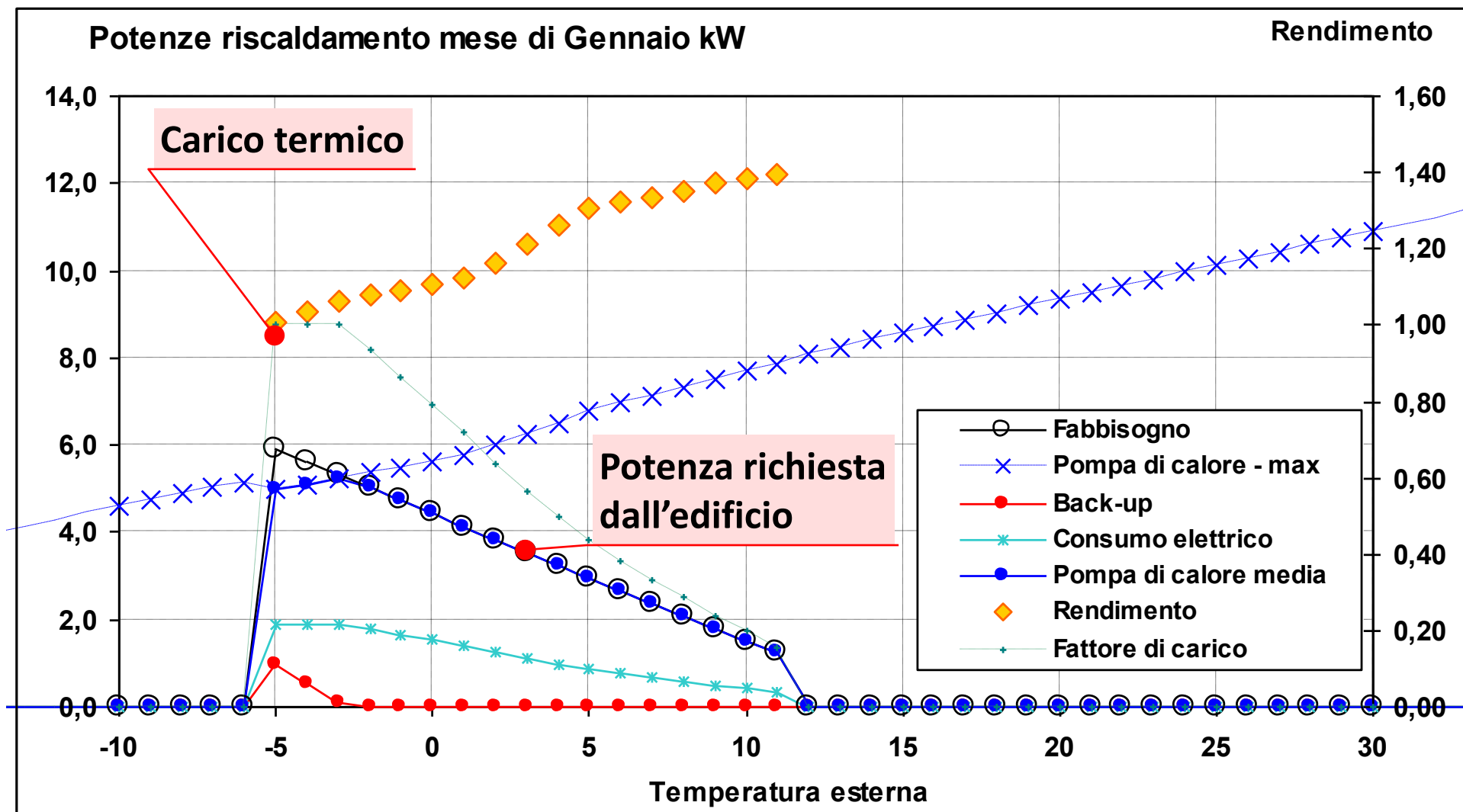


Il carico sulla pompa di calore è sempre molto basso.

Massima potenza media giornaliera nell'inverno: 3 kW

Si conferma che la pompa di calore sta funzionando ad intermittenza perché c'è una correlazione stretta fra potenza e fattore di intermittenza

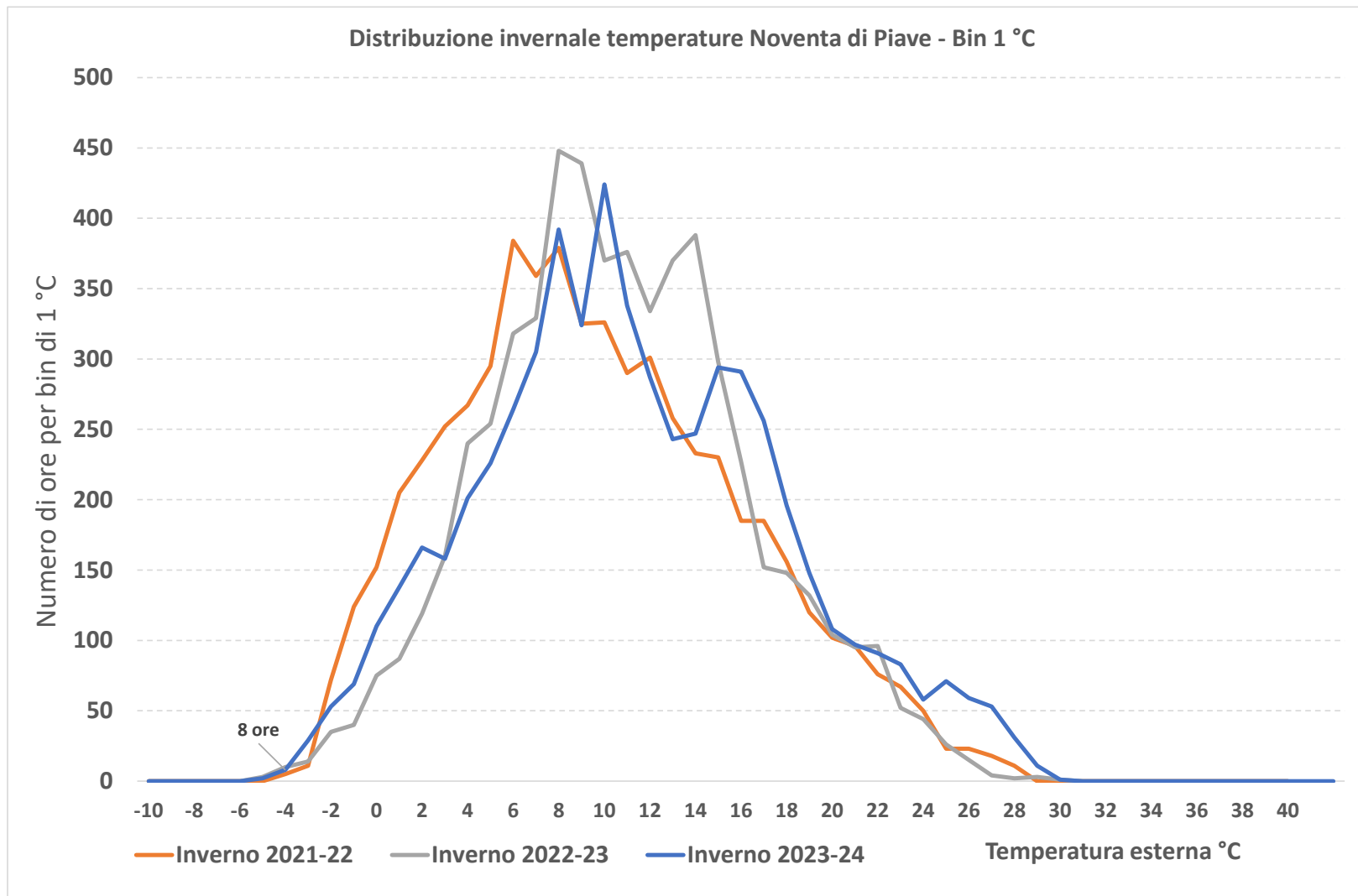
Solo a partire da $\cong 0,6$ la nuvola si apre (funzionamento anche a potenza superiore al minimo)



Ci mostrerebbero già molte cose interessanti...

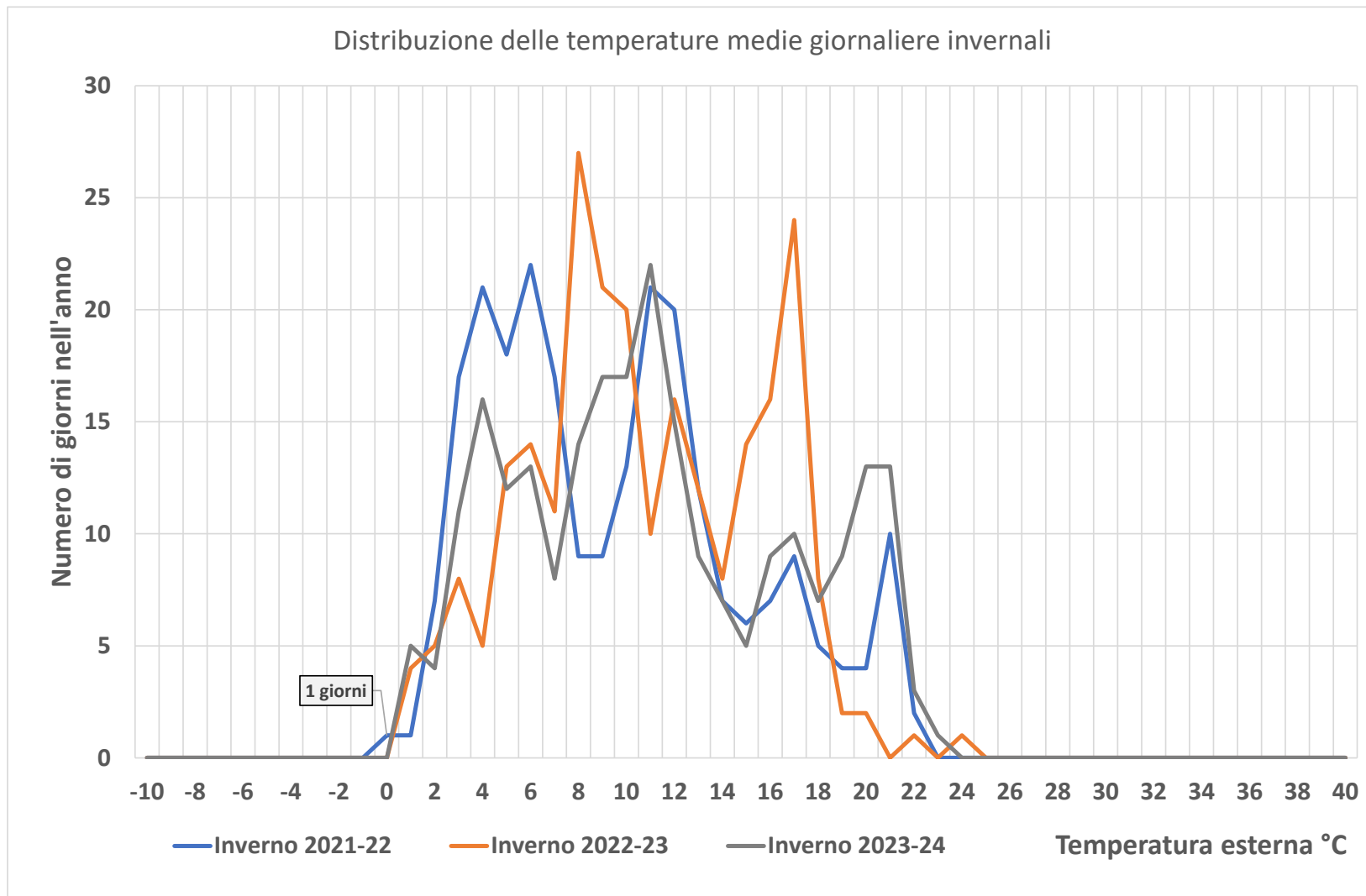
Per esempio il numero limitato di ore in cui la temperatura è realmente così bassa

- La temperatura di progetto è un valore determinato su base statistica: temperatura che si verifica per un certo numero di ore ogni numero di anni.
- Il valore è stato calcolato anni fa, è ancora valido?
- La coibentazione degli edifici nuovi e ristrutturati è tale da livellare la temperatura interna a livello giornaliero → far riferimento alle temperature orarie o alle temperature giornaliere?
- In alcuni paesi (Svizzera) la temperatura di progetto va corretta in base alla costante di tempo dell'edificio: bonus in aumento fino a 3 °C → equivale a passare dalla progettazione in base alla temperatura oraria estrema alla temperatura giornaliera estrema.
- Esempio nelle slide seguenti: confronto fra i dati climatici rilevati negli ultimi anni e la temperatura di progetto di -5 °C.

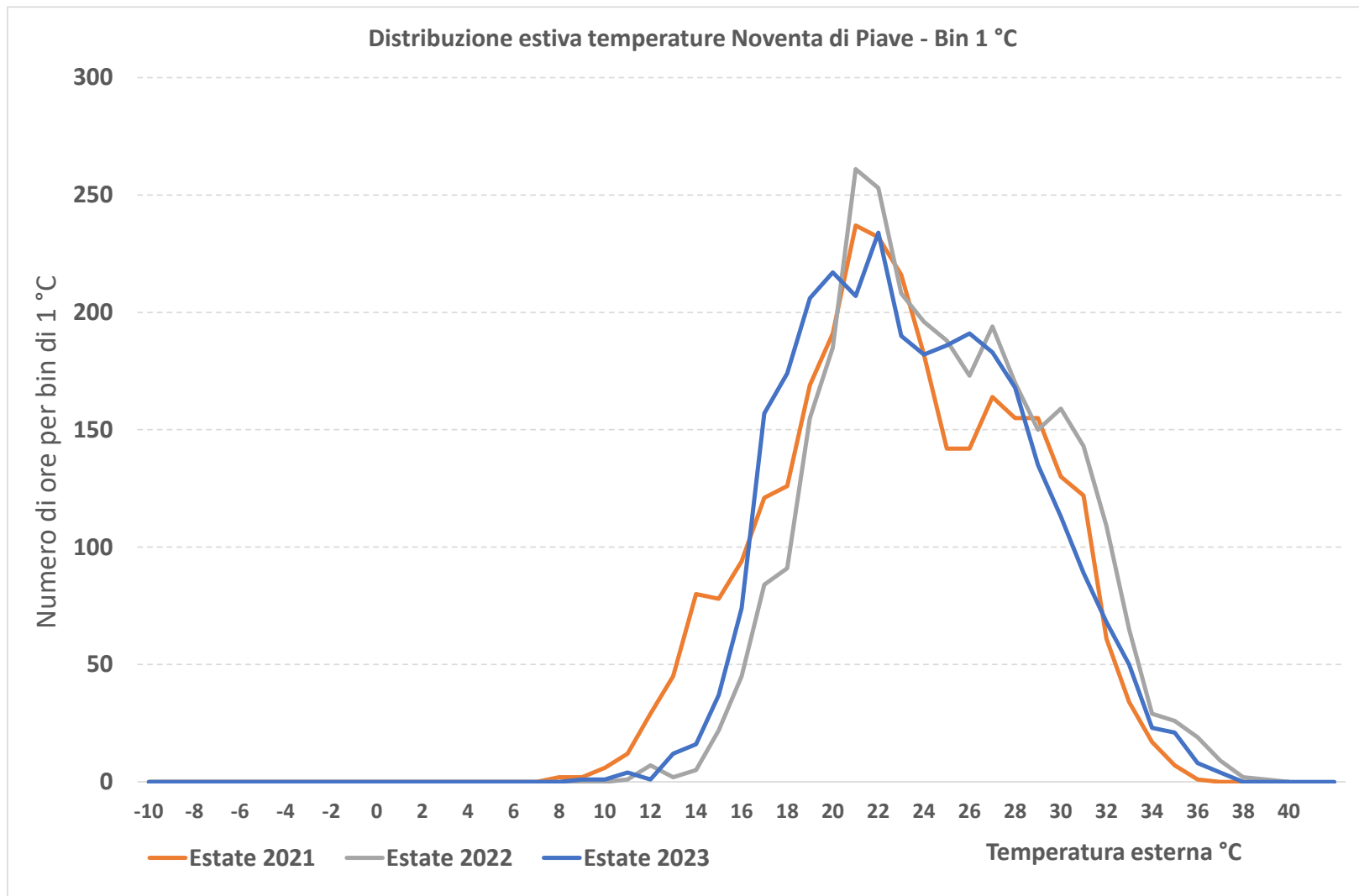


- Ci sono pochissime ore sotto i -3 °C, la temperatura di -4°C viene raggiunta per 8 ore all'anno...
- ... e quelle ore non sono tutte consecutive...

Bin 1°C dal 15/09 and 15/05 dell'anno successivo



- In tre anni c'è un solo giorno con temperatura esterna media di 0 °C. Accadde nel 2021.
- Bin 1°C dal 15/09 and 15/05 dell'anno successivo
- Se la casa è decentemente isolata e ha una buona capacità termica, questo fornisce un ulteriore margine nel dimensionamento



- Nella valutazione estiva è interessante vedere fino a che temperatura deve lavorare la pompa di calore

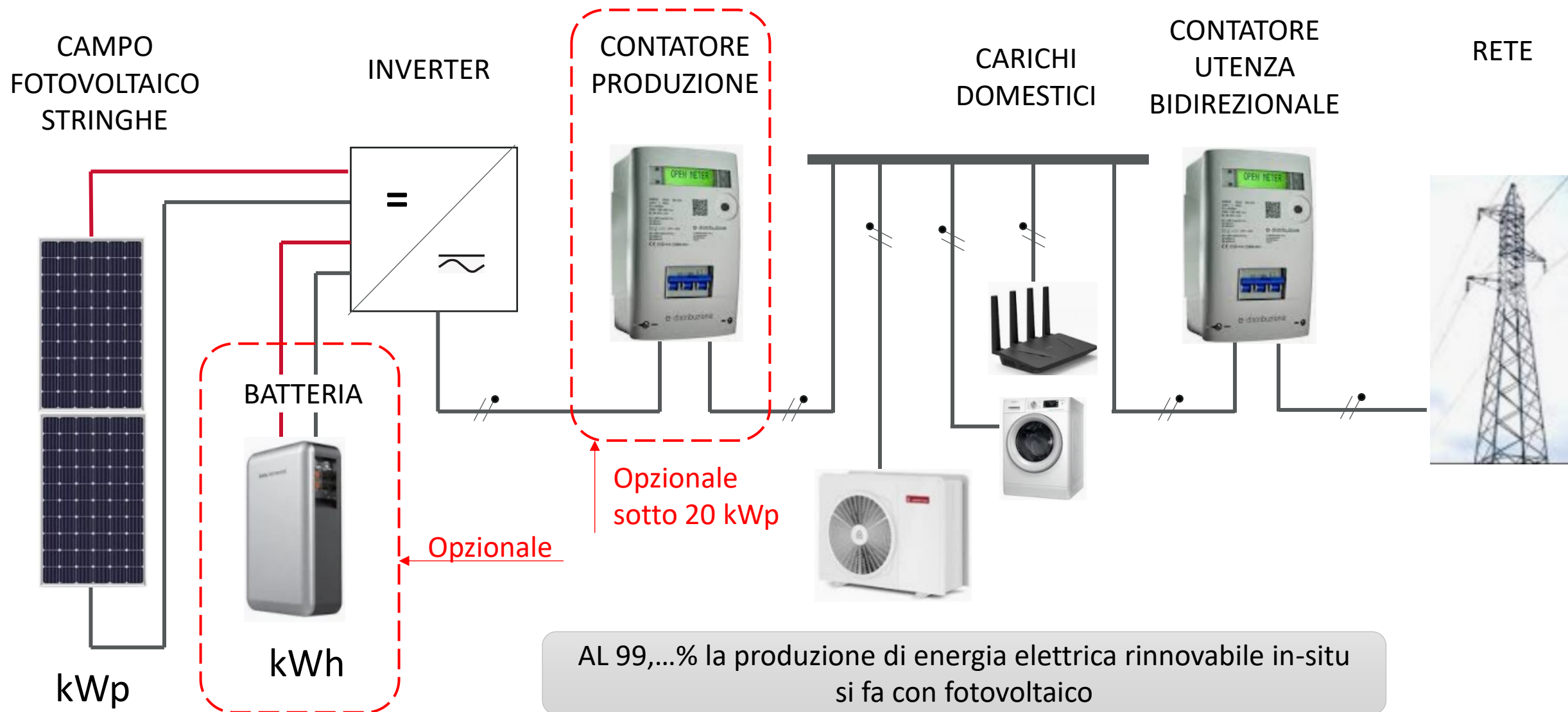
Bin 1°C dal 15/05 and 15/09 di ciascun anno

01 Le basi teoriche della pompa di calore

02 Criteri di progettazione impianti a pompa di calore

03 Esempi pratici di progettazione

04 Pompa di calore e fotovoltaico





Monocristallino: $0,20 \text{ kW}_p/\text{m}^2 \times 1350 \text{ h/anno} \cong 270 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$ elettrici relativamente alla superficie

Tetto a falda unica orientata sud, no sporgenze → tutto lo spazio utilizzabile ma vincolo architettonico pesante

Tetto a falde: 20%...40% utilizzabile → $54...108 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$

