

REVIS DAYS
12-13 giugno 2026

Dimensionamento del volume di accumulo sanitario

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

- 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 kWh/24h = 208 W 8 kWh/24h = 333 W
- ... ma anche 5...8 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?

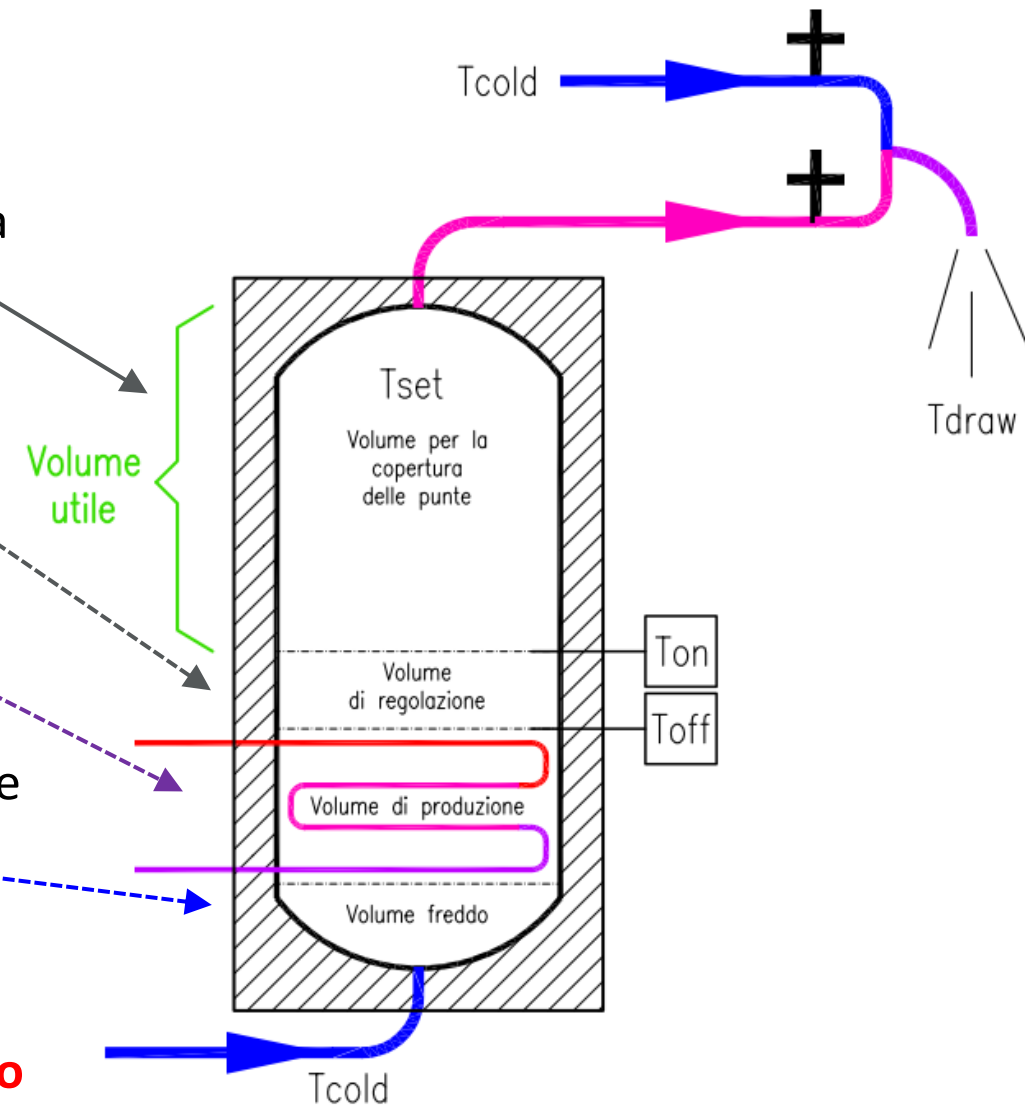
(e chi disinfetta i soffioni delle docce?)

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

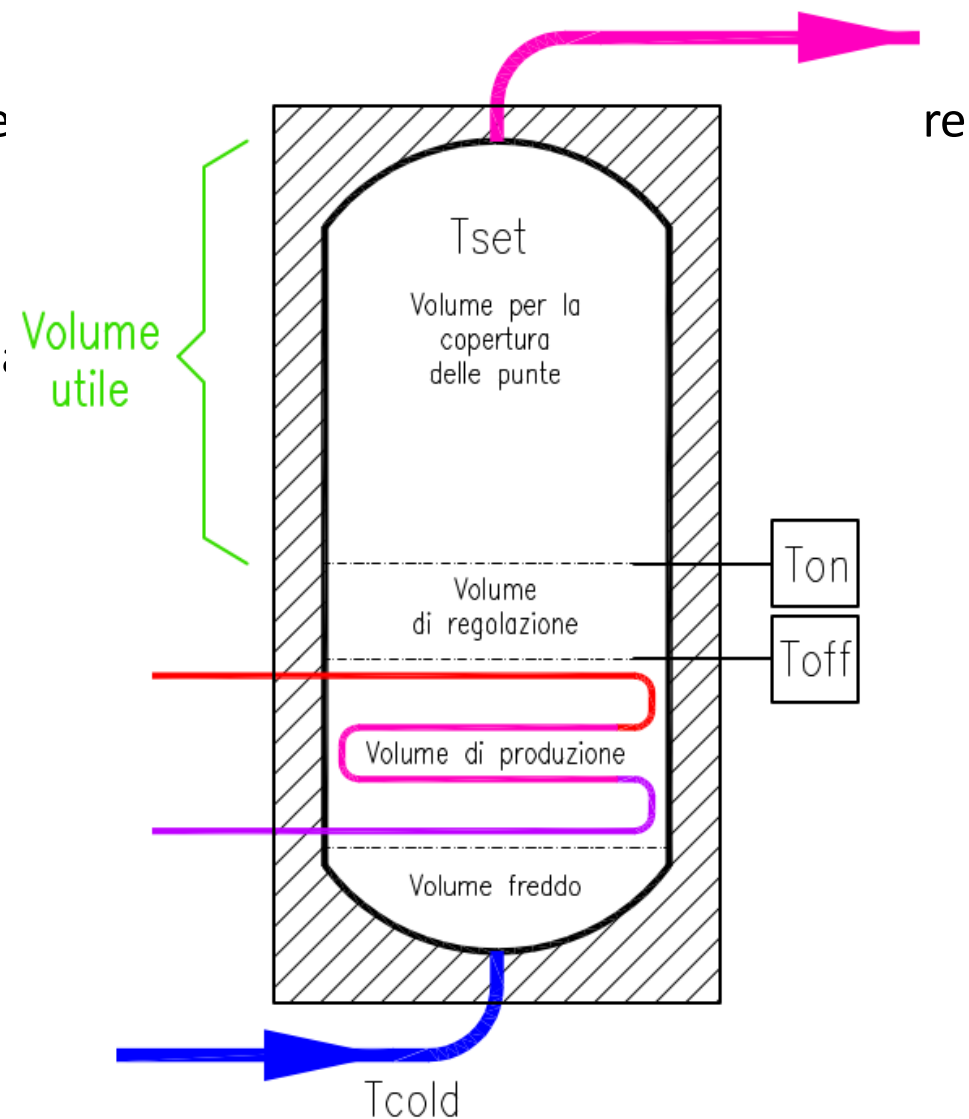
- Il valore del coefficiente di scambio limite varia in funzione

- **Isolamento termico**

- Il valore complessivo dovrebbe essere espresso in W/K

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

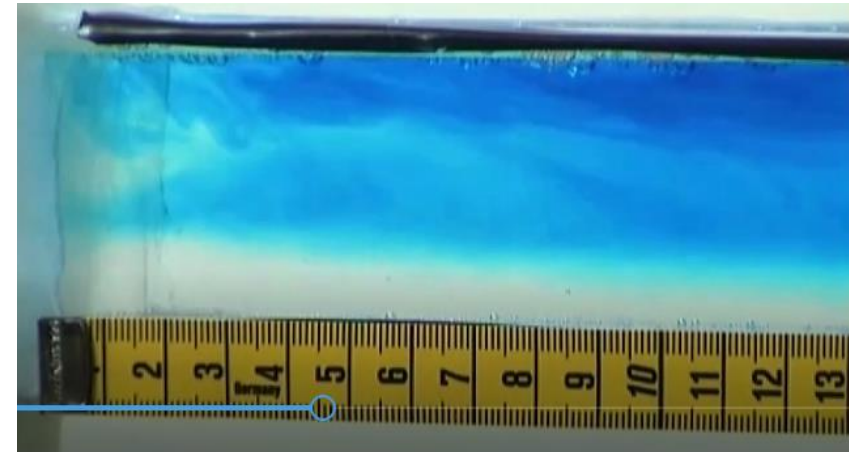
- A volte indicato in kWh/giorno, sempre con DT di 40 °C