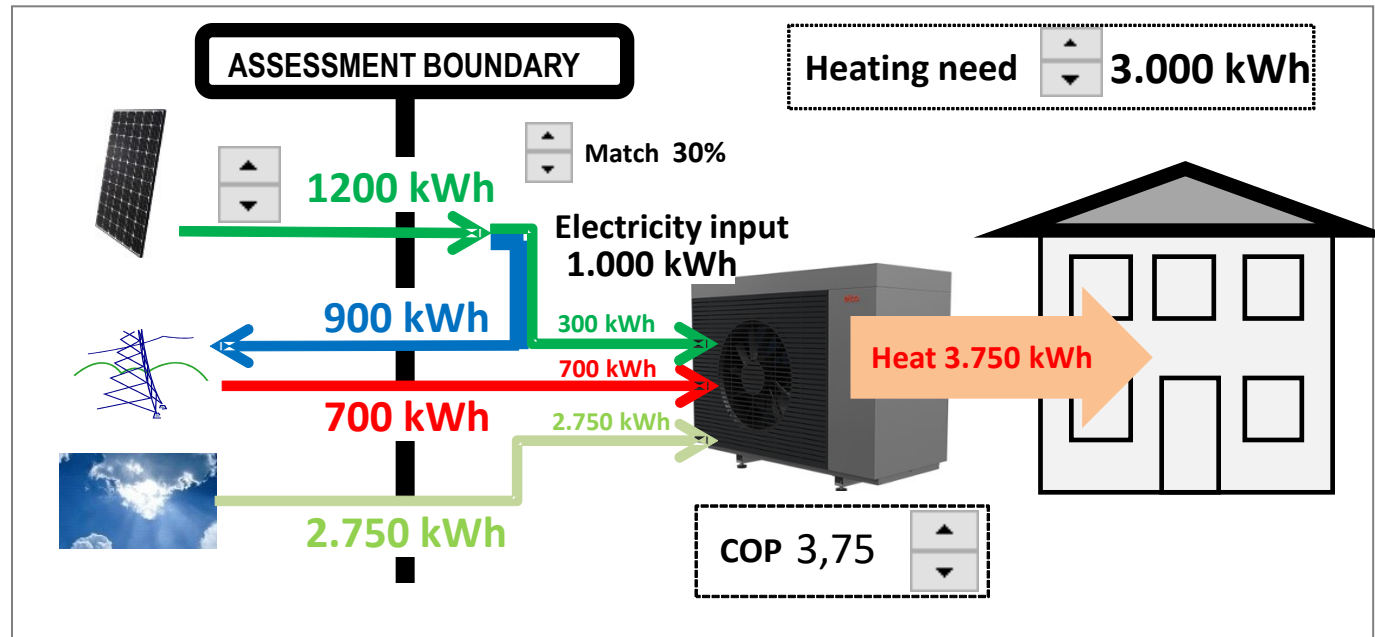
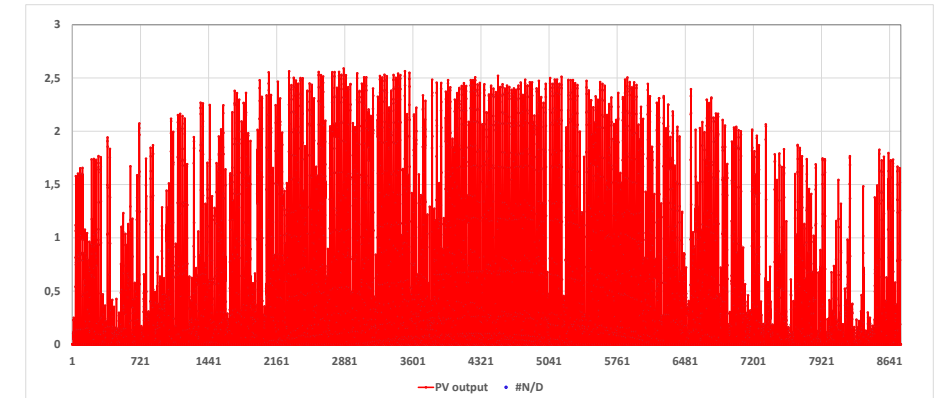
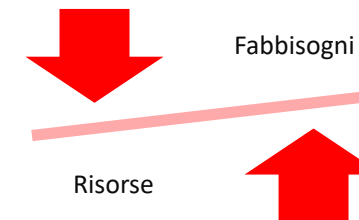
Tetto piano → 50...60% superficie utilizzabile per evitare ombre reciproche → $135...162 \text{ kWh/m}^2 \text{ anno}$

Edificio con più piani → producibilità divisa per il numero di piani → necessarie altre superfici

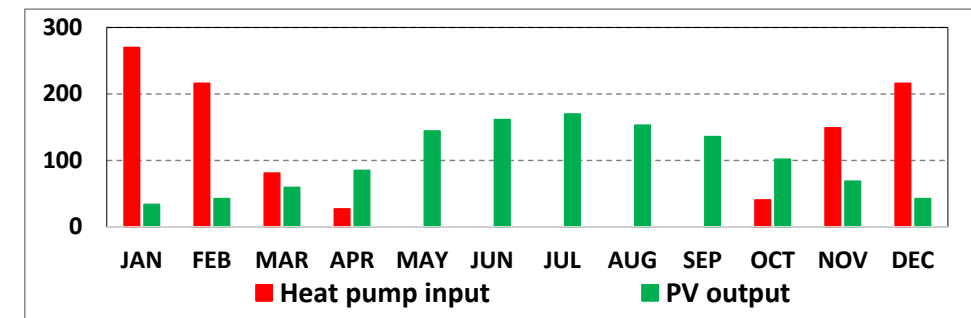
... e c'è sempre il problema della «**disponibilità**» ovvero del **profilo annuale e giornaliero di insolazione**.

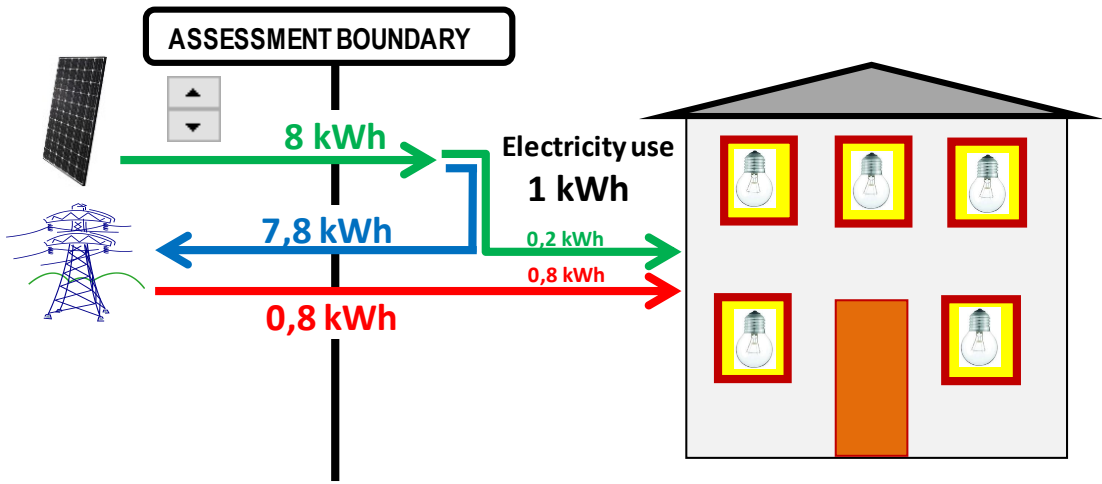
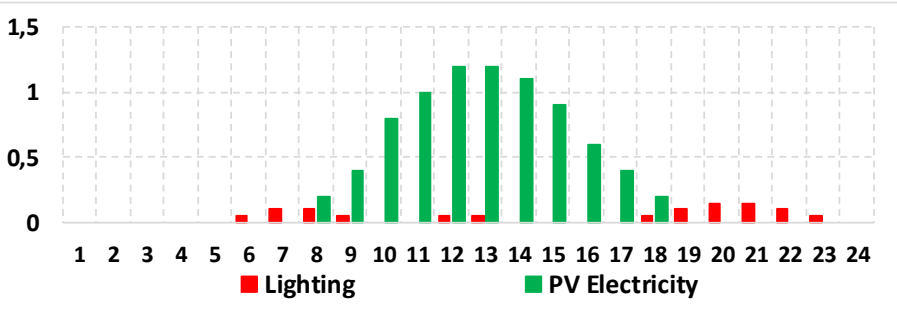
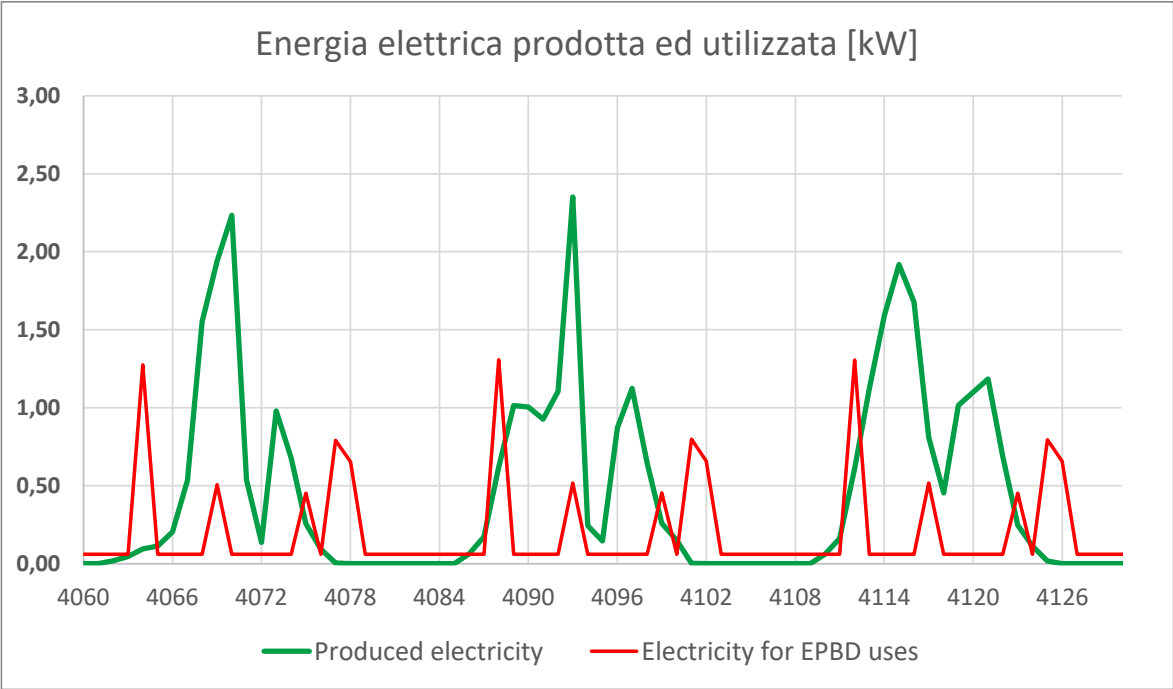
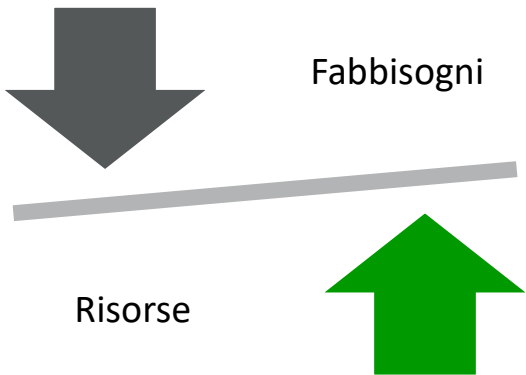
... e nell'edificio non ci sono solo i servizi di benessere (EPBD) ma tutte le altre attività

- Generazione da fonti rinnovabili:
 - Disponibilità ?
 - Profilo di generazione annuale, giornaliero e «meteorologico»



Non solo «quanto»
... ma quando!

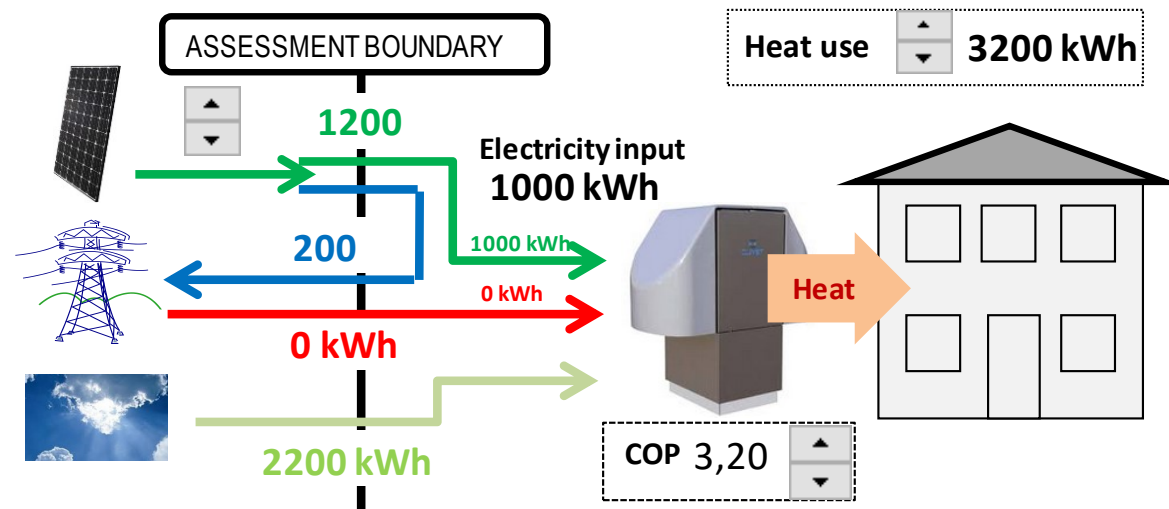
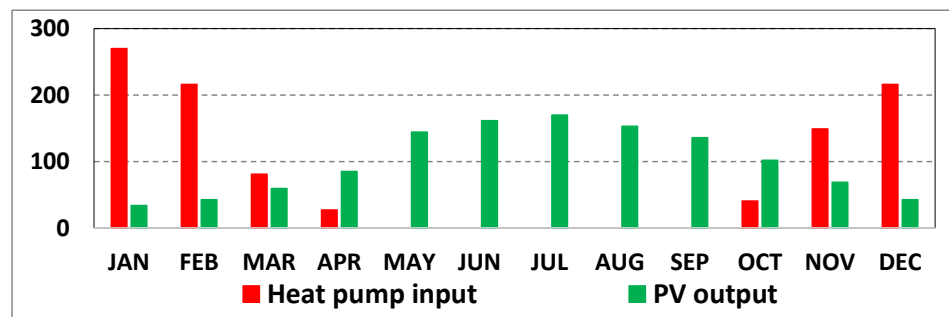




Il calcolo orario tiene conto esplicitamente della contemporaneità o meno di produzione ed utilizzo nell'arco della giornata

Il calcolo mensile riconosce gli sfasamenti stagionali ma non riconosce la contemporaneità nella giornata

→ È necessario un fattore di contemporaneità



Anche se in questo caso la produzione elettrica (18 kWh) è uguale al consumo elettrico dell'edificio (18 kWh), solo 5,50 kWh prodotti dai pannelli sono realmente utilizzati mentre 12,50 sono forniti dalla rete QUANDO DAVVERO SERVONO

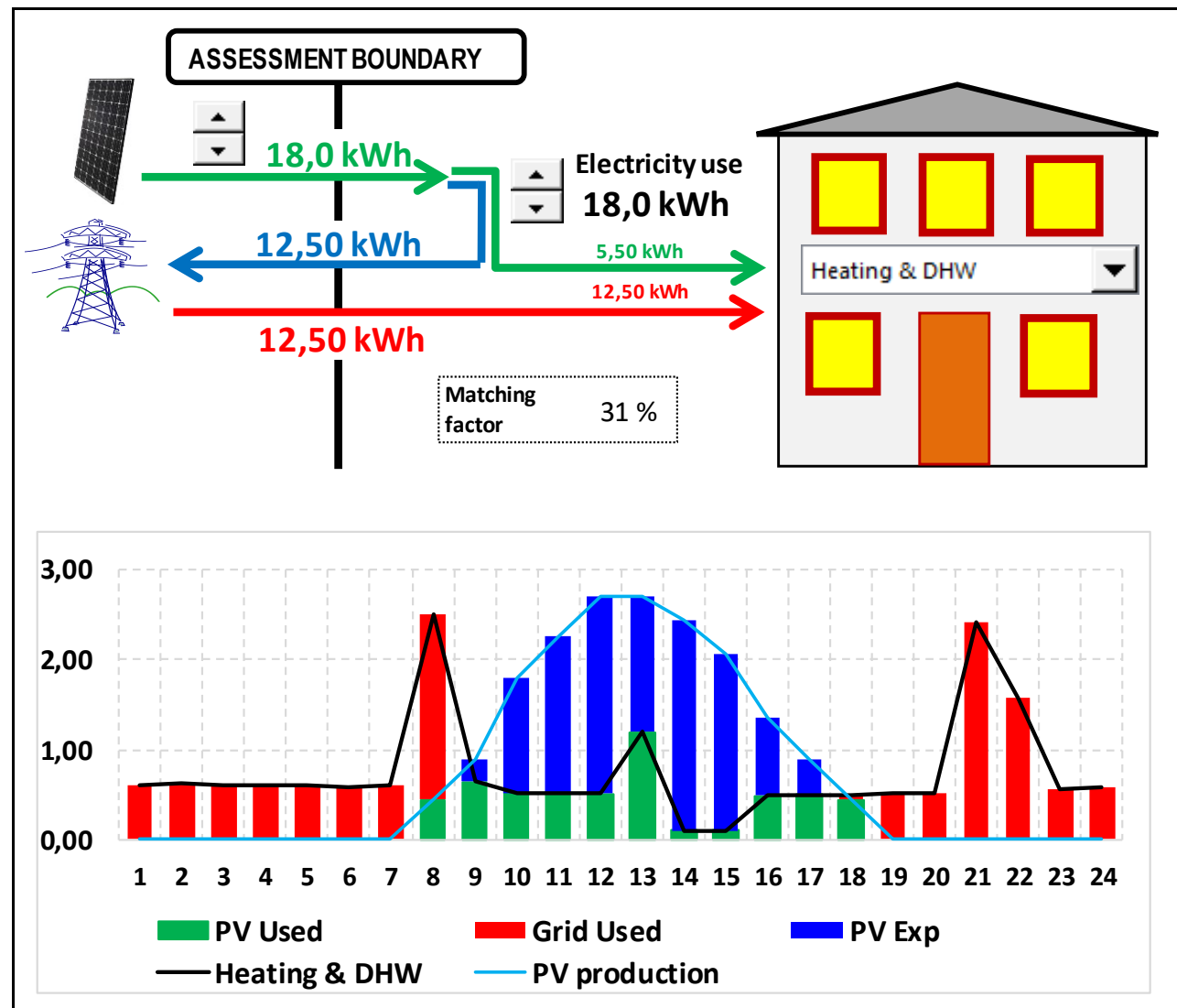
100% = «Compensazione» ($K_{exp} = 1$)

31% = «Copertura» ($K_{exp} = 0$)

con energia da fonti rinnovabili

Per «coprire» realmente i fabbisogni occorre, in alternativa:

- Spostare i fabbisogni nel tempo
- Accumulare energia direttamente con un dispositivo dedicato;
- Accumulare energia indirettamente, cioè utilizzando l'edificio e/o l'impianto come accumulo

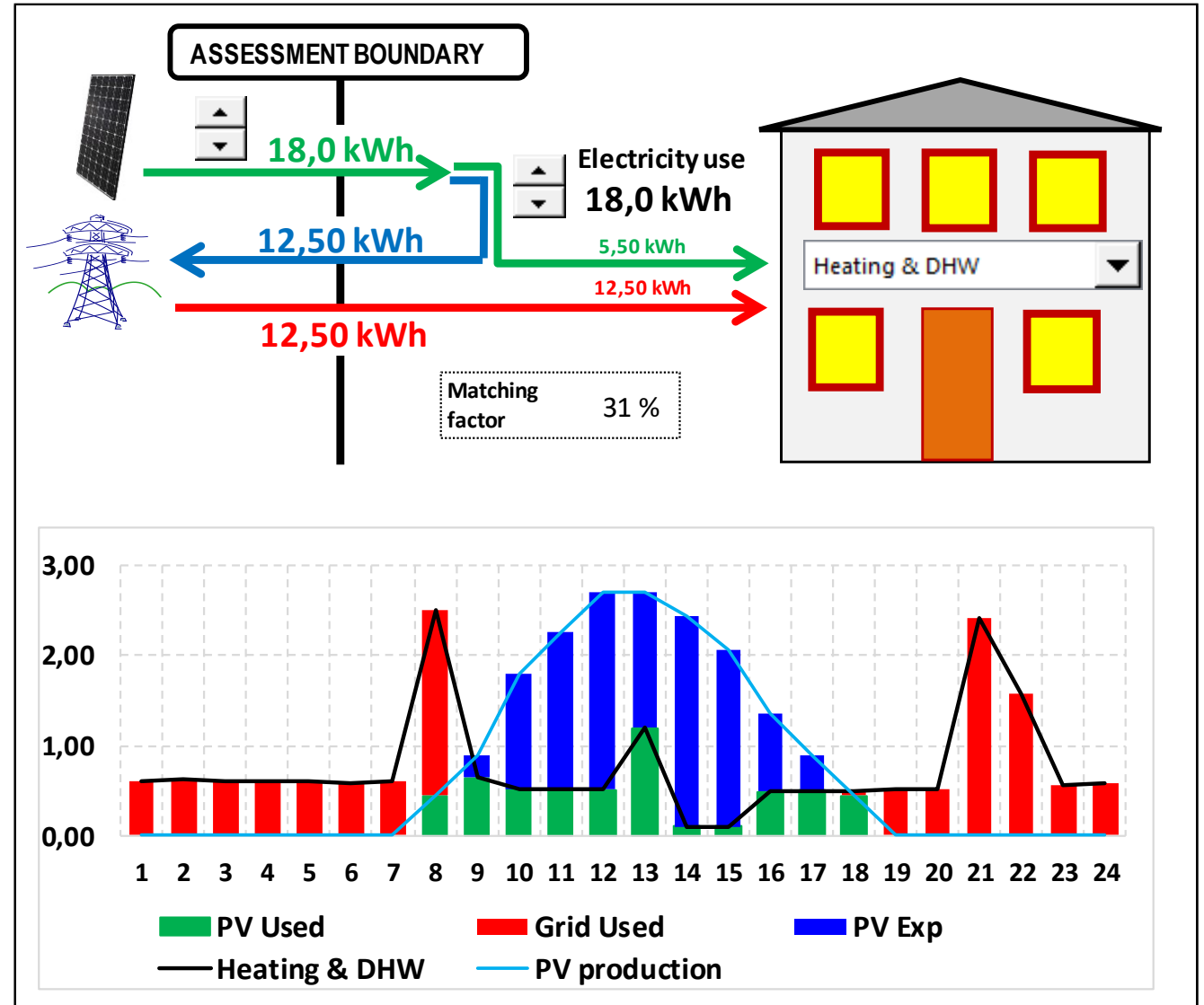


Spostare i carichi: forzare i picchi per la produzione di acqua calda sanitaria negli orari di produzione del fotovoltaico

... ma non si possono spostare tutti i carichi (illuminazione, televisione, ...)
Ci vuole necessariamente anche una **batteria** per un accumulo giornaliero

... ma il sole non c'è tutti i giorni ed in inverno ce n'è poco.

Servirebbe un accumulo stagionale.



• Accumulo termico sensibile

- Parametro caratteristico: calore specifico
Acqua 1,16 kWh/m³°C Olio 0,55 kWh/m³°C Muratura 0,23 kWh/t °C
- **Carica e scarica a temperatura variabile → kWh/°C + ΔT accettabile**
- Perdite termiche significative (auto scarica in pochi giorni od ore)
 - Accumulo acqua da 100 litri → 0,1 m³ x 1,16 kWh/m³°C = 0,12 kWh/°C
 - 1 muro di una stanza: (4 x 3 x 0,3) m³ x 0,8 t/m³ x 0,23 kWh/t°C = 0,7 kWh/°C
 - 1 soletta 50 m² x 0,2 m x 1,8 t/m³ x 0,23 kWh/t°C = 4,1 kWh/°C

• Accumulo termico latente

- Parametro caratteristico: calore latente di cambiamento di fase kWh/kg
 - Solidificazione acqua: 0,092 kWh/kg = 92 kWh/t
- Carica e scarica a temperatura fissa → **vincolo fra scelta del materiale e temperatura di lavoro**
- Perdite termiche significative (autoscarica)
- Difficoltà dello scambio termico se si forma un blocco (ideale fare una «granita»)

Con una regolazione ben pianificata si può accumulare calore nell'edificio (surriscaldare le strutture) quando c'è FV e poi lasciare raffreddare di notte

• Accumulo elettrico diretto (batterie)

- Autoscarica → modesta, molti mesi per scaricare una batteria
- Rendimento → abbastanza elevato, circa 80...90%
- Costo per kWh → molte centinaia di Euro + cicli limitati

• Accumulo chimico (serbatoio di combustibile)

- Economico → meno di 1 €/kWh + cicli virtualmente illimitati
- Elevata densità energetica: gasolio 10 MWh/m³
- Ricarica fulminea: distributore benzina = 35 l/min = 21 MW

• Accumulo meccanico potenziale

- Consente di accumulare grandi quantità di energia
1.000.000 m³ - 100 m → 272 MWh
- Pochi siti utilizzabili

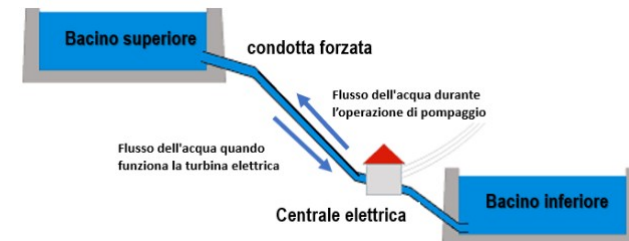
• Accumulo meccanico cinetico

- Quantità di energia accumulabile minima 1000 kg – 30 m/s → 450 kJ = 0,125 kWh

Capacità	kWh	1
Cicli/anno	n/anno	365
Vita	anni	10
Cicli totali	n	3650
Energia resa	kWh	3650
Costo batteria	€	1000
Costo accumulo	€/kWh	0,27



20 l = 200 kWh



Batteria 60 kWh

*(18 litri di gasolio con
33% di rendimento
termico)
20 ore a casa*



3...6 kW ... 50 ... 350 kW

Serbatoio 167 kWh

*(50 l rendimento 33%)
Pieno in 2 minuti*



21.000 kW



**70 kWh
15.000 €**

=



**20 l
20 €**



**Contatore
elettromeccanico**



**Contatore
elettronico
1° generazione**

**Contatore
elettronico
2° generazione**



Se avete un contatore elettronico di 2° generazione...

- <https://www.arera.it/consumatori/il-portale-consumi>

Letture mensili + prelievi 15 minuti.

- <https://www.e-distribuzione.it/servizi/contatore/le-mie-letture.html>

Si trovano tutte le proprie letture con passo 15', sia in prelievo che esportazione

In caso di contatore di produzione, sono presenti letture anche di prelievo (a pannelli spenti) e produzione dell'inverter sui 15 minuti.

Dal portale dei consumi ARERA (SPID)

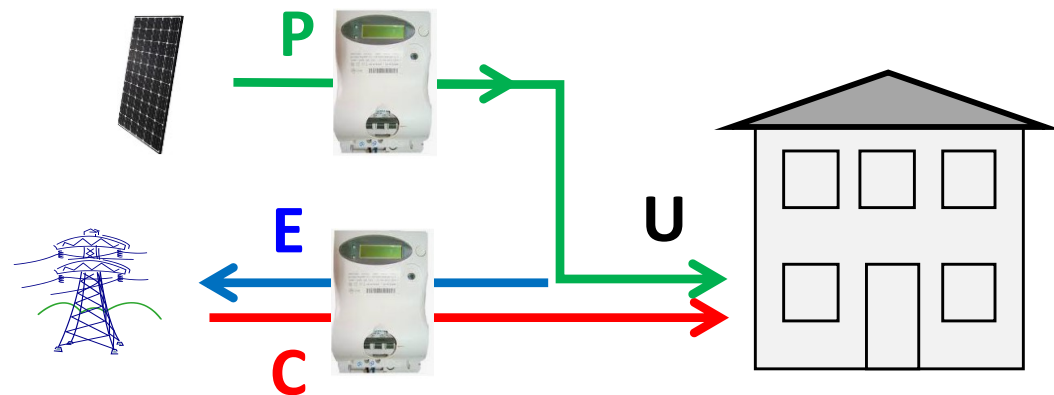
- <https://www.arera.it/consumatori/il-portale-consumi>

Si possono leggere i dati mensili delle proprie forniture di gas ed energia elettrica nonché i dati su 15 minuti di prelievo elettrico

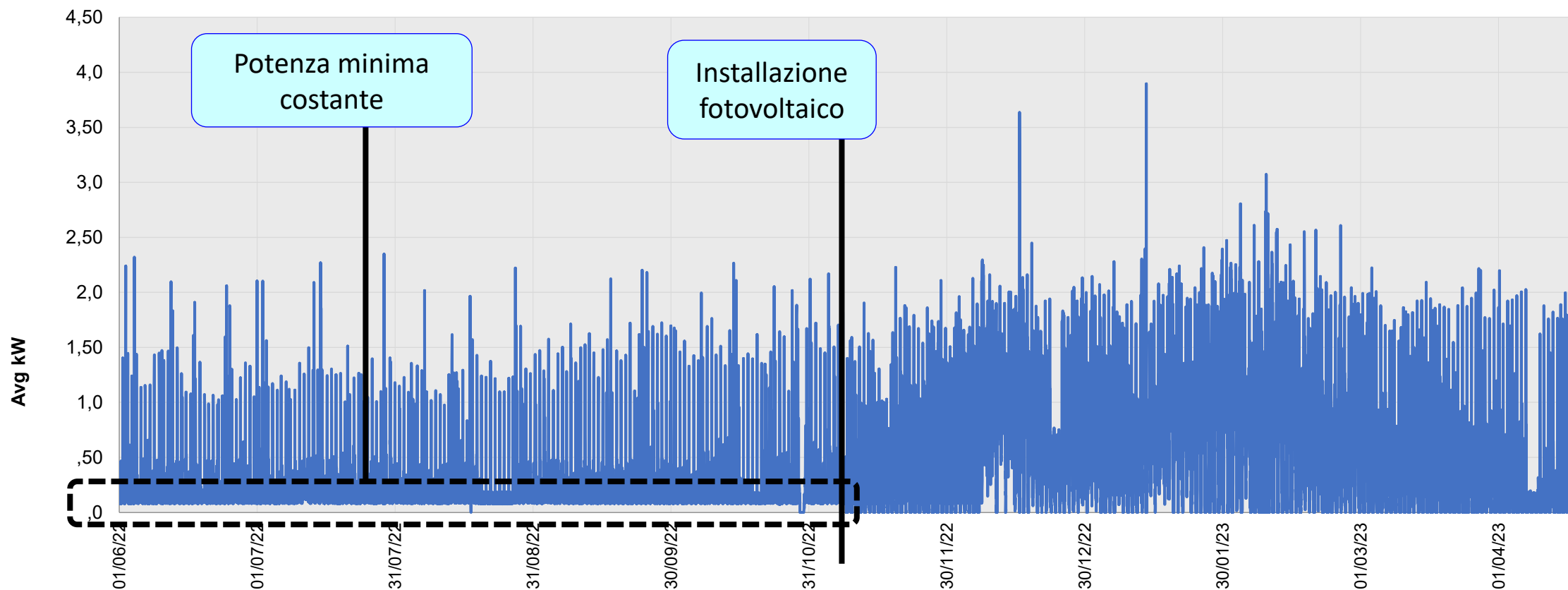
Dal portale del distributore elettrico

ENEL Distribuzione

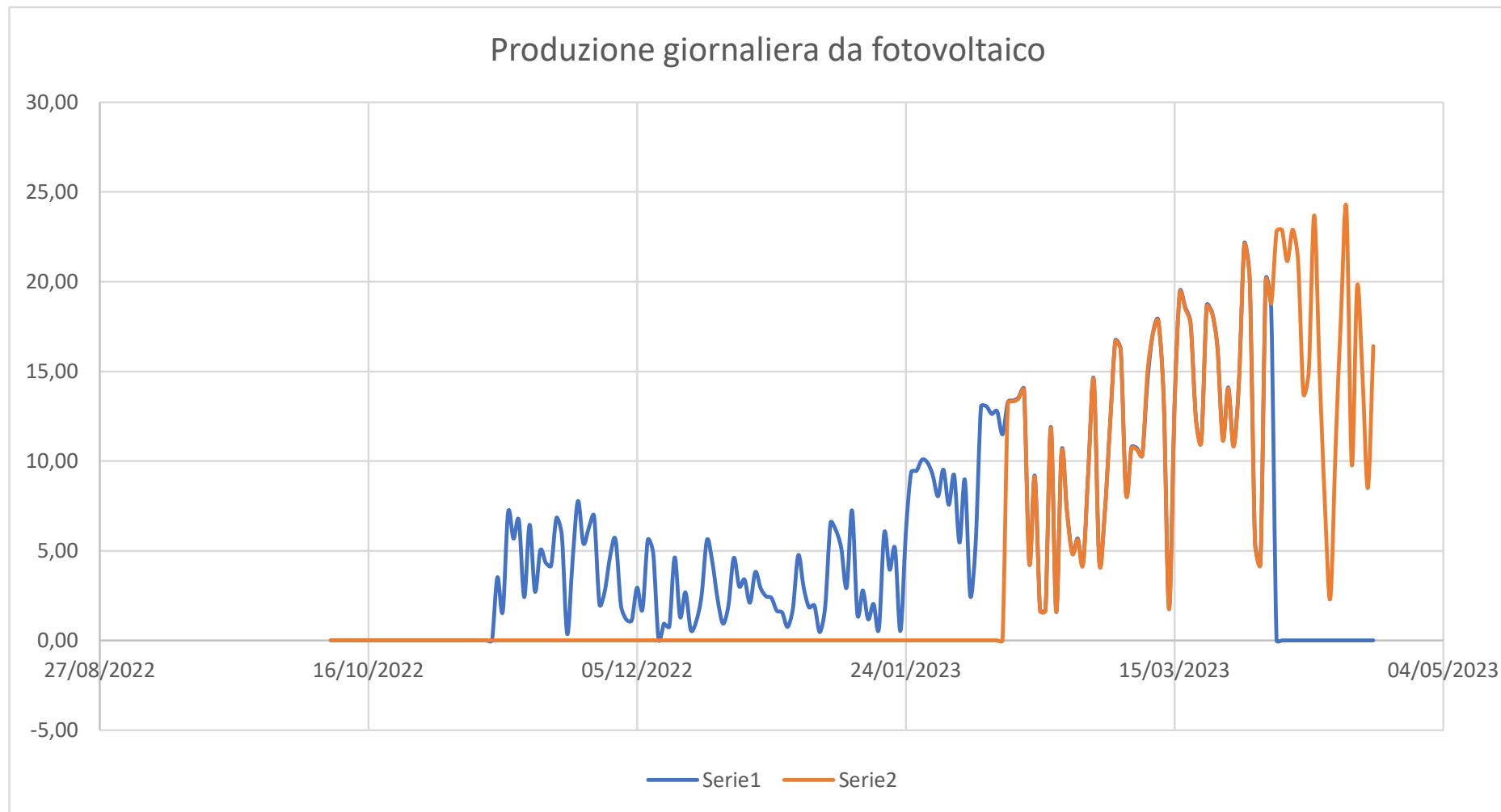
- Accedere al portale del distributore con il POD del contatore di produzione
- Scaricare i dati mensili o su 15 minuti dei contatori di allaccio (prelievi ed esportazione) e di produzione (se installato, ora è facoltativo sotto 20 kW)
- Se non avete il contatore di produzione, l'inverter potrebbe avere i dati orari o anche più fini



- U (Utilizzata) = $P + C - E$
- Autoconsumo = $P - E = U - C$
- Riferimento per batteria = minimo fra Consumo totale U e FV Prodotta P
- Contributo possibile della batteria = Riferimento per batteria – Autoconsumo



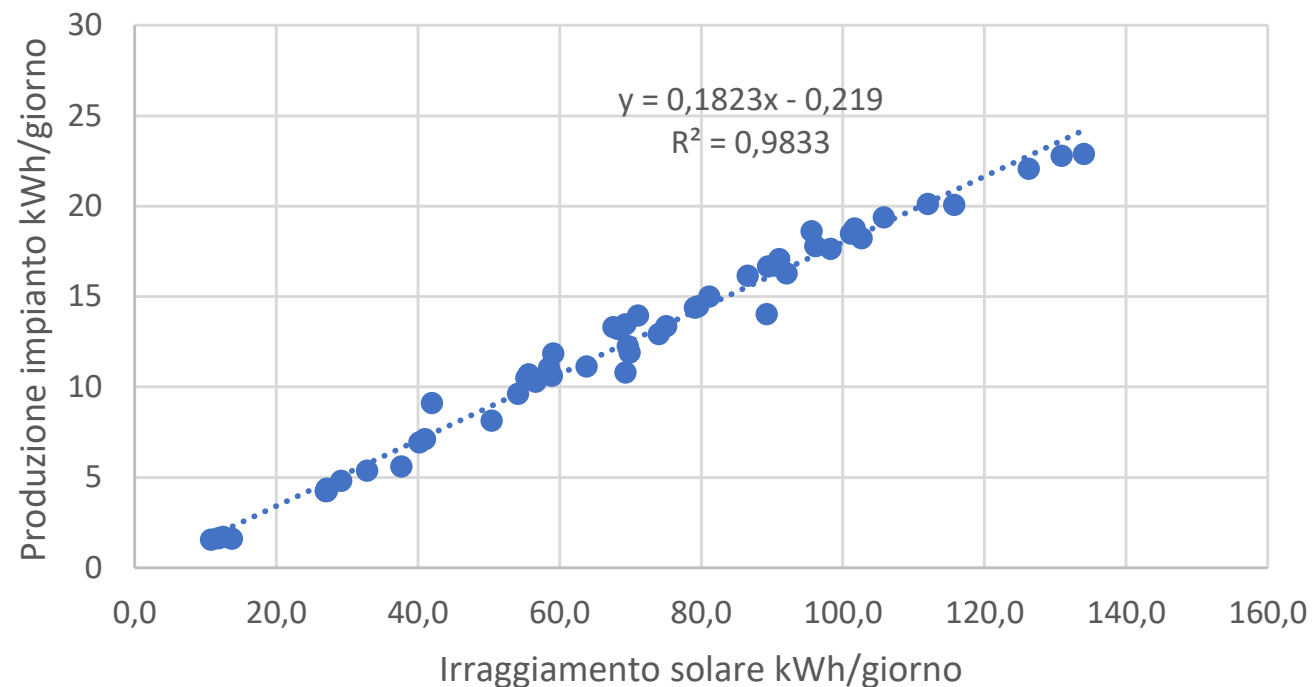
Dati di energia elettrica acquistata, circa 1 anno dati ogni 15 minuti



Confronto fra dati dell'inverter e misure del contatore di produzione.

La sovrapposizione è praticamente perfetta
6 Wh circa di errore sulle letture giornaliere

Correlazione fra radiazione solare e produzione giornaliera del fotovoltaico



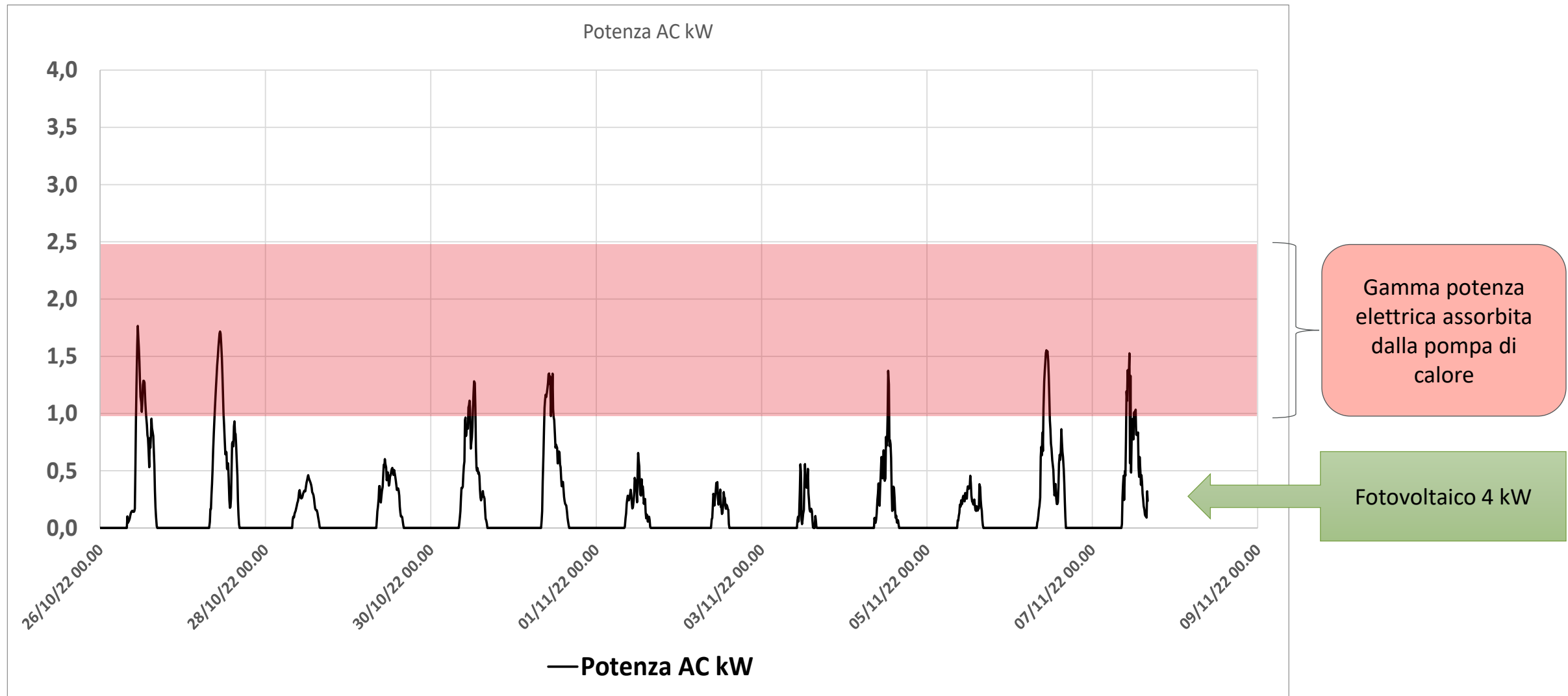
Confronto fra radiazione solare e produzione giornaliera

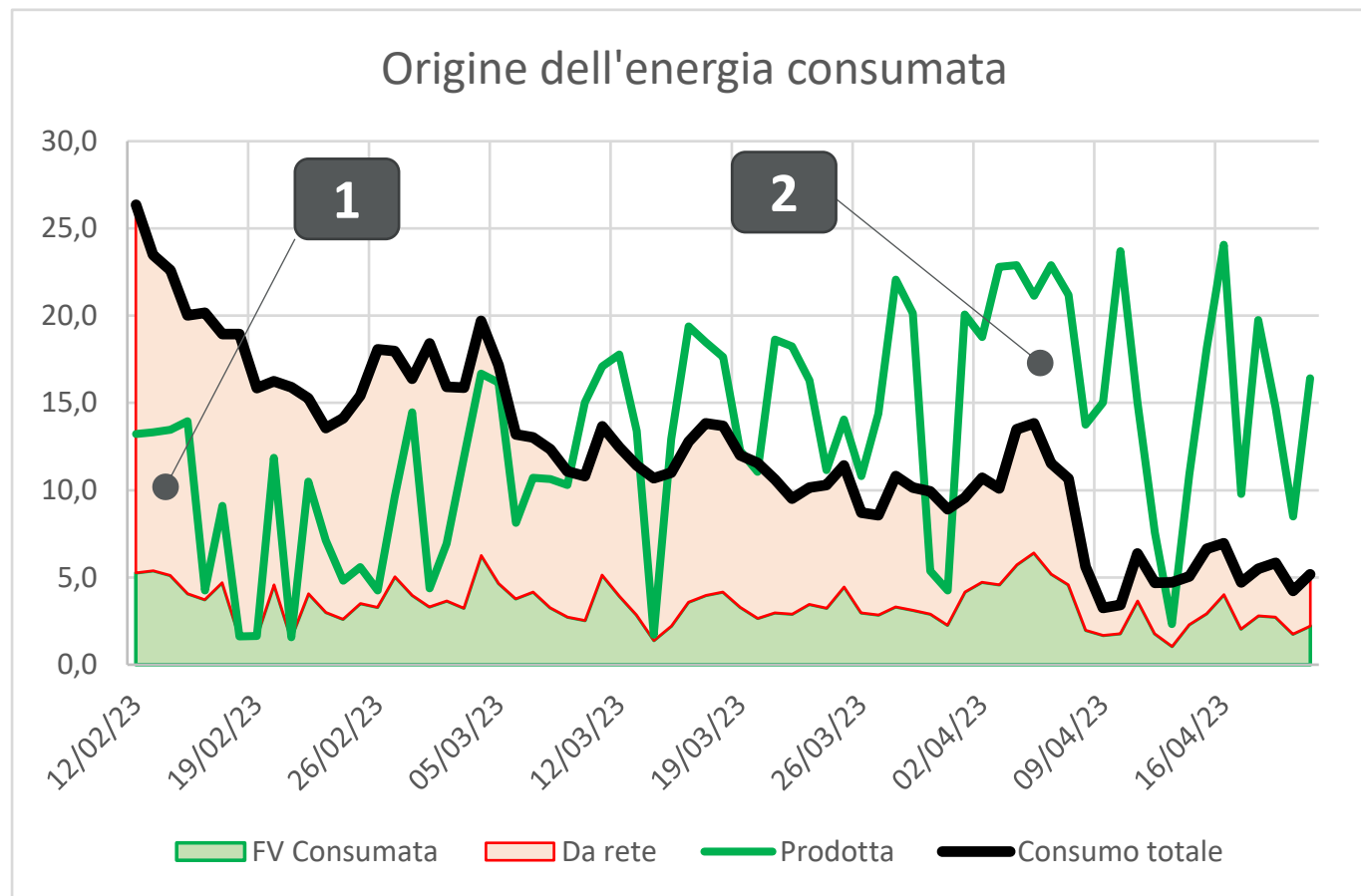
A livello di dati giornalieri la correlazione è ottima...



... ma la correlazione è destinata a deteriorarsi...

VOLETE USARE IL FOTOVOLTAICO IN INVERNO PER LA POMPA DI CALORE?