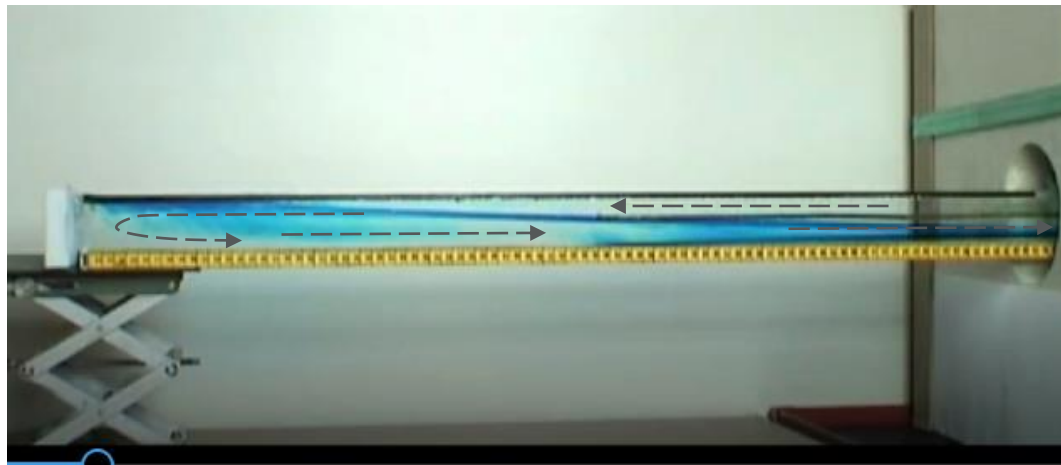


Accumulo caldo

Iniezione del colorante



Inversione alla fine del tubo



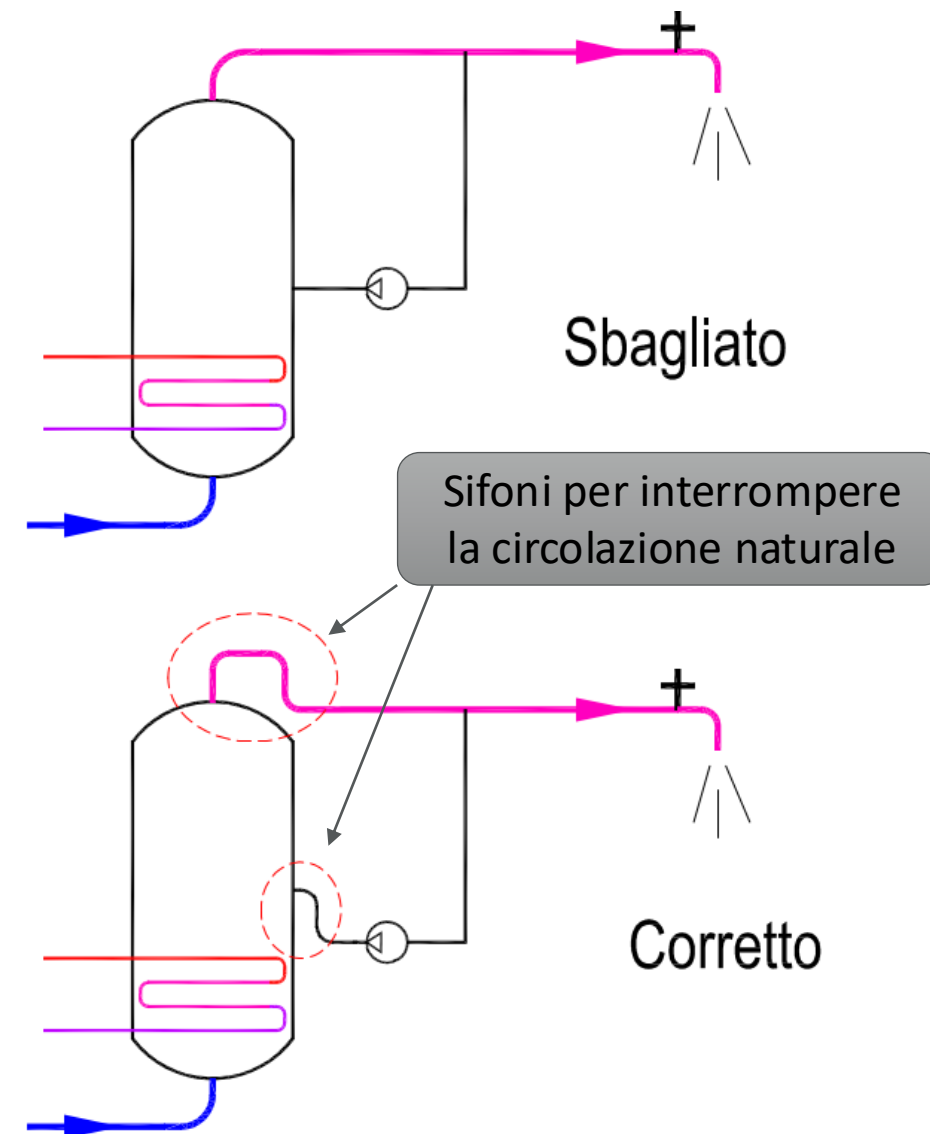
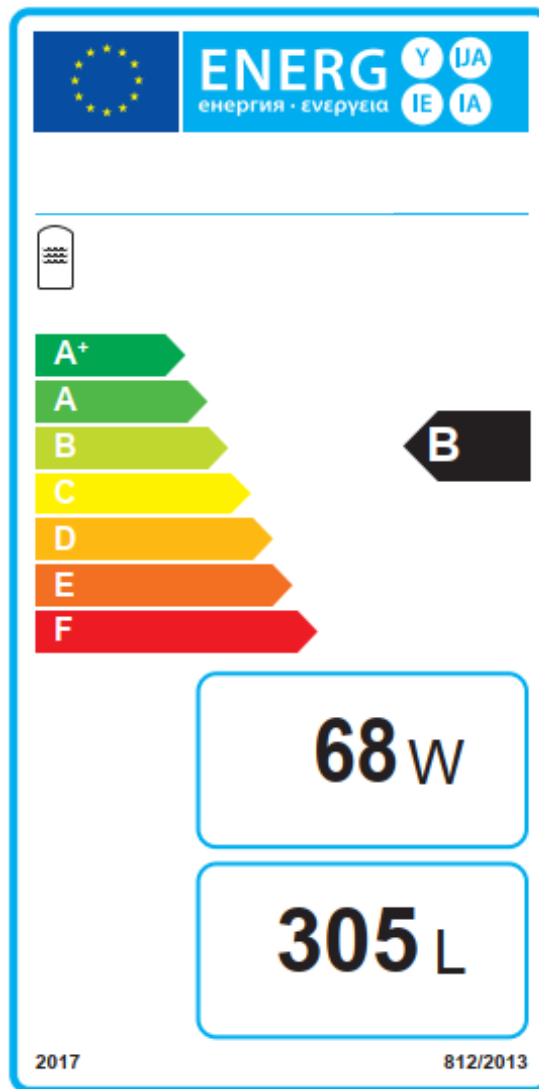
Evidenza del moto convettivo