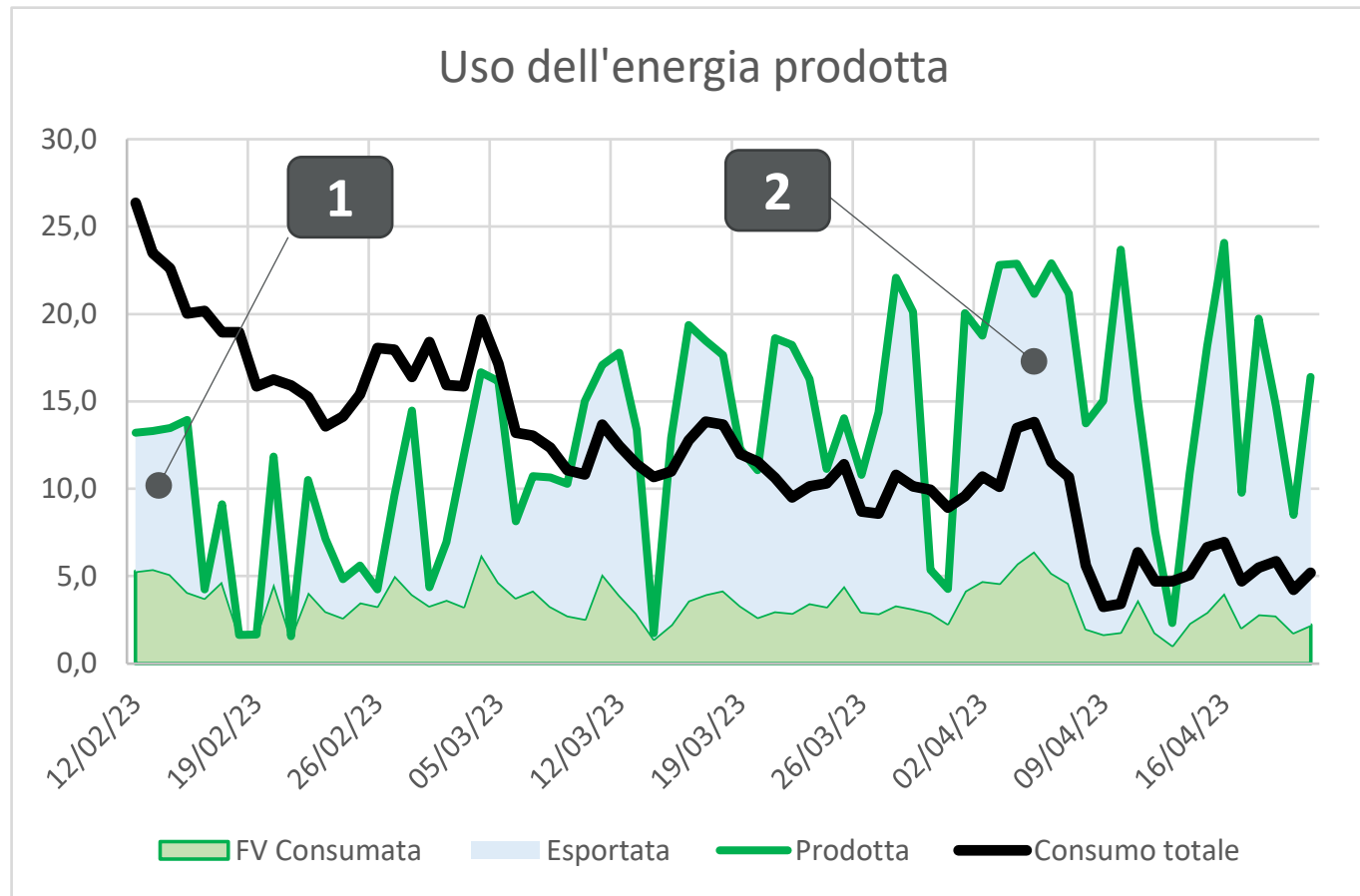




Valori rilevati giornalmente

Elaborazione letture contatori rete

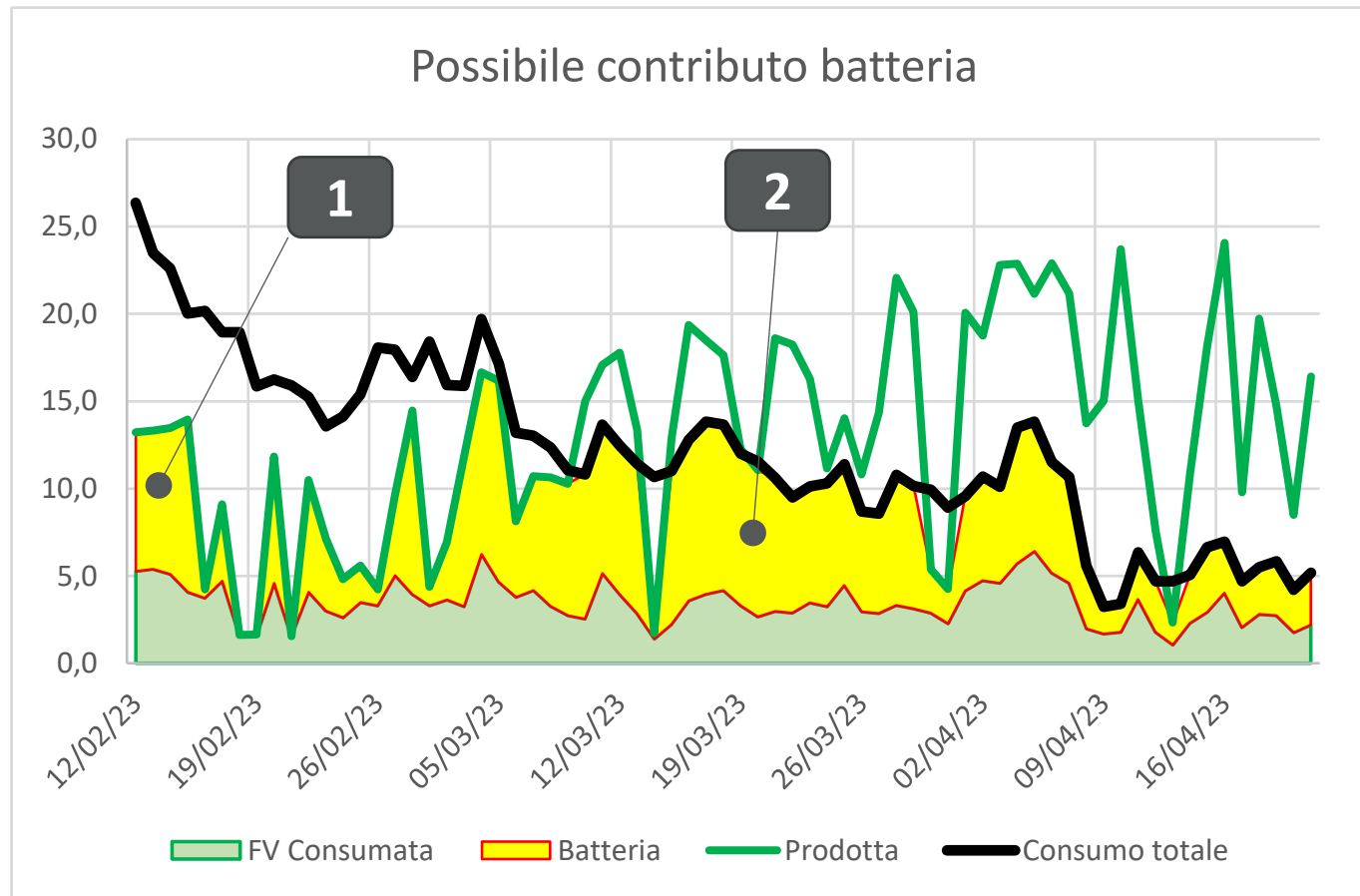
1. Anche se il consumo supera di gran lunga la produzione, non tutta l'energia prodotta viene autoconsumata: eccesso di potenza generata diurna e carichi notte.
2. Anche se la produzione supera di gran lunga il consumo, non tutta l'energia consumata viene coperta dalla produzione: notte



Valori rilevati giornalmente

Elaborazione letture contatori rete

1. Anche se il consumo supera di gran lunga la produzione, non tutta l'energia prodotta viene autoconsumata: eccesso di potenza diurna
2. Anche se la produzione supera di gran lunga il consumo, non tutta l'energia consumata viene coperta dalla produzione: notte



Valori rilevati giornalmente

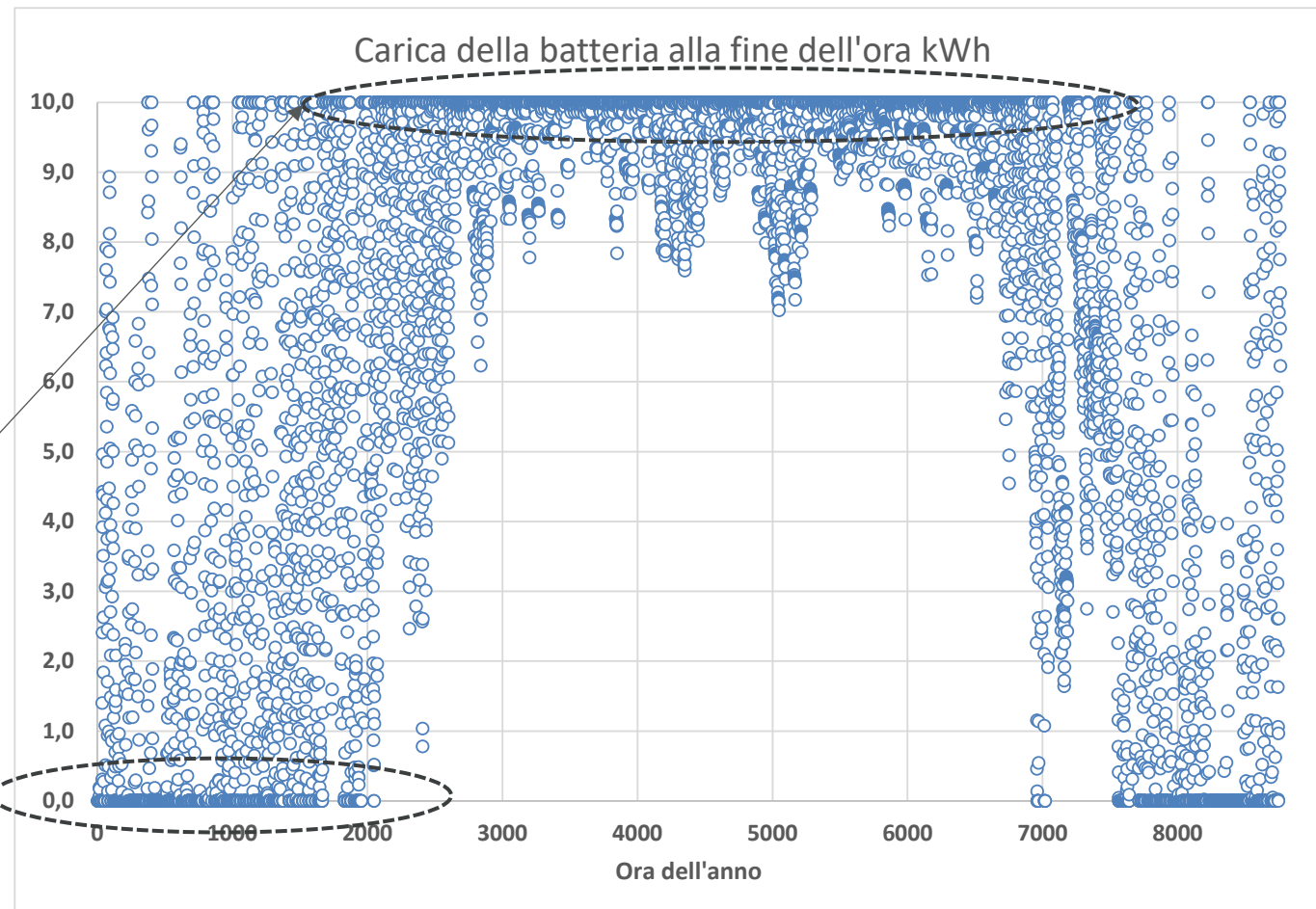
Elaborazione letture contatori rete

1. Consentire il pieno utilizzo della produzione di fotovoltaico. Immagazzinare le punte di produzione o coprire gli arresti del prelievo
2. Consentire la piena copertura dei carichi giornalieri. Importante soprattutto nella mezza stagione (coda di riscaldamento con produzione che inizia a salire).

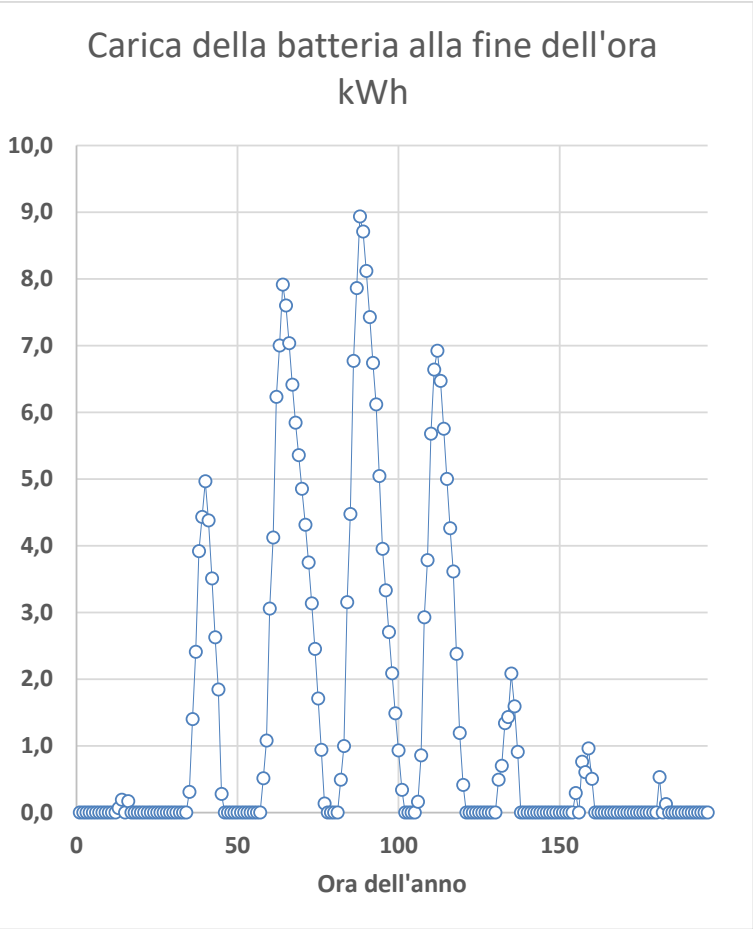
- Dato nominale: **capacità** nominale in kWh → non è il massimo sfruttabile
- **Profondità di scarica**: percentuale della capacità nominale sfruttabile (80...100%)
→ quindi la capacità che interessa è nominale x profondità...
- **Capacità residua minima**: percentuale residua al termine della garanzia (almeno 75%)
→ periodo di garanzia offerto: 5...10 anni
- Potenza massima continua → di solito scarica in 1...2 ore
- **Efficienza** del ciclo di carica/scarica → $\approx 92\ldots95\%$
- **Numero di cicli di carica** → **4000...12000 a seconda del prodotto**
- **Temperatura ambiente** → attenzione al range che potrebbe essere limitato a 0 °C

Prezzi correnti 500,00 €/kWh a salire, modulo di controllo a parte

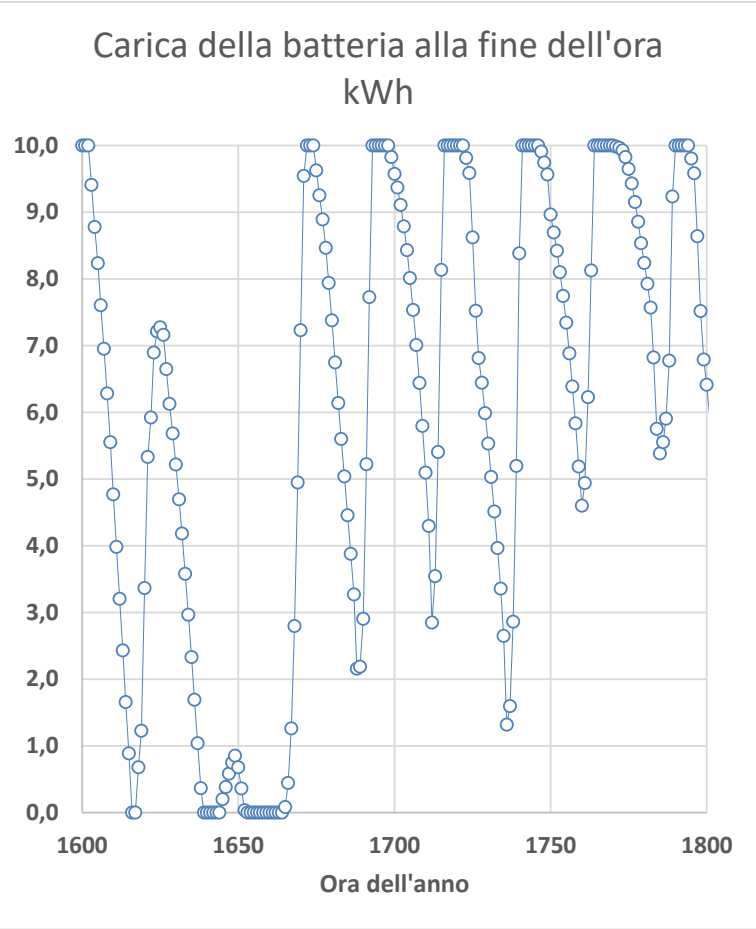
- Le batterie installate finora a caro prezzo possono risolvere solo l'accumulo giornaliero
- Esempio calcolo orario con
 - Superficie 180 m², pompa di calore
 - Fabbisogni H 59,1 kWh/m², W 15,8 kWh/m², C 4,8 kWh/m²
 - Fotovoltaico 6 kW, batteria 10 kWh
- In estate: c'è sovra-produzione, la batteria è sempre carica di giorno ed alimenta solo i carichi notturni
- In inverno: c'è poca produzione, appena prodotta viene utilizzata: batteria sempre scarica



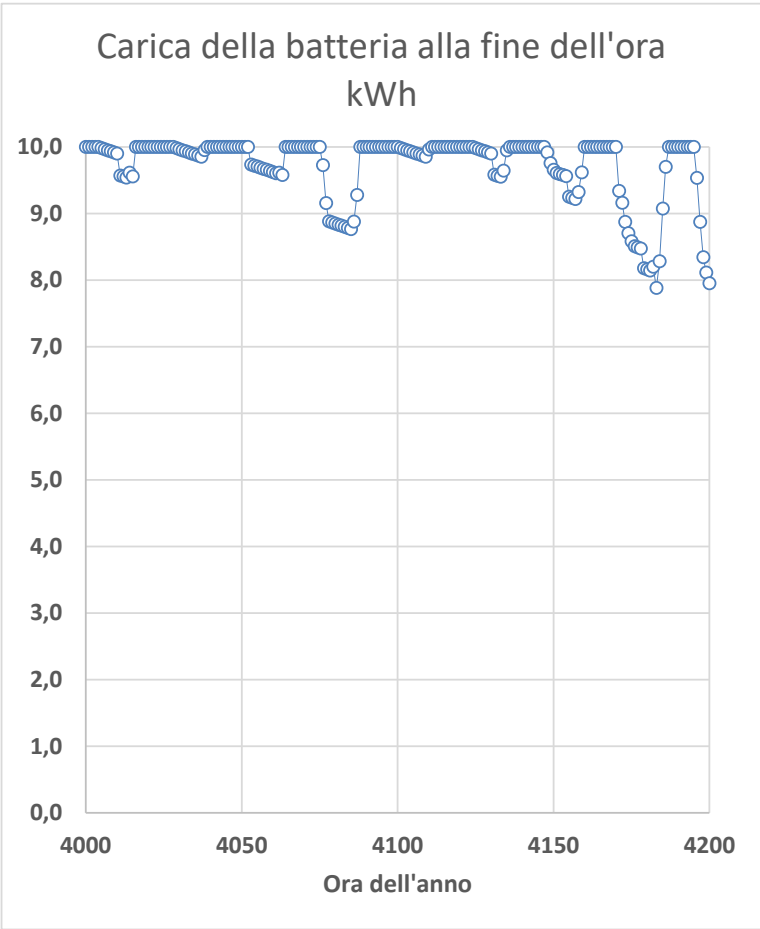
Link al caso studio: https://epb.center/media/documents/EPB-Center-Case_Study_EN_ISO_52000-1_Report_2021-10-31.pdf



Settimana invernale

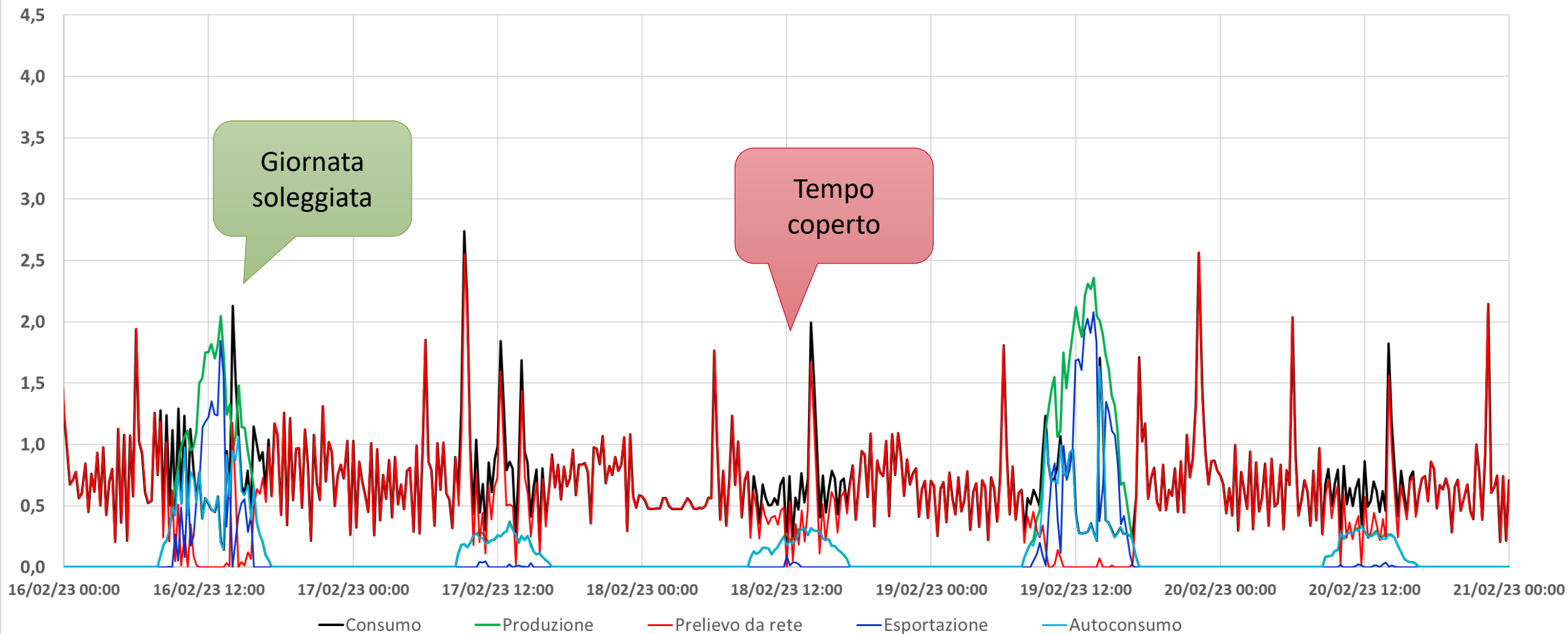


Mezza stagione

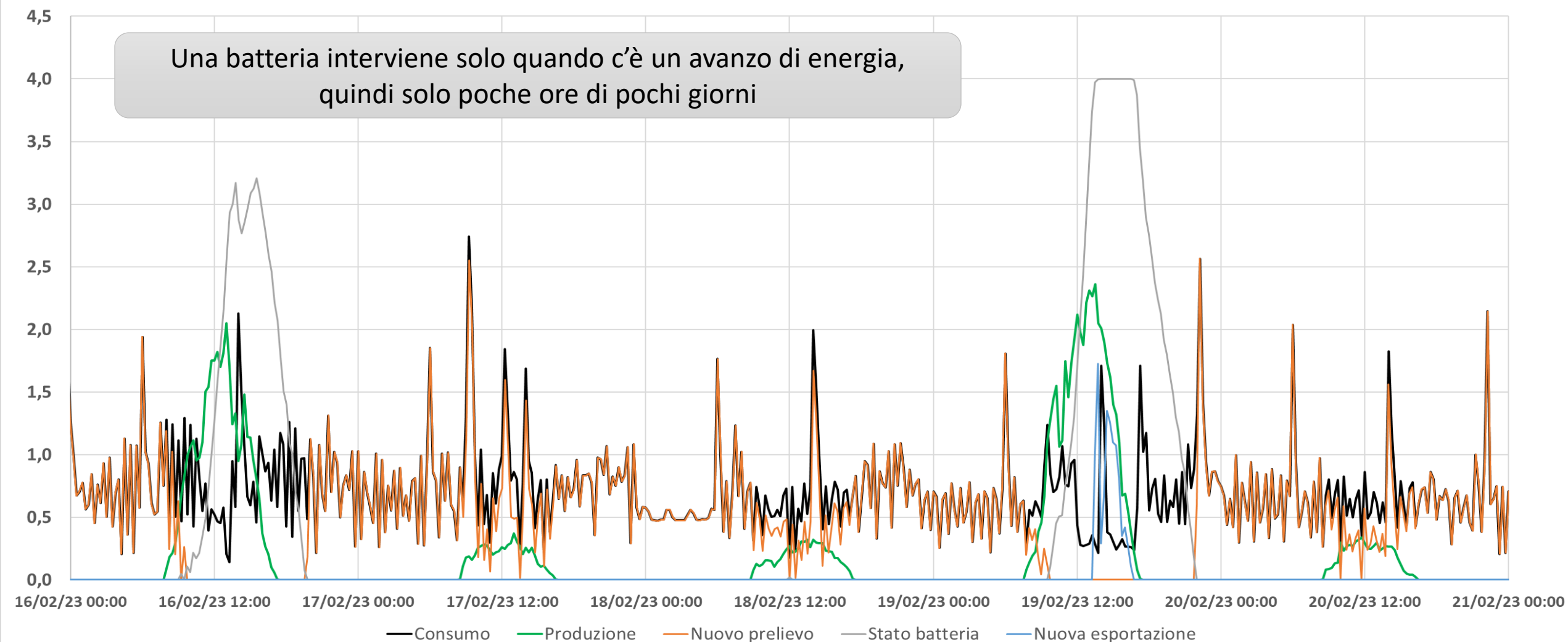


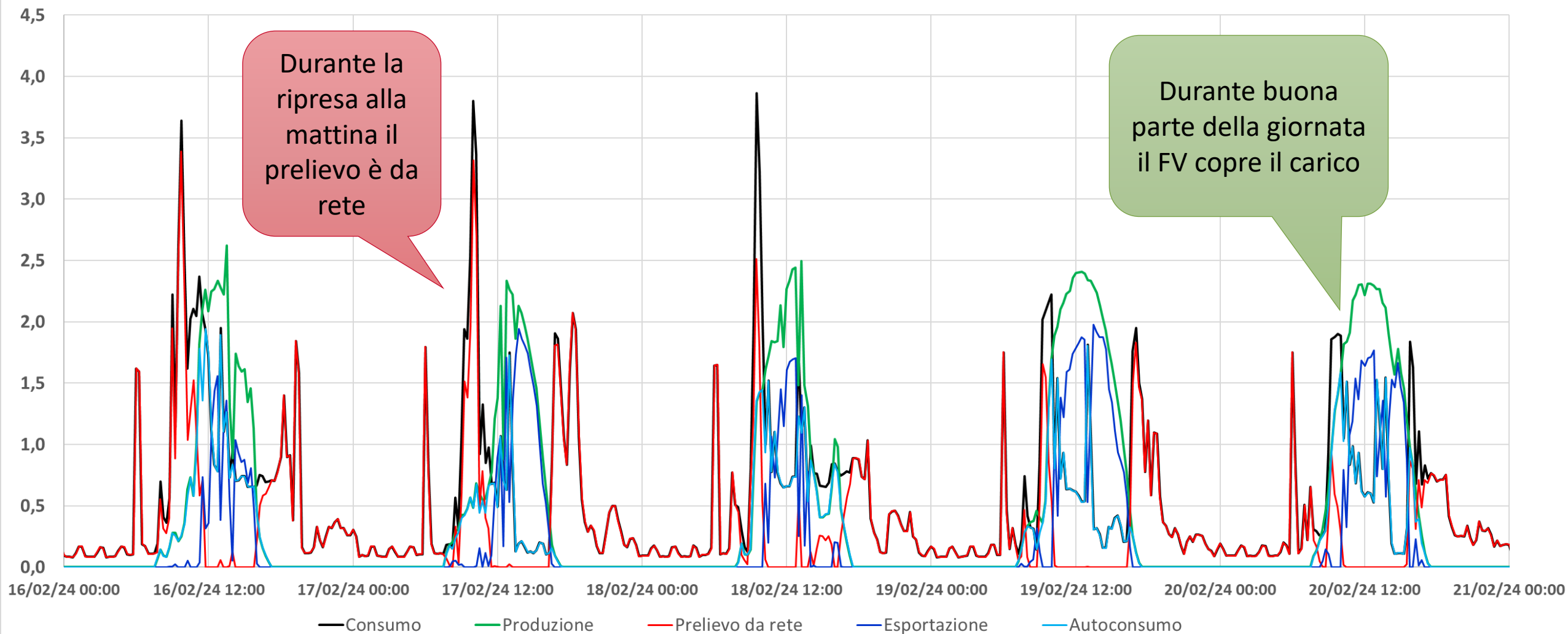
Settimana estiva

- Villetta con superficie utile 180 m², impianto di riscaldamento a radiatori.
- Full Electric: riscaldamento + acqua calda sanitaria a pompa di calore + piano cottura induzione, illuminazione a LED
- Consumi bassi, gli abitanti sono spesso fuori casa
- Impianto fotovoltaico da 4 kWp senza batteria
- Contatore di allacciamento elettrico da 4,5 kW
- Prima dell'installazione dei pannelli: funzionamento continuo della pompa di calore in riscaldamento, nessuna temporizzazione della produzione di acqua calda sanitaria
- Circa 1 mese dopo l'installazione dei pannelli: funzionamento del riscaldamento concentrato nelle ore diurne (10...12 ore/giorno) con aumento di 3 °C della temperatura di mandata (ora max 40°C a -5°C) per consentire alla pompa di calore di funzionare con continuità alla potenza minima.
Produzione acqua calda sanitaria spenta di notte

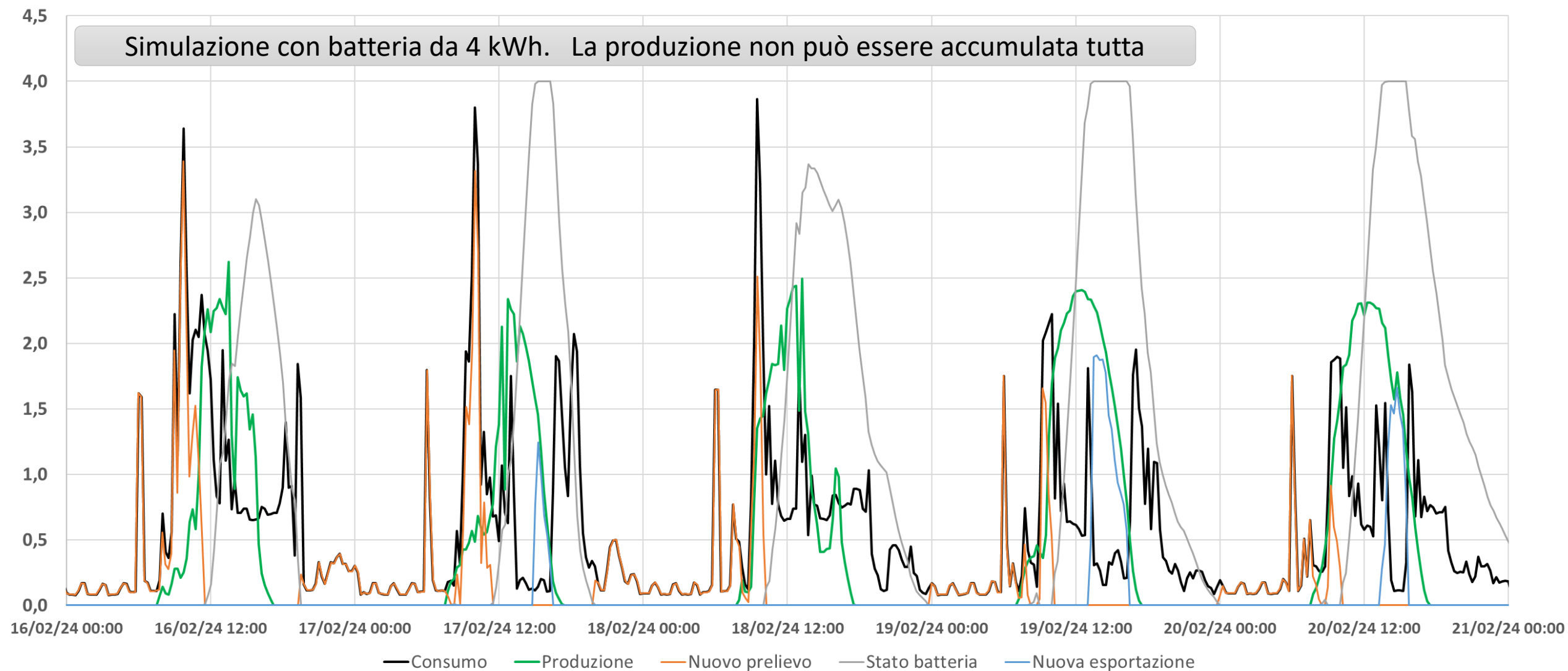


Una batteria interviene solo quando c'è un avanzo di energia, quindi solo poche ore di pochi giorni

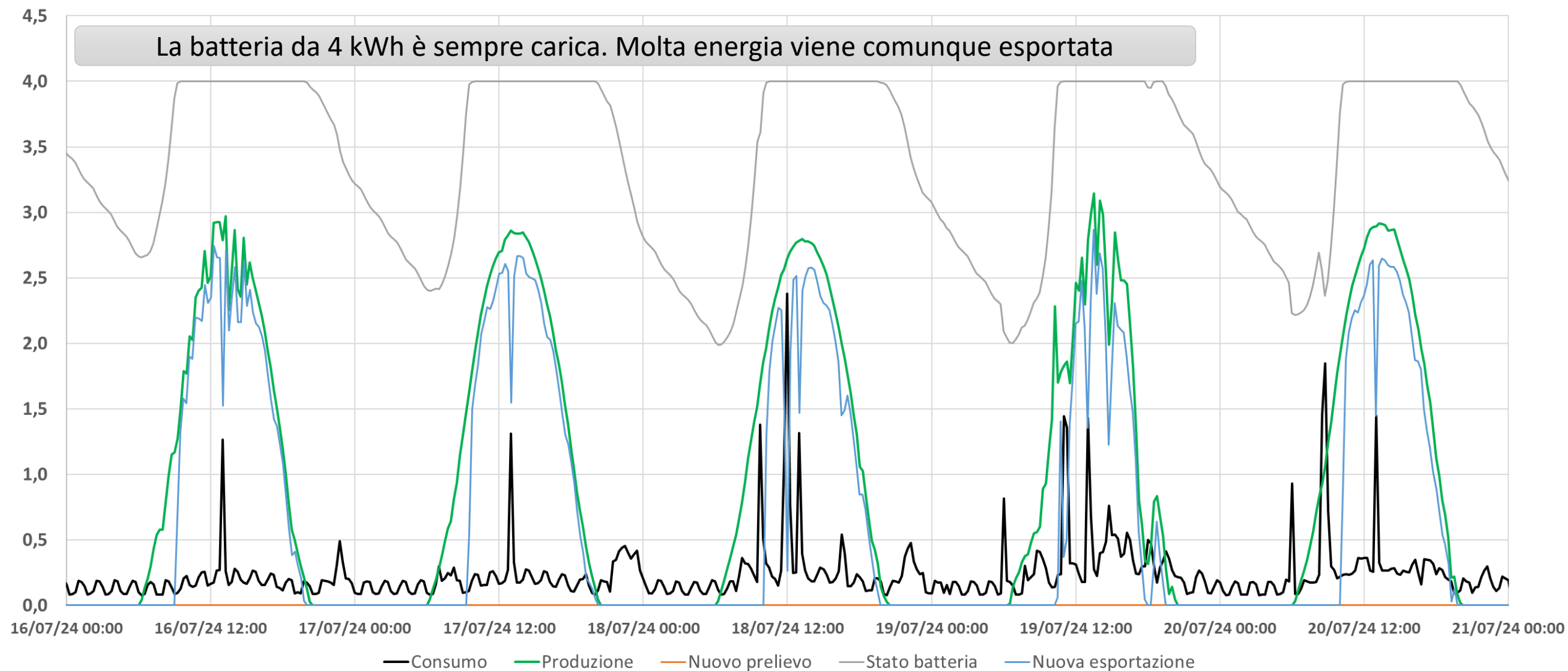




Simulazione con batteria da 4 kWh. La produzione non può essere accumulata tutta



La batteria da 4 kWh è sempre carica. Molta energia viene comunque esportata



Dati per l'anno 2024							
Prezzo acquisto energia elettrica	€/kWh	0,35					
Prezzo vendita energia elettrica	€/kWh	0,15					
Consumo complessivo	kWh/anno	2.865					
Taglia del fotovoltaico	kWp	4,0					
Produzione fotovoltaico	kWh/anno	4.267					
Taglia della batteria	kWh	0	2	4	6	8	10
Autoconsumo	kWh/anno	1.130	1.700	1.819	1.842	1.857	1.865
	%	26%	40%	43%	43%	44%	44%
Copertura	%	39%	59%	63%	64%	65%	65%
Prelievo da rete	kWh/anno	1.735	1.165	1.046	1.023	1.008	1.000
Prelievo da rete evitato	kWh/anno	0	570	689	712	727	735
Energia esportata	kWh/anno	3.138	2.509	2.376	2.351	2.335	2.326
Riduzione esportazione	kWh/anno	0	629	761	787	803	812
Effetto utile batteria	€/anno		105,16	127,00	131,25	133,90	135,36

- Se non c'è contemporaneità, spostiamo i fabbisogni o accumuliamo ?
- Accumulo elettrico
 - Costo batterie senza incentivi: 400 ... 800 €/kWh
 - Durata: 15 anni x 365 cicli $\cong$ 5500 cicli utili $\rightarrow$ 0,07 ... 0,15 €/kWh senza attualizzazione ed ipotizzando che ci sia sempre una carica e scarica a fondo ogni giorno
 - In estate: batteria sempre carica, scarica notturna e ricarica alla mattina
 - In inverno: batteria sempre scarica, poca o nulla carica di giorno
- Accumulo in impianto con funzionamento forzato
 - Forzare la carica del bollitore nel pomeriggio per avere disponibilità piena alla sera e soddisfare le esigenze di sera e mattina successiva
 - Ritardare al massimo il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria alla mattina

In realtà «**Smart Grid**» vuol dire che l'utente deve partecipare (flessibilità della domanda) al tentativo di stabilizzare la rete elettrica che, in quanto tale, non accumula energia:

- **Prima:** solo utilizzatori che **prelevano energia quando vogliono**, la rete provvede;
- **Ora:** anche «**prosumer**» che **immettono in rete o prelevano dalla rete come vogliono**, la rete provvede a ricevere ed integrare... (logica dello «scambio sul posto»)
«**smart grid**» ora = rete che accetta scambi bidirezionali (protezioni !)
- **Domani:** la «**smart grid**» manda ai «prosumer» due segnali:
 - **Divieto di consumare**, ovvero obbligo di staccare i carichi sacrificabili o usare i propri accumuli
 - **Obbligo di consumare**, ovvero obbligo immagazzinare energia in tutti i modi disponibili

Vuol dire che dobbiamo ingegnarci a trovare soluzioni per accumulare energia...

Le valutazioni dovranno essere necessariamente su base oraria (almeno profili tipici)

01 Pompa di calore o caldaia? I diversi punti di vista

02 Criteri di progettazione impianti a pompa di calore

03 Il dimensionamento della pompa di calore

04 **EXTRA: Pompa di calore ed acqua calda sanitaria**

- Fattore di carico FC di un impianto: rapporto fra
 - l'energia Q_i utilizzata / trasformata in un determinato intervallo t_i
 - ... e l'energia utilizzabile / trasformabile nello stesso intervalloL'energia utilizzabile / trasformabile è data dalla potenza massima di riferimento P_{max} per l'intervallo t_i

$$FC = \frac{Q_i}{P_{max} \cdot t_i} = \frac{P_{med}}{P_{max}}$$

- In generale
 - **Se il valore di FC è prossimo all'unità**, conta molto l'efficienza degli apparecchi
 - **Se il valore di FC è prossimo allo zero**, contano molto le perdite costanti (ricircolo!)
- Acqua calda sanitaria per una singola unità immobiliare:
 - $Q_i = 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{anno} \times 100 \text{ m}^2 = 1500 \text{ kWh} \rightarrow P_{med} = 1500 \text{ kWh} / 8760 \text{ h} = 171 \text{ W}$
 - $P_{max} = 24 \text{ kW} \rightarrow FC = 0,171 / 24 = 0,7 \%$

A parte casi speciali come gli alberghi, il carico relativo all'acqua calda sanitaria non è un problema di potenza media disponibile ma di volume di accumulo dell'acqua calda sanitaria

Nel settore residenziale

- Consumo giornaliero per acqua calda sanitaria : 5...8 kWh/giorno
- Ripartito sulle 24 ore: $5 \text{ kWh}/24\text{h} = 208 \text{ W}$ $8 \text{ kWh}/24\text{h} = 333 \text{ W}$
- ... ma anche $5...8 \text{ kWh} \cong 1$ ora di marcia su 24

Potenza media richiesta trascurabile rispetto alla taglia minima di una pompa di calore

- Problematiche più rilevanti:
 - Dimensionamento del volume dell'accumulo
 - Dimensionamento dello scambiatore dell'accumulo (per il salto termico)
 - Interruzione servizio riscaldamento o raffrescamento
 - Legionella (temperatura da raggiungere)

Possibile solo acqua calda sanitaria con accumulo

- 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 il 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

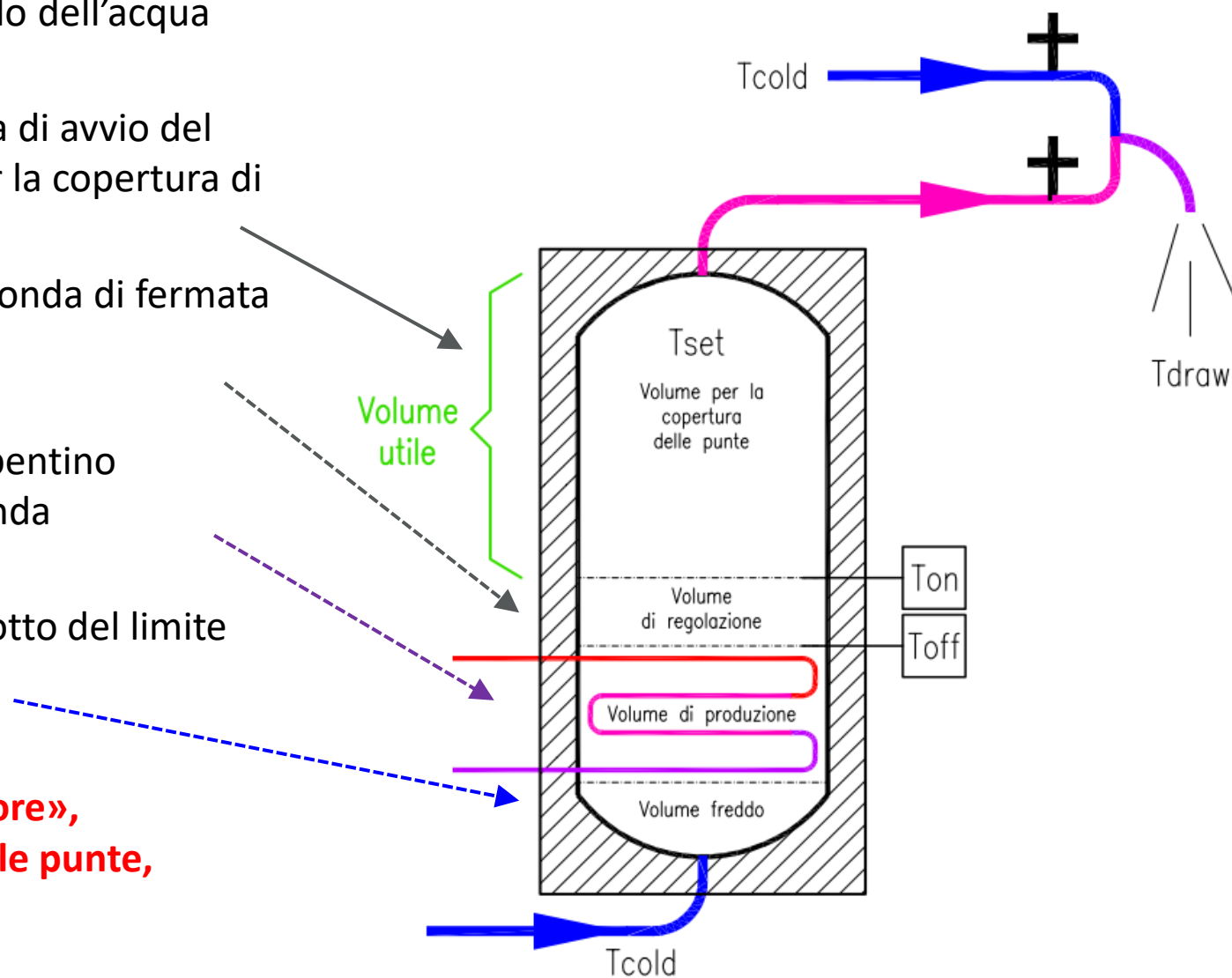
Legionella: sovratemperatura con resistenze o disinfezione chimica?
(e chi disinfetta i soffioni delle docce?)

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

Non tutto il volume del bollitore è utile per l'accumulo dell'acqua calda sanitaria

- Il **volume utile per le punte** è quello sopra la sonda di avvio del ripristino T_{on} . È quello sicuramente disponibile per la copertura di una punta.
- Il **volume di regolazione** è quello compreso fra la sonda di fermata T_{off} e quella di avviamento del ripristino T_{on} . È un volume la cui disponibilità è aleatoria
- Il **volume di produzione** è quello occupato dal serpentino di riscaldamento, al di sotto del sensore che comanda la fermata del ripristino (T_{off}).
- Il **volume freddo** è tutta l'acqua che si trova al di sotto del limite inferiore dello scambiatore. Non è un volume utile.