Rückstrom des kalten Wassers in den Speicher

Cascata di acqua fredda all'interno del serbatoio

- Coefficiente di dispersione di un bollitore da 300 litri
→ $68W/40^{\circ}C = 1,7 W/K$
- 1 metro di tubo coibentato che rimane caldo = $0,3 W/K$
- Incidenza tubo coibentato mantenuto caldo per circolazione naturale
 $0,3 / 1,7 = 18\%$
- Ogni stacco deve avere un sifone di altezza 150 mm per evitare moti convettivi...

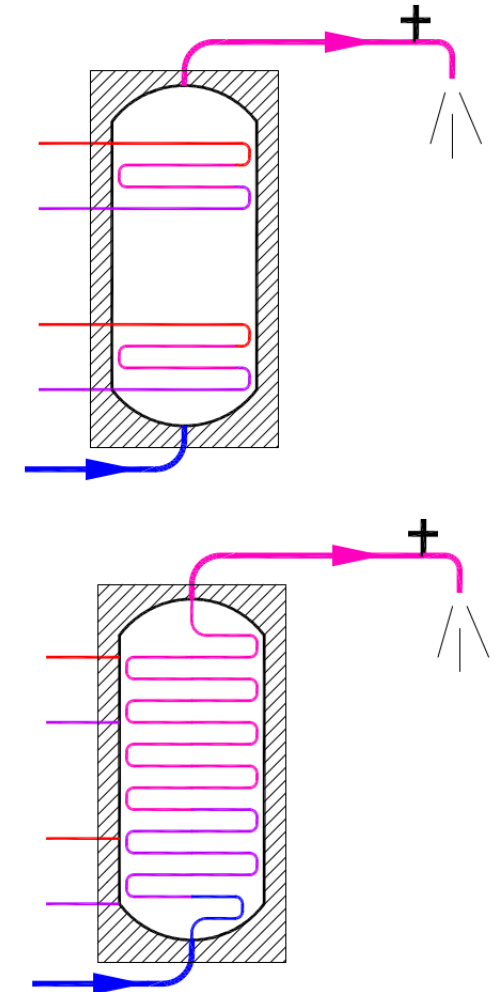


- **Accumulo di acqua calda sanitaria**

- 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**

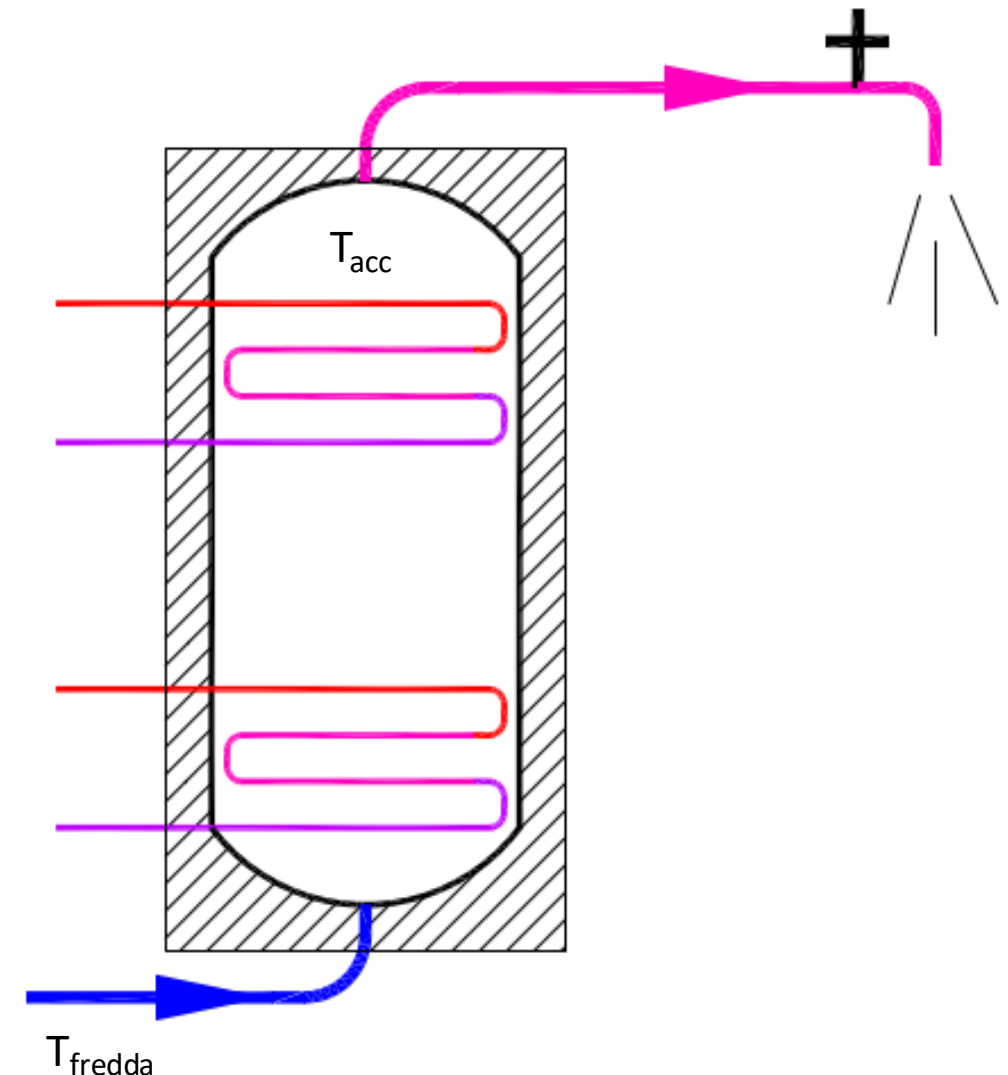
- Portata di acqua calda sanitaria limitata dallo scambio istantaneo
- Nessun rischio legionella nell'accumulo
- Possibilità di alimentare piccole utenze ad alta temperatura
- Energia accumulabile un po' inferiore a parità di volume e temperatura
- Portata disponibile si riduce quando l'energia accumulata è ridotta