**Quando si verifica il «volume del bollitore»,
si sta determinando il suo volume utile per le punte,
non quello geometrico**



- **Volume utile**

- Per i bollitori a servizio di impianti con collettori solari occorre

- **Coefficiente di scambio dello scambiatore H [W/K]**

- È il dato che serve per i calcoli ma di regola non è dato...

- **E' ricavabile dai dati della potenza prelevabile in continuo** m della prova.

- Spesso viene indicata la superficie di scambio A

Approssimativamente $H = A [m^2] \times 500 W/(m^2 \cdot K)$

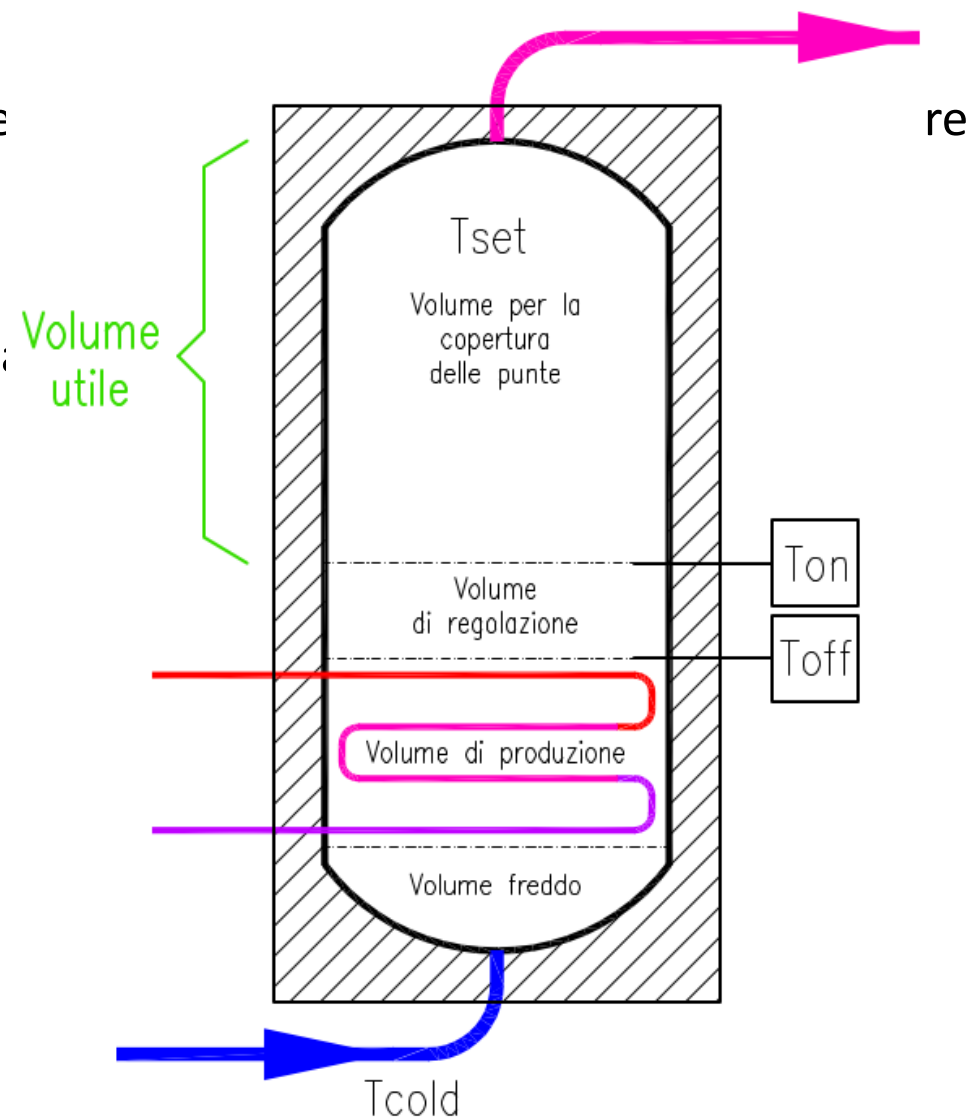
- Il valore del coefficiente di scambio liminare varia in funzione

- **Isolamento termico**

- Il valore complessivo dovrebbe essere espresso in W/K

- Classificazione ERP: sono W su DT di 40 °C

- A volte indicato in kWh/giorno, sempre con DT di 40 °C



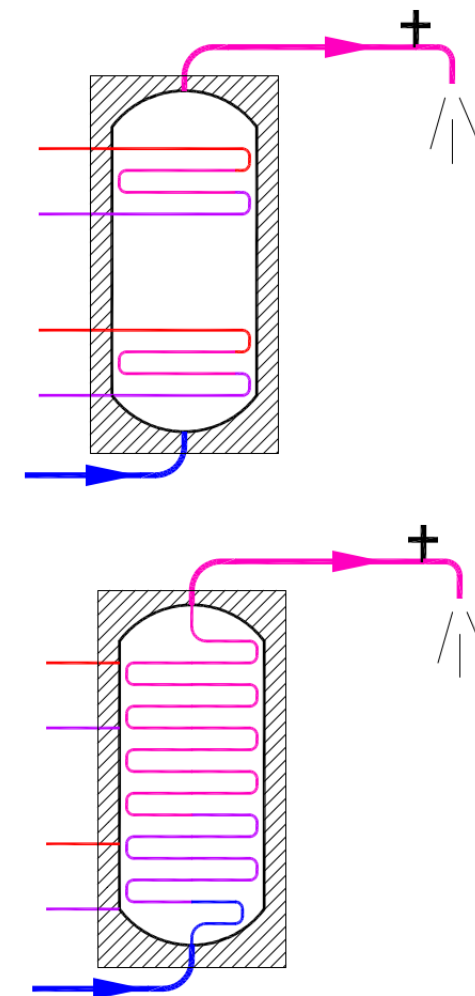
- **Accumulo di acqua calda sanitaria**

- Nessun limite di portata all'utilizzo in sanitario
- Rischio legionella nell'accumulo di acqua calda sanitaria
- Potenzialmente più adatto per pompa di calore (mandata a temperatura variabile durante riscaldamento)

- **Accumulo di acqua tecnica**

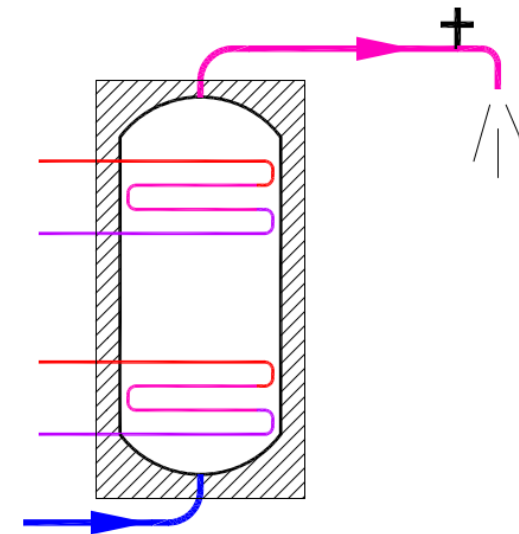
- Portata di acqua calda sanitaria limitata dallo scambio istantaneo
- Nessun rischio legionella nell'accumulo
- Possibilità di alimentare piccole utenze ad alta temperatura
- Energia accumulabile un po' inferiore a parità di volume e temperatura

In tutti i casi gli scambiatori possono essere interni od esterni all'accumulo



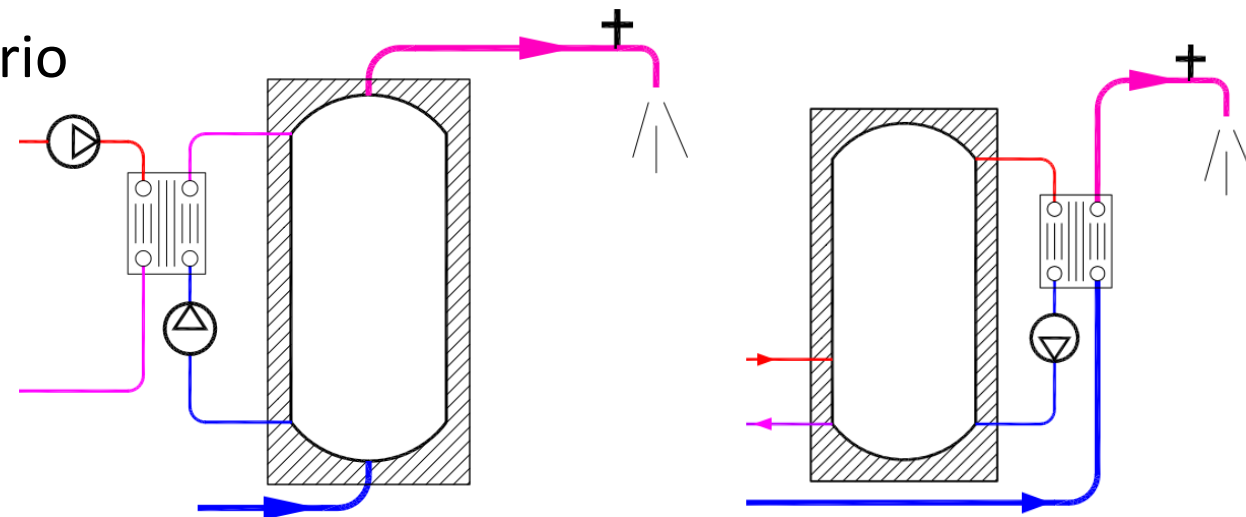
- **Scambiatore integrato nel bollitore**

- Non richiede una pompa lato acqua sanitaria
- Superficie di scambio definita dal costruttore del bollitore, non modificabile
- Pulizia scambiatore complicata



- **Scambiatore esterno al bollitore**

- Necessita una pompa anche dal lato sanitario
- Possibile avere superfici di scambio elevate su misura (scambiatore a piastre)
- Possibile la pulizia e/o sostituzione dello scambiatore



- Metodo UNI 9182, di uso generale
 - Non un vero calcolo ma una verifica sulla base del fabbisogno nelle punta, contributo del generatore durante la punta e volume di accumulo
 - Dipende da molte ipotesi semplificative
- EN 15450:2008, due metodi
 - Volume di accumulo = $2,0 \times$ fabbisogno medio giornaliero, nessuna verifica di potenza
 - Volume di accumulo = $1,0 \times$ fabbisogno medio giornaliero e verifica dei prelievi di punta (come?)
 - *fanno entrambi esclusivamente riferimento alle persone presunte e non ai sanitari installati*
- prEN 15450:2024, due metodi
 - Volume di accumulo = $2,0 \times$ fabbisogno medio giornaliero, nessuna verifica di potenza (residenziale)
 - Verifica con il metodo della curva cumulata dei fabbisogni definita nella EN 12831-3
 - andrebbe abbinato con il modello dinamico del bollitore secondo EN 15316-5
 - andrebbe integrato con un metodo per costruire dei fabbisogni di dimensionamento

- Occorre definire una serie di «eventi» di prelievo di acqua calda sanitaria di dimensionamento:
la serie più gravosa che si ritiene si debba soddisfare
- Per la verifica, la 9182 non fornisce molte indicazioni
- La EN 12831-3 offre un metodo di calcolo con passo di un minuto per verificare se la combinazione volume di accumulo / potenza disponibile per il ripristino è sufficiente per superare il picco di fabbisogno
- **Rimane da definire la combinazione di eventi di progetto:** nessuna norma può coprire esaurientemente tutti i casi che si possono presentare, sarà il progettista, in accordo con il Committente a dover definire la situazione più gravosa.

Nel seguito si descrive un tool elementare per la simulazione del funzionamento del bollitore che applica concetti simili alla EN 12831-3 ed alla bozza di nuova norma EN 15450.

1. Definire una serie di «**tipologie di eventi**» (durata, portata) con scala temporale minuto primo:

- Prelievo breve, tipo lavaggio mani, lavaggio piatti, ...
- Prelievo tipo doccia → breve/lunga, residenziale, albergo, ufficio, ...
- Prelievo tipo vasca → volume della vasca, tempo di riempimento
- Altri → lavaggio stoviglie a mano, lavaggio capelli, lavapiatti, lavatrice, altri prelievi di processo...

Definizione degli eventi (prelievi singoli)				
Evento	Durata min	Portata l/min	Volume l	Energia kWh
Lavaggio mani	1	2	2	0,065
Doccia rapida	4	8	32	1,039
Doccia media	6	10	60	1,949
Doccia lunga	8	12	96	3,118
Vasca	12	12	144	4,677
Jacuzzi	15	15	225	7,308
Lavaggio piatti	10	5	50	1,624

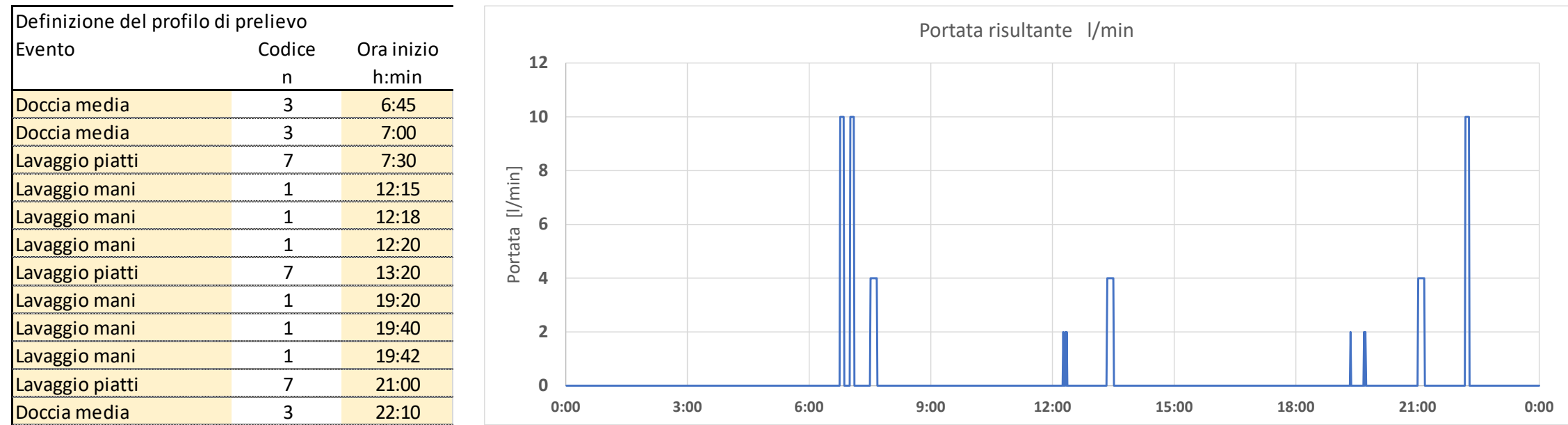
2. Definire il **profilo giornaliero di prelievo** di dimensionamento:

tipo e numero di prelievi durante la giornata più gravosa.

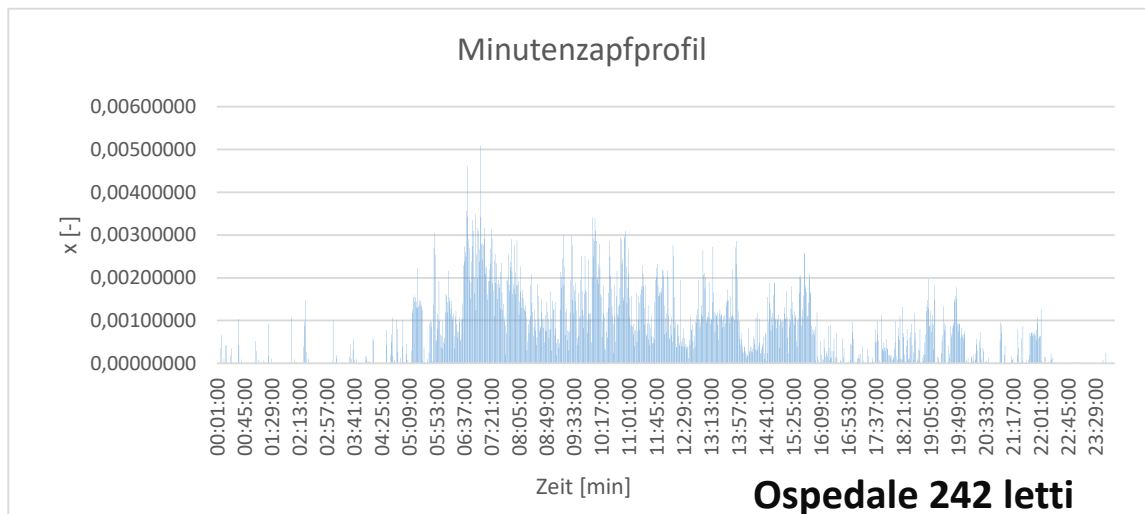
- Residenziale: doccia o vasche in base agli abitanti ipotetici, oltre ad altri prelievi minori
- Albergo: in base a docce o vasche ed alla tipologia di albergo: montagna, mare, città, fiere, tappa per bus turistici, ...
- Uffici: in alcuni paesi (NL), docce a disposizione di chi arriva in ufficio in bicicletta...
- Siti produttivi: docce per il personale a fine turno
- Strutture sportive: docce degli spogliatoi (tutte le docce accese per X minuti)
- ...

Da fare caso per caso considerando la situazione più gravosa per il dimensionamento.

- Una serie di eventi singoli distribuiti nell’arco della giornata...



- Volume complessivo prelevato: 312 litri
- Fabbisogno giornaliero con acqua fredda a 12°C: 10,1 kWh

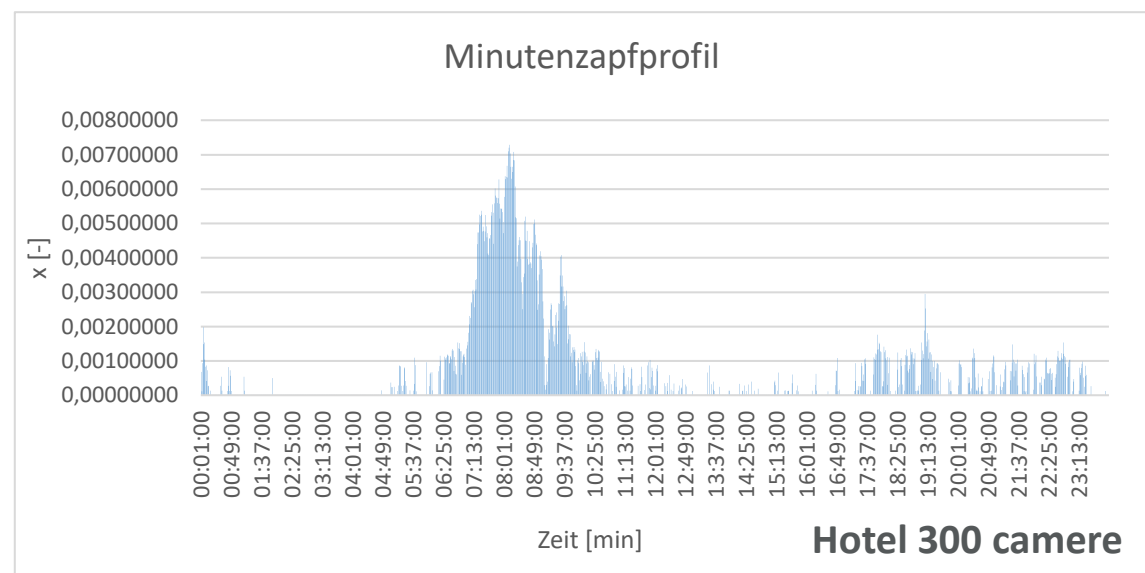


Questi profili sono dati misurati, presumibilmente il giorno più severo in un periodo di osservazione. Rimangono dei dati relativi ad un caso specifico.

Andrebbero predisposti dei profili di dimensionamento che rappresentino le condizioni più gravose previste per il tipo di attività

Unità di misura: frazione del carico giornaliero erogata nel minuto considerato

Soluzione da investigare: unire questo metodo con la EN 15316-5 in modo da poter anche tenere conto facilmente della posizione degli scambiatori e dei sensori di temperatura.



Nel seguito: analisi del caso dell'albergo di 300 camere

Spesso è utile considerare gruppi di eventi dello stesso tipo, distribuiti nell'arco di un intervallo definito. Esempio: docce in un albergo.