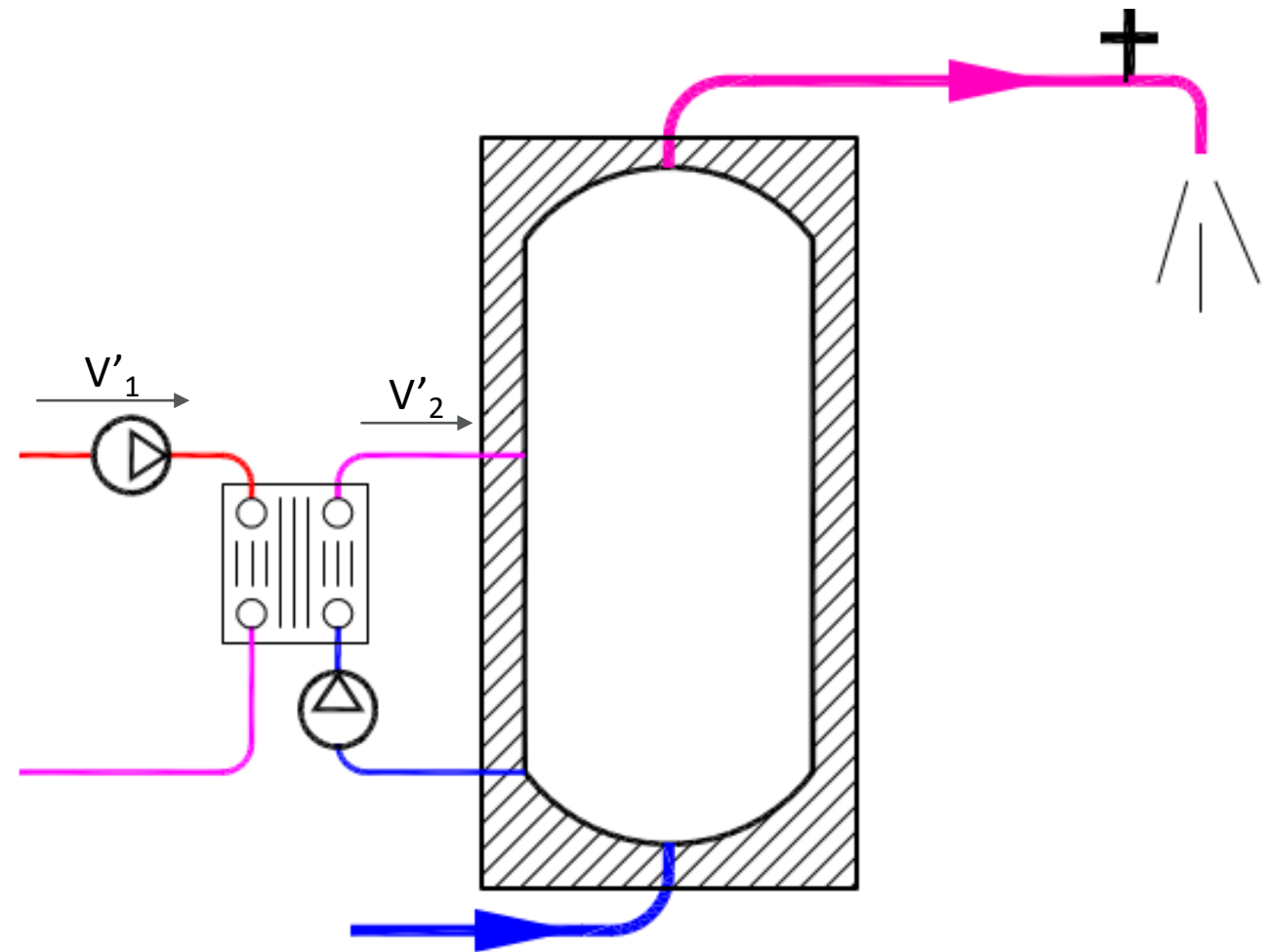
In tutti i casi gli scambiatori possono essere interni od esterni all'accumulo

- Configurazione classica
- **Nessun limite di portata all'utilizzo** (finchè non si svuota il bollitore...)
- I due scambiatori hanno volume utile diverso
- Problema legionella
- Il **tempo di ripristino** può essere **limitato da**
 - Potenza del generatore
 - Temperatura di mandata del generatore
 - Superficie di scambio dello scambiatore
- Una volta scelto il volume geometrico, commercialmente **la superficie di scambio è definita e non è modificabile**

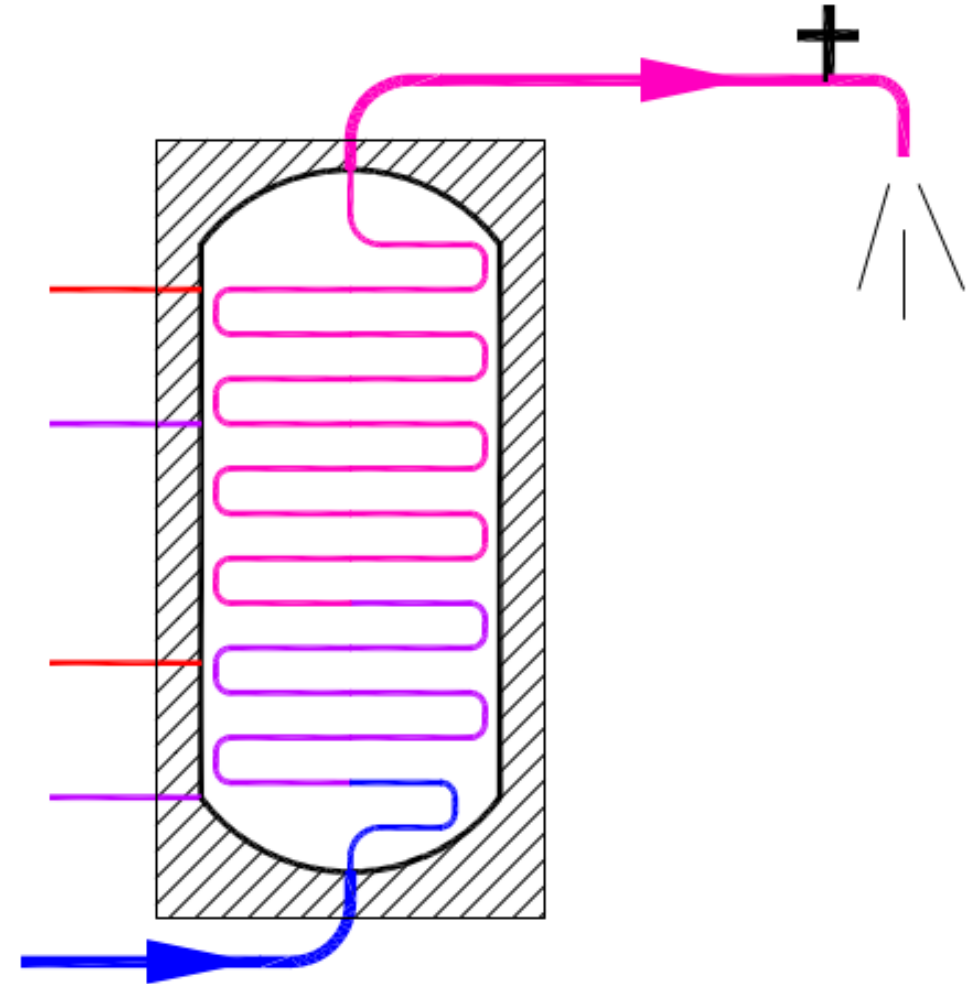
$$Q_{acc} = V_{utile} \times c_p \times (T_{acc} - T_{fredda})$$