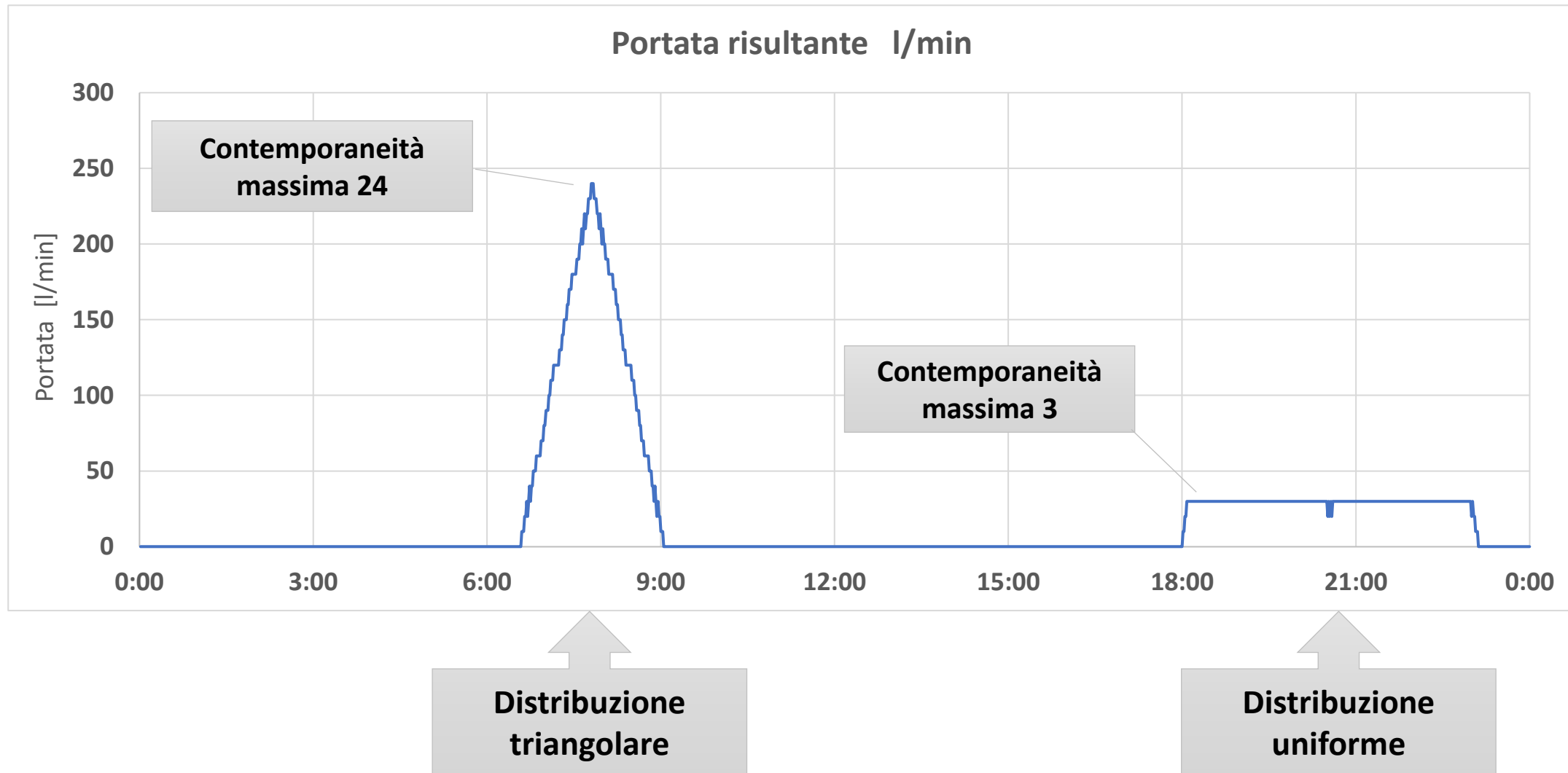
Serve definire:

- Il **singolo evento**: doccia media
- Il **numero di eventi singoli** nel gruppo: **numero di camere x occupazione media**
- La **durata dell'arco temporale** in cui si concentra la serie di eventi singoli:
 - Alla sera, 3...4 ore
 - Arrivo di una serie di pullman: 1...1,5 ore
- La **distribuzione degli eventi singoli** nell'arco temporale stimato
 - Uniforme: equamente distribuiti nell'arco dell'intervallo di tempo
 - Gaussiana (tagliando le «orecchie»): distribuzione casuale (ma occorre anche definire la larghezza)
 - Triangolare: quando è probabile che si concentrino attorno ad un orario (ad esempio: 7,30 alla mattina)

Definizione del profilo di prelievo					
Evento	Codice	Ora inizio	Ripetizioni	Intervallo	Distribuzione
	n	h:min	n	h:min	
Doccia media	3	6:30	300	02:30	Triangular
Doccia media	3	18:00	150	04:00	Uniform

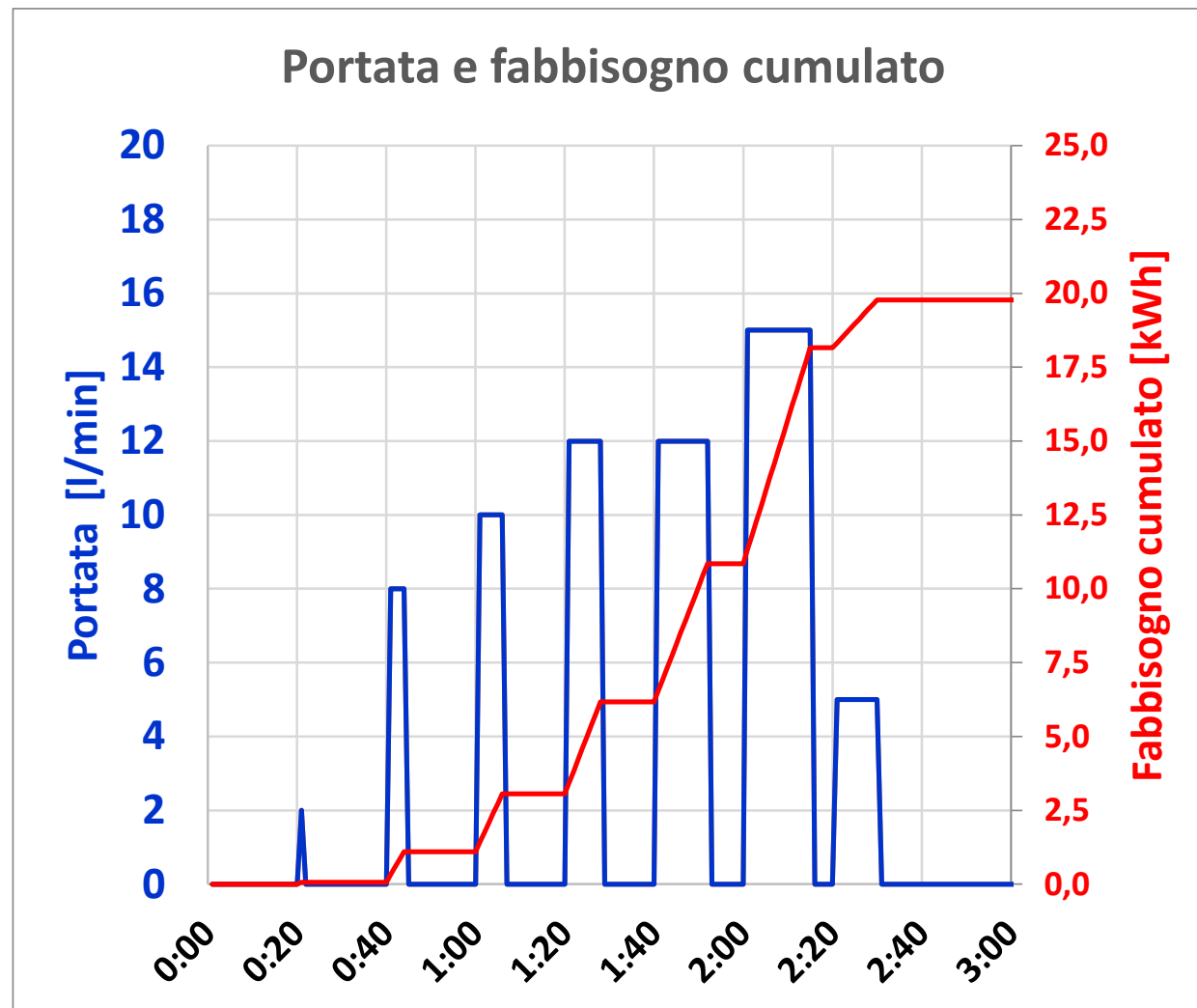
Esempio di descrizione sintetica dei prelievi di acqua calda sanitaria di un albergo di 300 camere

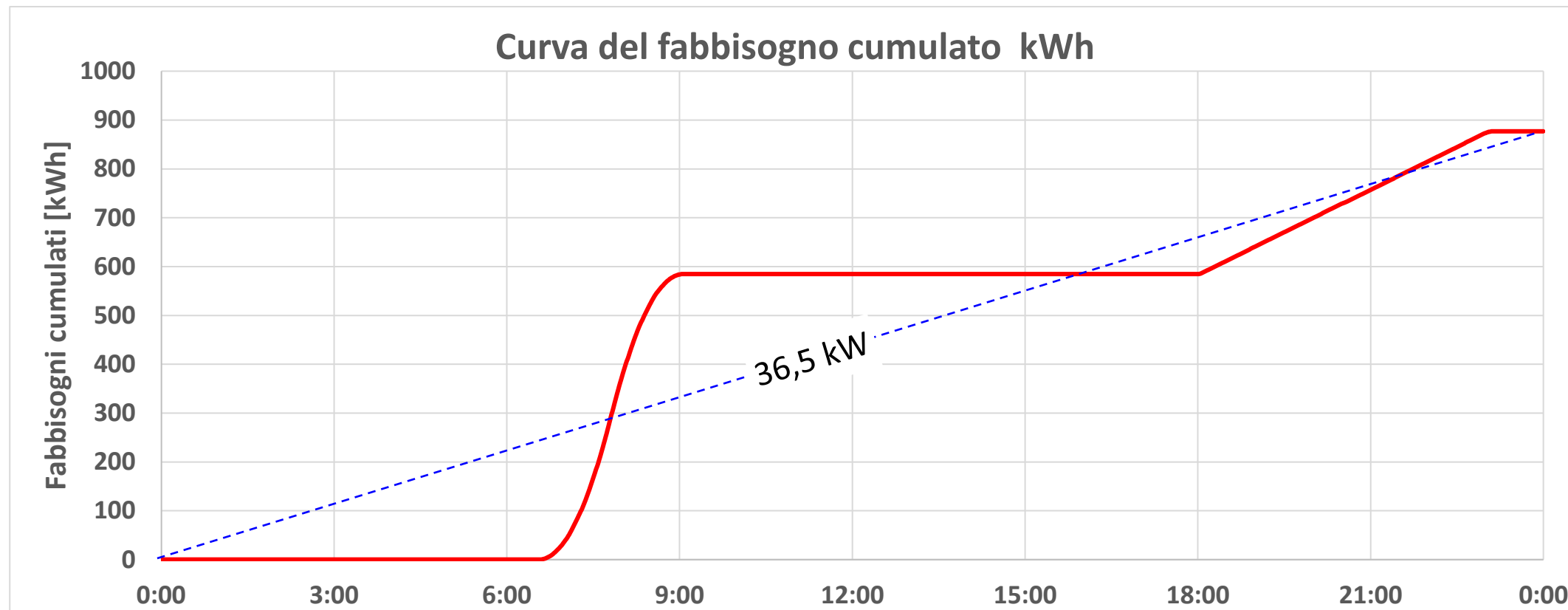
- Sono chiaramente individuati due blocchi di eventi:
 - Docce alla mattina, con concentrazione fra le 7.00 e le 8.00 e durata dalle 7.00 alle 9.30
→ distribuzione «triangolare»
 - Docce alla sera con distribuzione uniforme dalle 18.00 alle 23.00
- Volume complessivo prelevato: 27 m³
- Fabbisogno giornaliero con acqua fredda a 12°C: 877 kWh
- Potenza media: 36,54 kW (a cui aggiungere la potenza delle dispersioni del ricircolo)



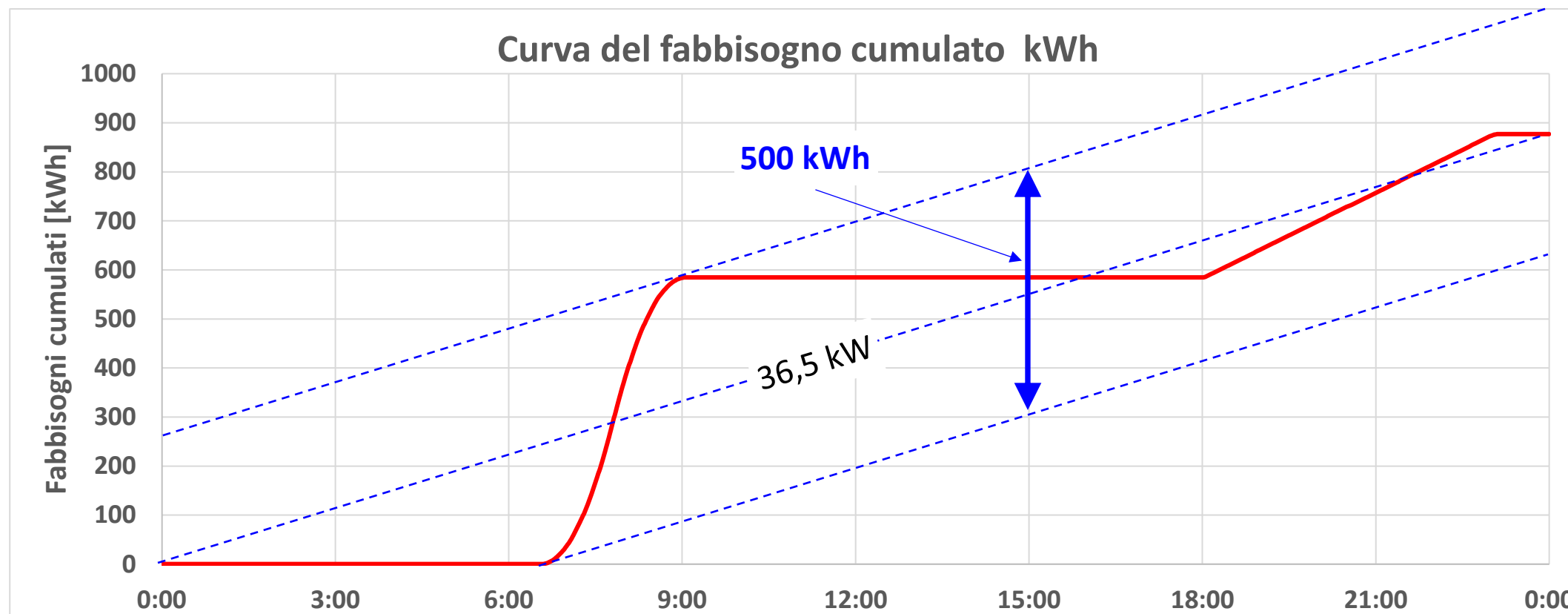
3 – Calcolare la curva di **prelievo cumulato**

- Ogni curva di prelievo in l/min può essere convertita in una curva di fabbisogno energetico cumulato in kWh al tempo t.
- Si devono progressivamente sommare i fabbisogni energetici nei vari minuti
- Durante i prelievi:
pendenza proporzionale alla portata di acqua richiesta, quindi alla potenza istantanea.
- In assenza di prelievo:
fabbisogno cumulato costante



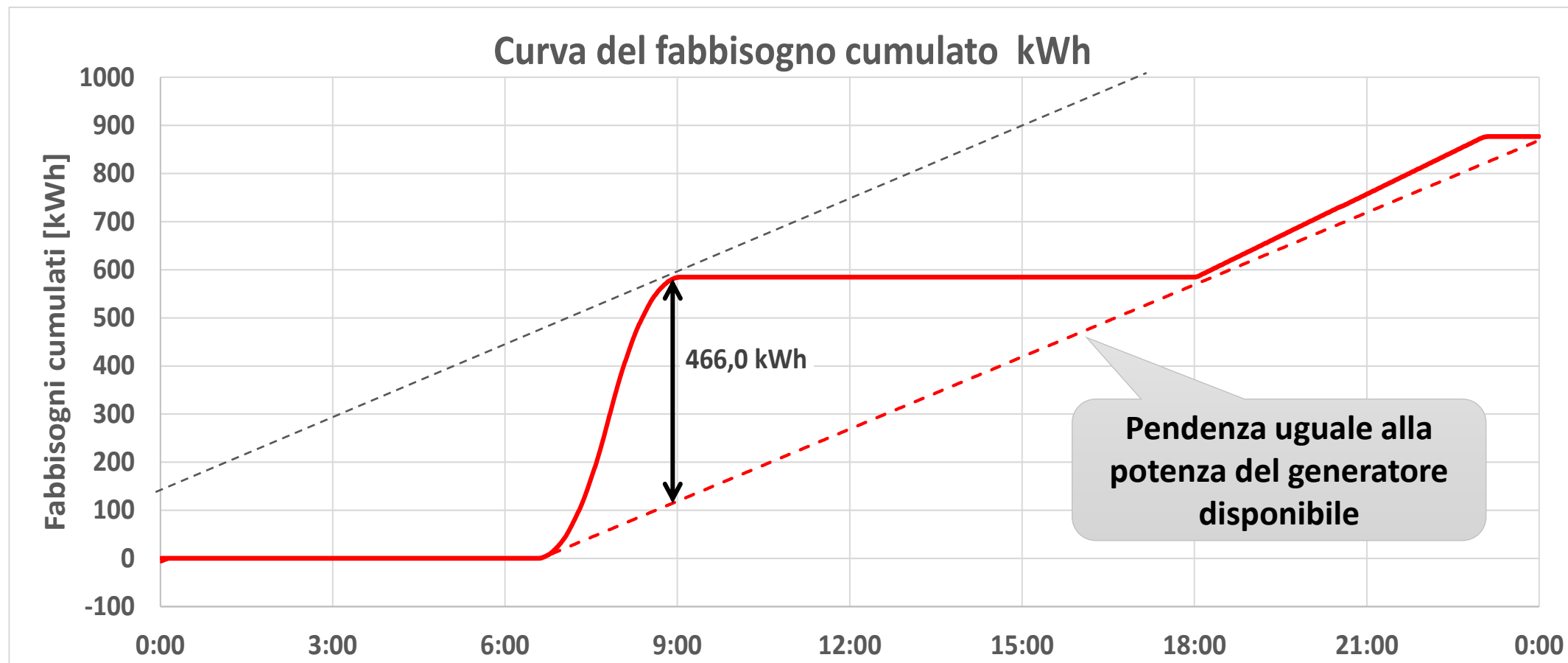


- Fabbisogno cumulato: somma fabbisogni in kWh dall'ora zero fino all'istante considerato
- Pendenza delle curve = potenza → servono almeno 36,5 kW per servire quell'albergo (da aggiungere: la potenza per le dispersioni di ricircolo → almeno 15 W/m)

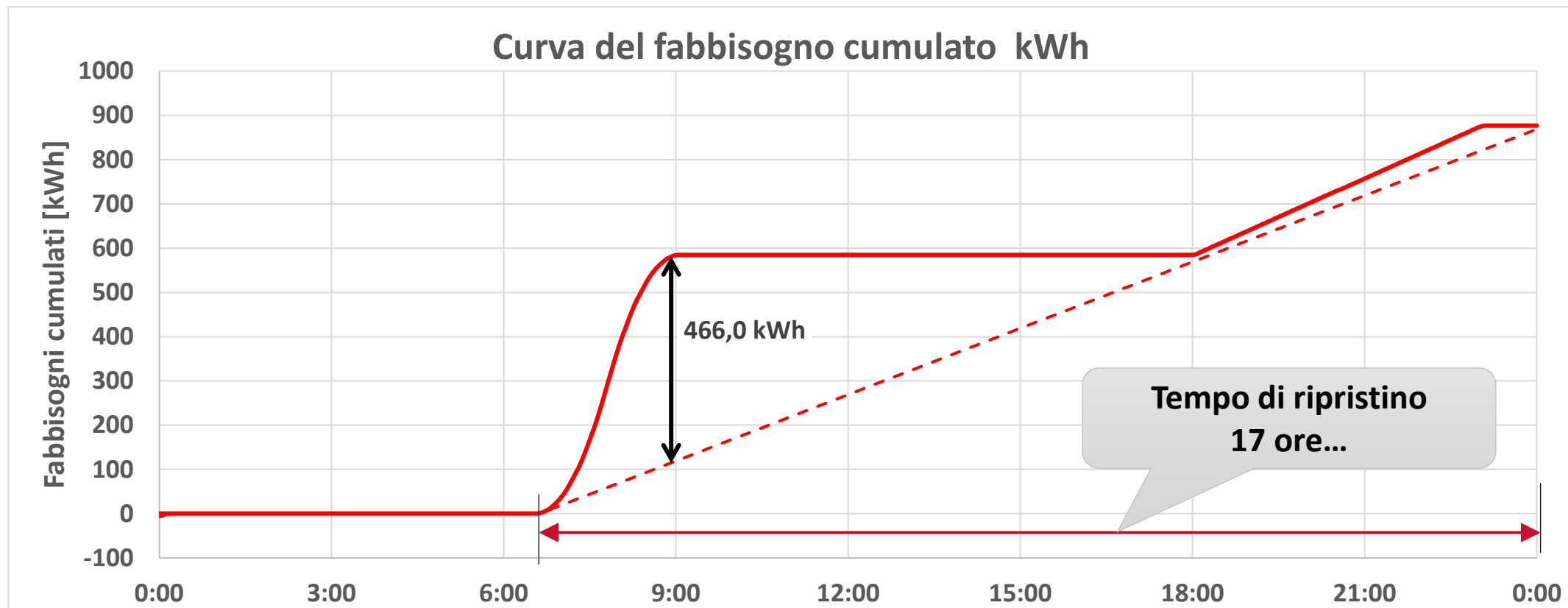


- La distanza fra le due tangenti parallele alla curva media definisce **l'energia massima** da accumulare
- Avendo a disposizione **36,5 kW**, serve un accumulo di 500 kWh per soddisfare il carico ipotizzato
- $500 \text{ kWh} / (1,16 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \times (60^\circ \text{C} - 12^\circ \text{C})) = 9,0 \text{ m}^3$ ($11,3 \text{ m}^3$ con 50°C) → **Volume massimo accumulo**

IL METODO DEL FABBISOGNO CUMULATO: ENERGIA DA ACCUMULARE AVENDO A DISPOSIZIONE UNA POTENZA MAGGIORE

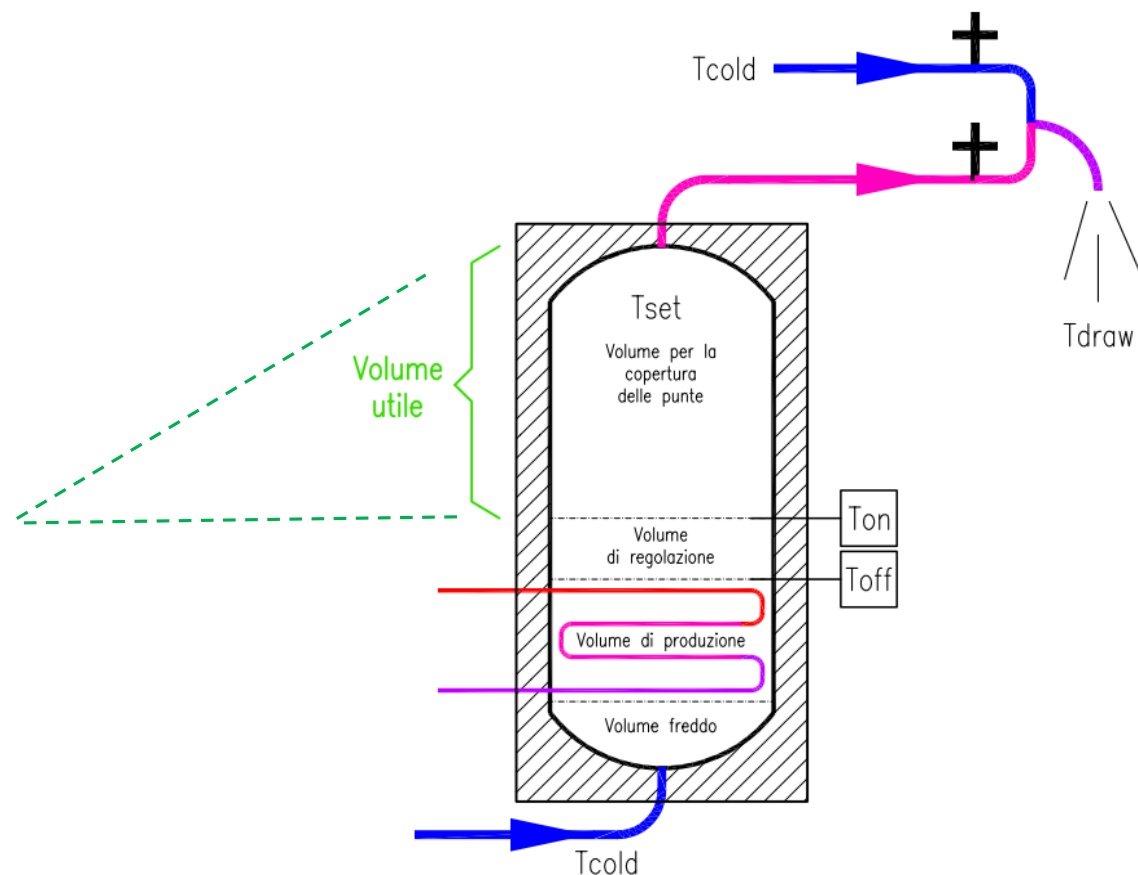


- Se abbiamo a disposizione 50 kW, la retta tratteggiata rossa è il contributo massimo del generatore
- Con 50 kW a **disposizione** l'energia da accumulare si riduce a 466 kWh $\rightarrow$ 8,37 m³ a 60 °C



- La simulazione evidenzia anche il tempo di ripristino, che è di ben 17 ore con i 50 kW a disposizione
- Ciò fornisce una indicazione sulla indisponibilità della parte di generazione dedicata all'acqua calda sanitaria che risulta impegnata per tutto il giorno.