- Risolve i problemi di:
 - **Superficie di scambio dello scambiatore**
 - Manutenzione / sostituzione dello scambiatore
- In cambio chiede
 - **Una pompa in più** per eseguire la carica
 - **L'equilibratura** delle due portate sullo scambiatore V'_1 e V'_2 . Ideale: portate uguali.
 - Caldaia: portata primario può essere inferiore per abbassare la temperatura di ritorno in caldaia
 - Pompa di calore: la portata nel primario dovrebbe essere un po' maggiore della portata nel secondario

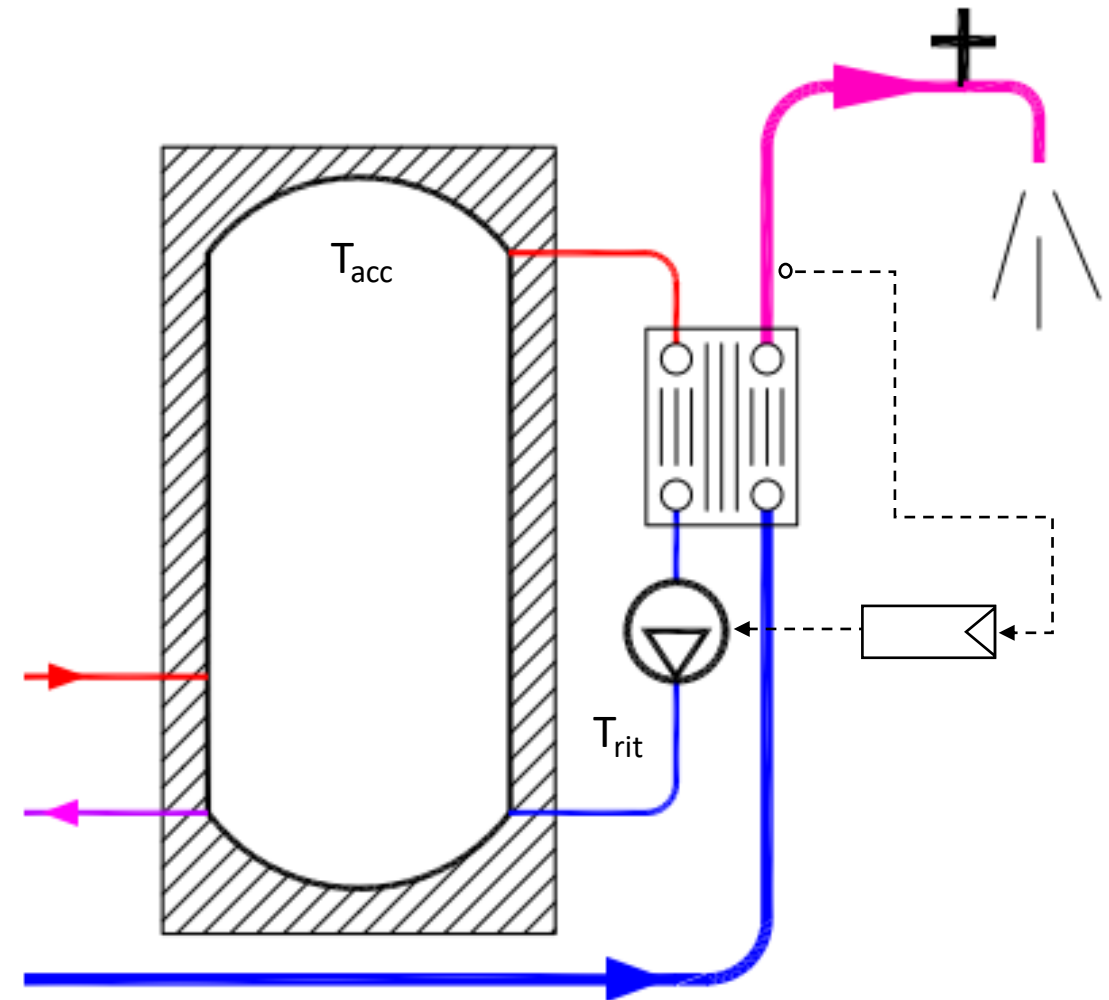


- Risolve il problema della legionella nell'accumulo
- **Portata di acqua** calda sanitaria disponibile **limitata** dallo scambio istantaneo in funzione di:
 - **Superficie di scambio**
 - **Temperatura dell'acqua tecnica** nell'accumulo
 - **Grado di carica** dell'accumulo.
Con bollitore prossimo a fine carica, diminuisce la potenza disponibile