Dimensionamento dell'accumulo		
Calore specifico	Wh/(kgK)	1,16
Temperatura dell'acqua fredda	°C	12
Temperatura di prelievo	°C	40
Energia da accumulare	kWh	466,0
Potenza minima necessaria	kW	36,54
Potenza disponibile	kW	50,0
Temperatura accumulo	°C	50
Volume utile accumulo	l	10572
Tempo di ripristino massimo	ore:min	17:35
Durata totale in sanitario	ore:min	17:35
Portata massima	l/min	240
Volume giornaliero	l	27000
Carico massimo relativo		0,0089



- Il calcolo può essere ripetuto variando i vari fattori
- Il carico massimo relativo è molto simile a quello riportato nel profilo originale (poco oltre 0,007)
- Ciò che è stato determinato è il volume utile per la punta dell'accumulo...

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

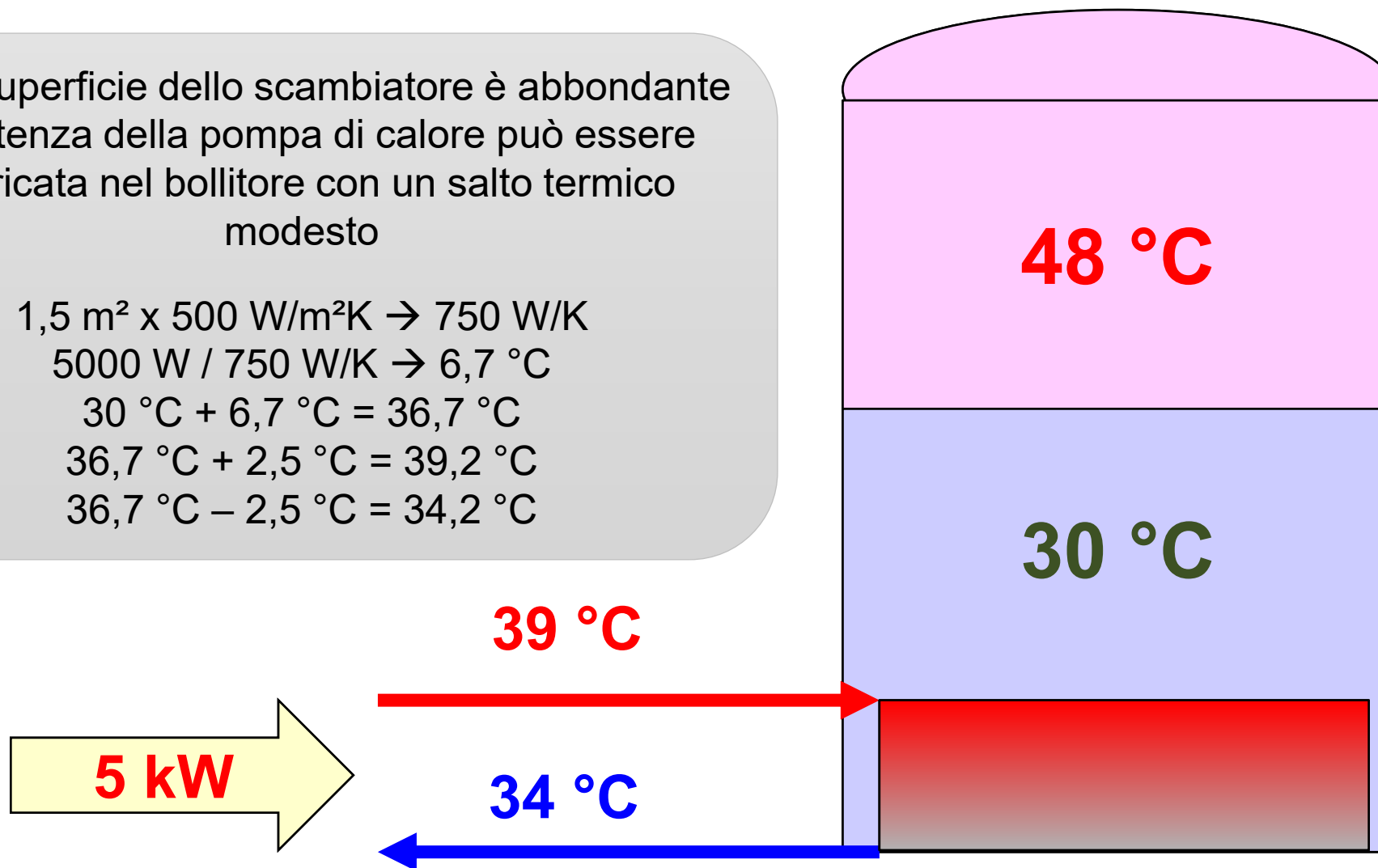
$$1,5 \text{ m}^2 \times 500 \text{ W/m}^2\text{K} \rightarrow 750 \text{ W/K}$$

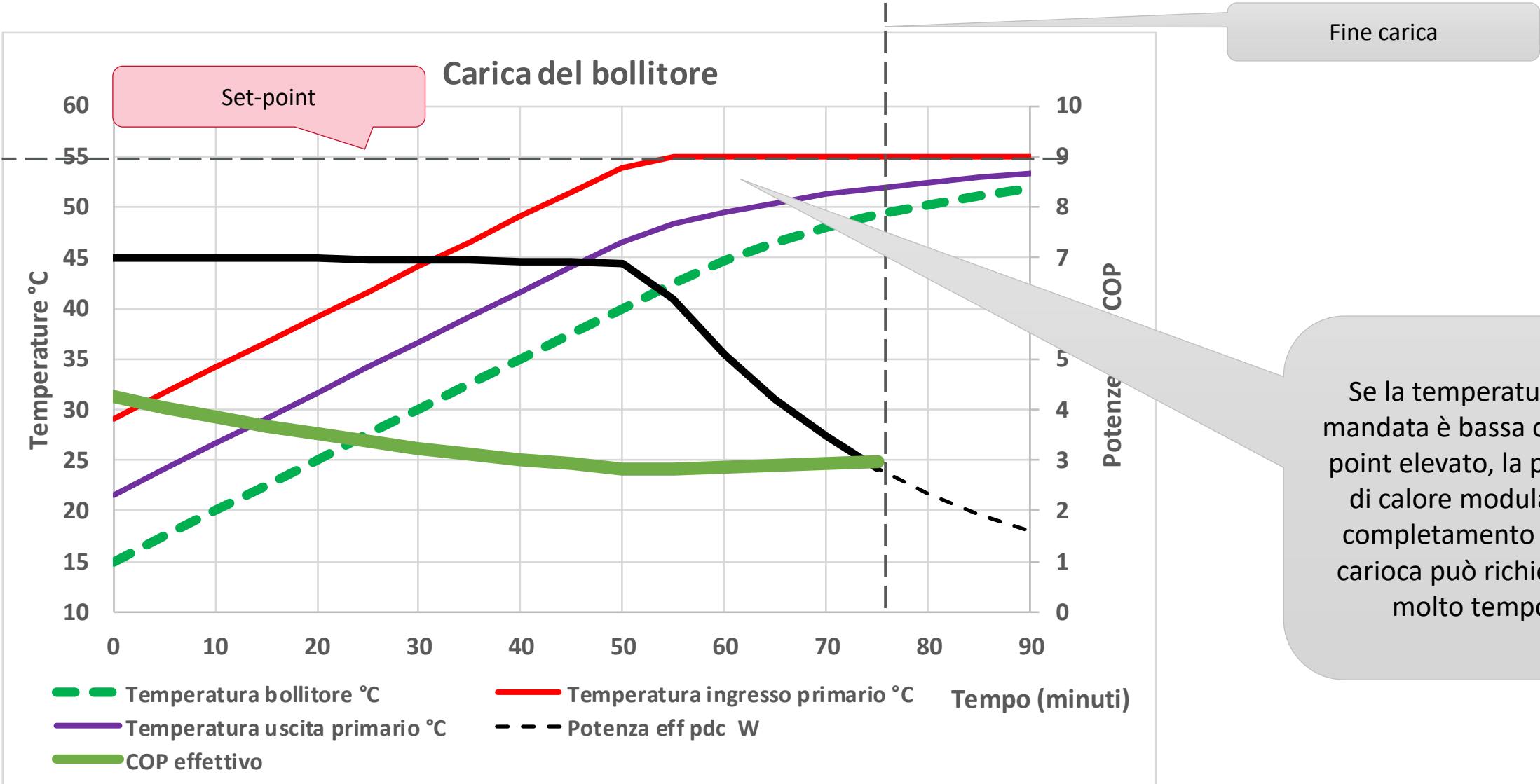
$$5000 \text{ W} / 750 \text{ W/K} \rightarrow 6,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$30 \text{ }^\circ\text{C} + 6,7 \text{ }^\circ\text{C} = 36,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$36,7 \text{ }^\circ\text{C} + 2,5 \text{ }^\circ\text{C} = 39,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$36,7 \text{ }^\circ\text{C} - 2,5 \text{ }^\circ\text{C} = 34,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

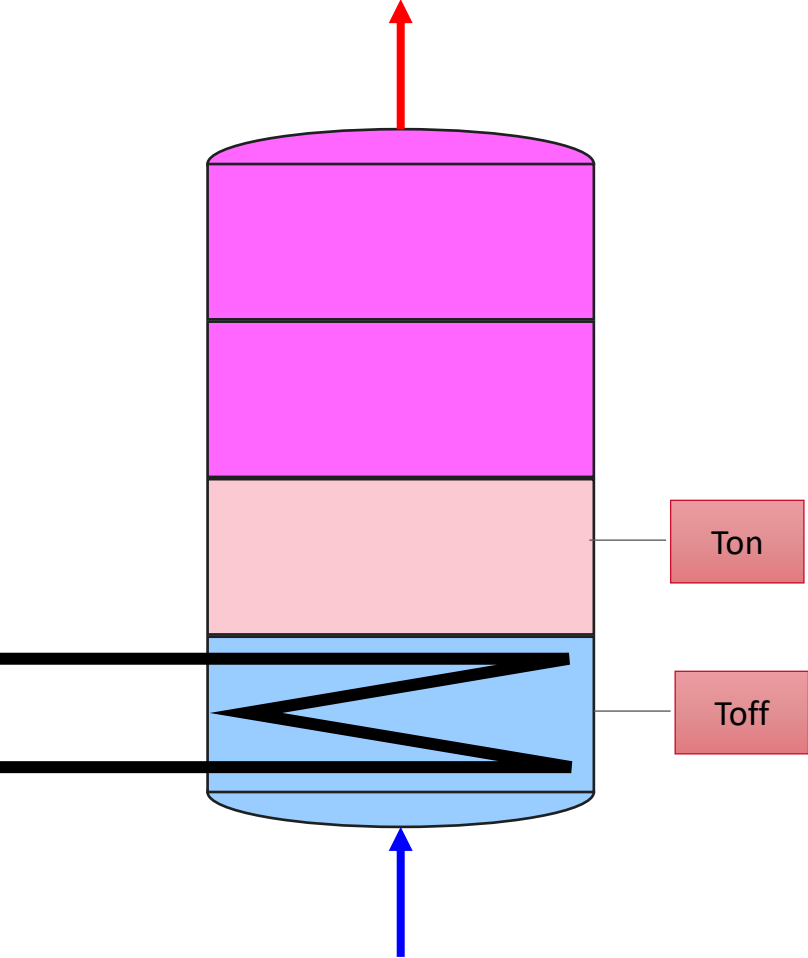




- Si può utilizzare la norma EN 15316-5 ed alcuni calcoli aggiuntivi per simulare il comportamento dinamico di un accumulo e le prestazioni della pompa di calore.
- La norma è nata per il calcolo orario, la verifica dovrebbe essere fatta con un calcolo minuto per minuto, questo causa alcune approssimazioni
 - La temperatura dell'acqua che viaggia fra i vari strati è diversa dalla temperatura media dello strato
→ c'è un effetto fittizio di «raffreddamento» degli strati superiori a causa del prelievo
 - La temperatura dell'acqua all'uscita del bollitore è sottostimata, a favore della sicurezza
- La simulazione consente di evidenziare :
 - Il tempo di ripristino del bollitore
 - La variabilità del COP della pompa di calore durante la carica del bollitore di acqua sanitaria
 - L'effetto della dimensione del serpentino sul COP e sulla durata della carica

Di seguito alcune simulazioni esempio

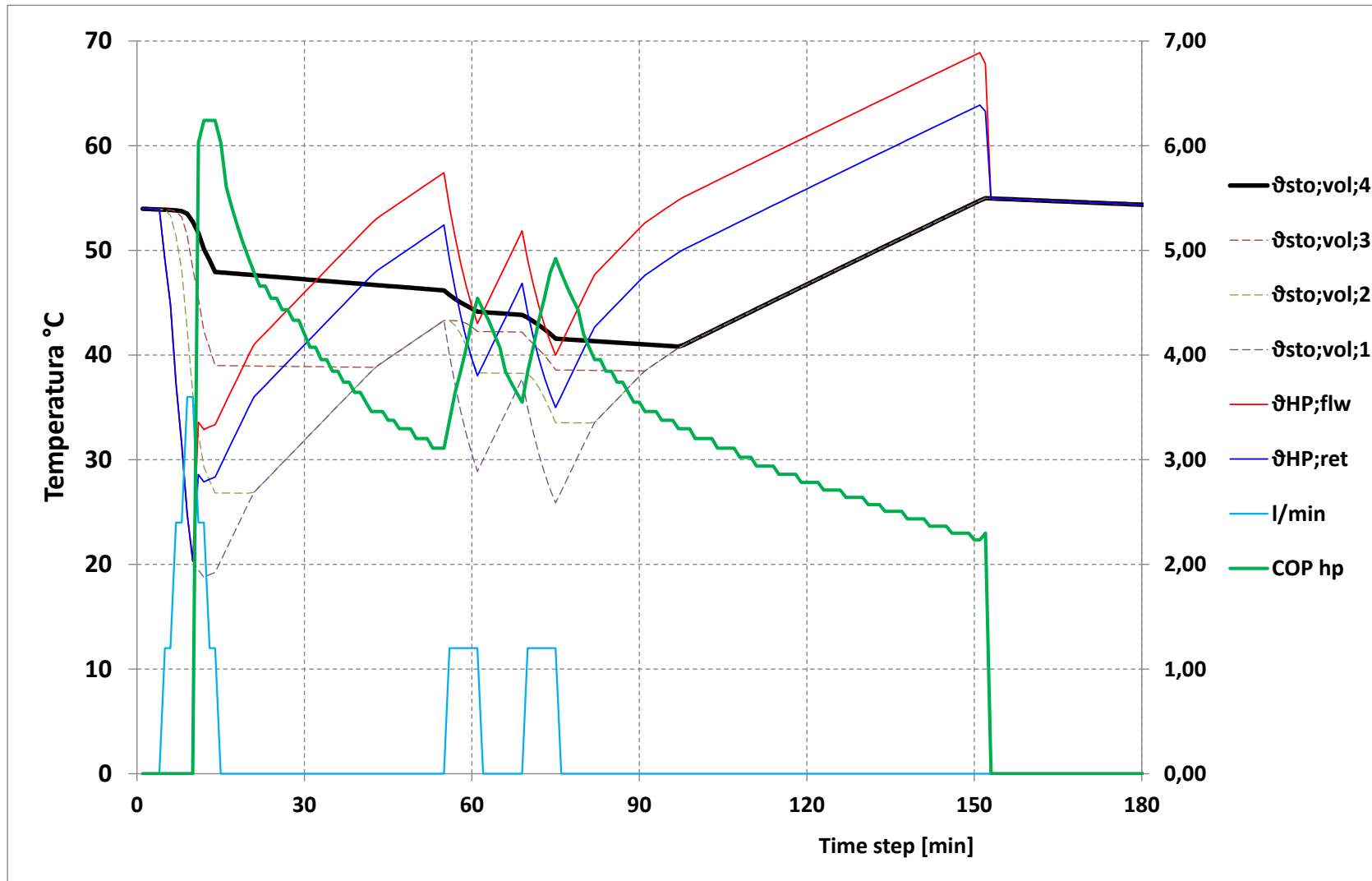
Simulazione con metodo dinamico EN 15316-5, intervallo 1 minuto



		Evolution of temperatures in the storage during the time step						
Step		1	2...3	4	5	6	7	8
Description		Initial	DHW draw-off	Heating output	Solar heating	Back-up heater	Layer melting	Heat losses
Layer 4	°C	52,71	51,67	51,67	51,67	51,67	51,67	51,65
Layer 3	°C	48,27	45,44	45,44	45,44	45,44	45,44	45,43
Layer 2	°C	36,24	32,49	32,49	32,49	32,49	32,49	32,48
Layer 1	°C	20,32	18,36	18,36	18,36	19,47	19,47	19,47
Volume withdrawn	l	17,68						
Energy withdrawn	kWh	0,835		0,000		0,002		
Energy supplied	kWh			0,000		0,097		

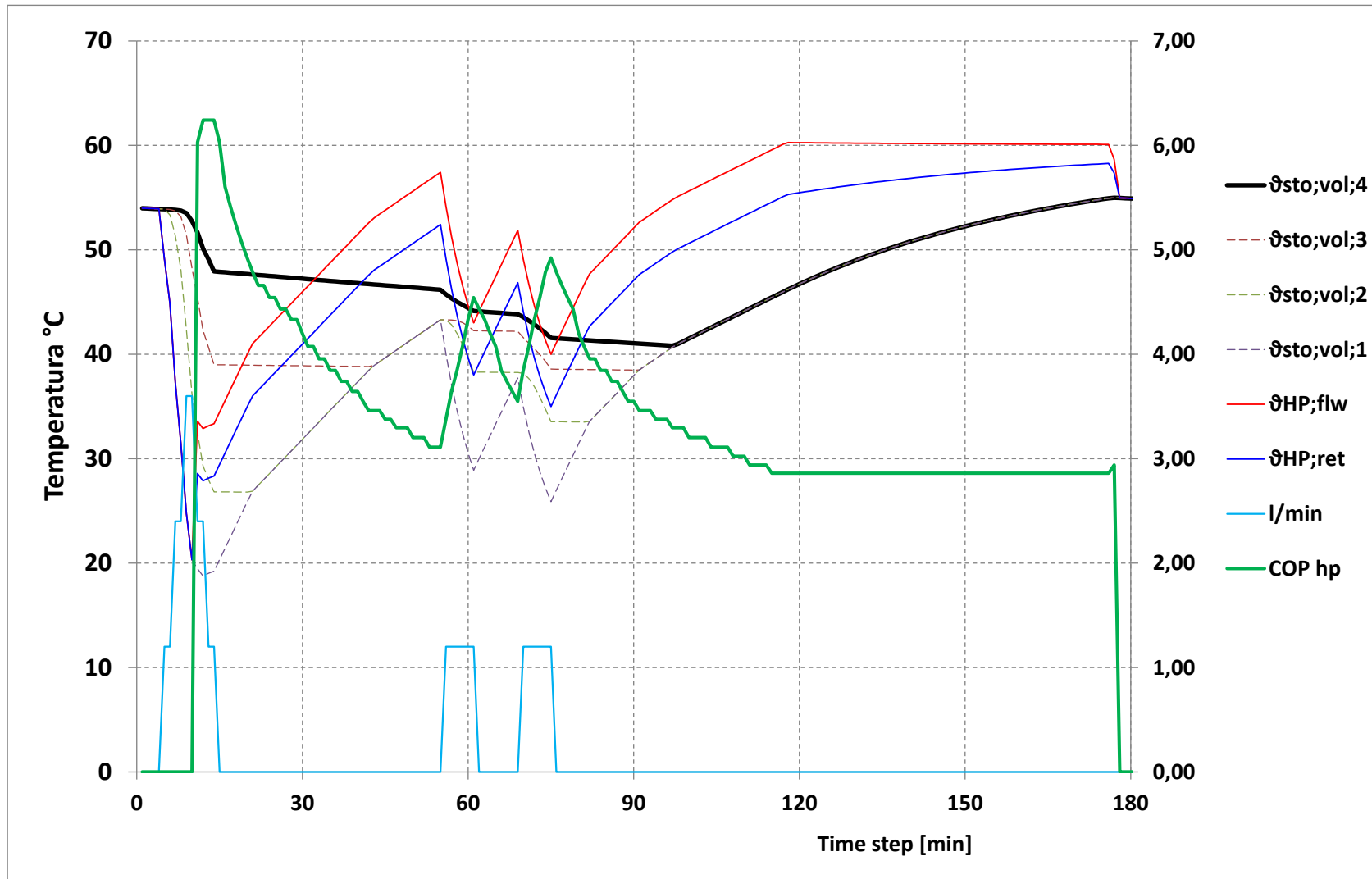
Verifica del funzionamento con accumulo di acqua sanitaria schematizzato con 4 volumi uguali.

Riscaldamento nella zona inferiore
Sensore di accensione sulla temperatura del, secondo layer.
Sensore di spegnimento sulla temperatura del primo layer



- Volume 300 litri
- Scambiatore 500 W/K (circa 1 m²)
- N°3 + 2 docce 6 minuti
12 l/s → 5 x 72 = 360 litri
- Temperatura set 55 °C
- Temperatura avvio pompa di calore 45°C
- Pompa di calore **SPK 07**
- Temperatura massima libera fino a 75 °C

- COP medio risultante 3,35
- Aria esterna 15 °C



- Volume 300 litri
- Scambiatore 500 W/K (circa 1 m²)
- N°3 + 2 docce 6 minuti
12 l/s → 5 x 72 = 360 litri
- Temperatura set 55 °C
- Temperatura avvio pompa di calore 45°C
- Pompa di calore **SPK 07**
- Temperatura massima limitata a 60 °C

- COP medio risultante 3,48
- Aria esterna 15 °C

- La simulazione conferma ciò che già si sapeva: il volume di accumulo deve contenere l'intero fabbisogno del periodo di punta.
- Più importante: la simulazione evidenzia la necessità di una grande superficie di scambio e gli effetti di uno scarso margine di temperatura di mandata rispetto alla temperatura desiderata dell'accumulo.
- Rimane da fare la scelta: acqua calda sanitaria con la stessa pompa di calore o macchina dedicata in modo da evitare le interruzioni intempestive in raffrescamento?

- **Acqua calda sanitaria con pompa di calore solo con accumulo**
- **Valutare attentamente la** produzione di acqua calda sanitaria con **pompa di calore dedicata**
- Gestire **bollitore a temperatura minima possibile**, salvo innalzamento periodico anti-legionella (con resistenza...)
- Con temperatura molto elevata, gli ultimi °C con resistenza elettrica
- **Bollitore di dimensione superiore** al consumo totale nell'ora di punta, il contributo della pompa di calore durante il prelievo è trascurabile
- Opzionalmente, ridurre la potenza durante la carica del bollitore
- In presenza di fotovoltaico, evitare la carica del bollitore di notte