- La temperatura nell'accumulo (mandata pompa di calore) deve essere significativamente maggiore di quella desiderata all'utenza

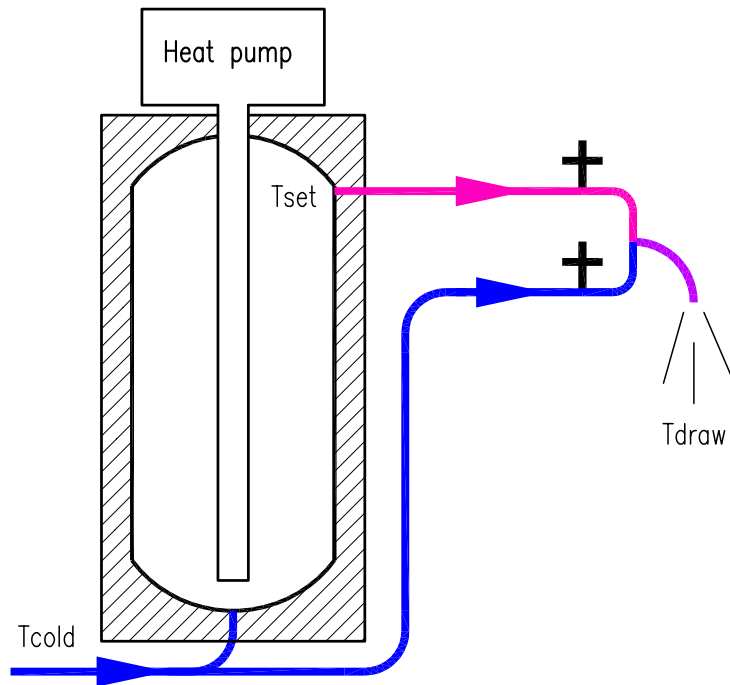


- Risolve il problema della superficie di scambio
- Risolve il problema della legionella nell'accumulo
- La temperatura nell'accumulo deve essere maggiore di quella desiderata all'utenza
- Richiede una pompa supplementare
- Richiede un controllo preciso della portata nel primario dello scambiatore
- **L'energia accumulata è inferiore** perché dipende dal salto termico sul primario dello scambiatore

$$Q_{\text{acc}} = V_{\text{utile}} \times c_p \times (T_{\text{acc}} - T_{\text{rit}})$$



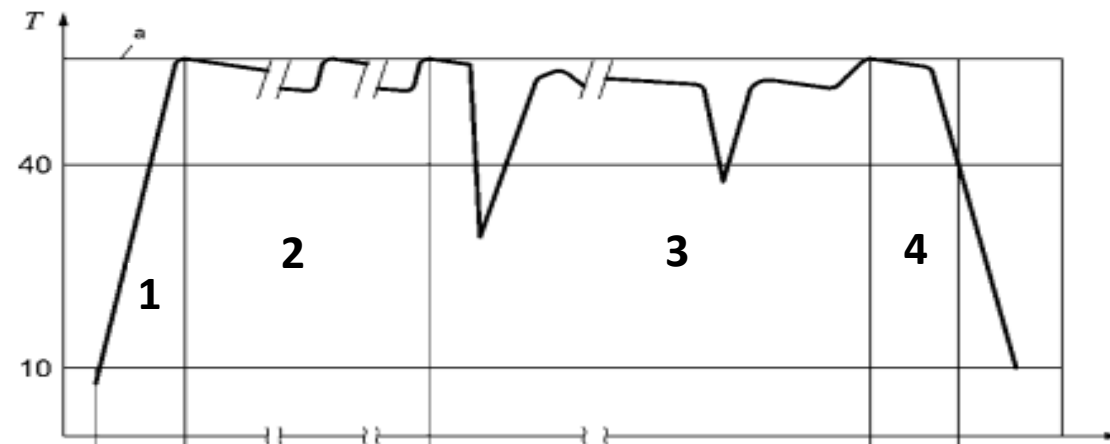
- In questo caso si utilizza una pompa di calore integrata e dedicata per il riscaldamento dell'accumulo di acqua calda sanitaria.
- Gli scaldacqua a pompa di calore sono soggetti alla norma EN 16147 che ne stabilisce i criteri di prova e di etichettatura



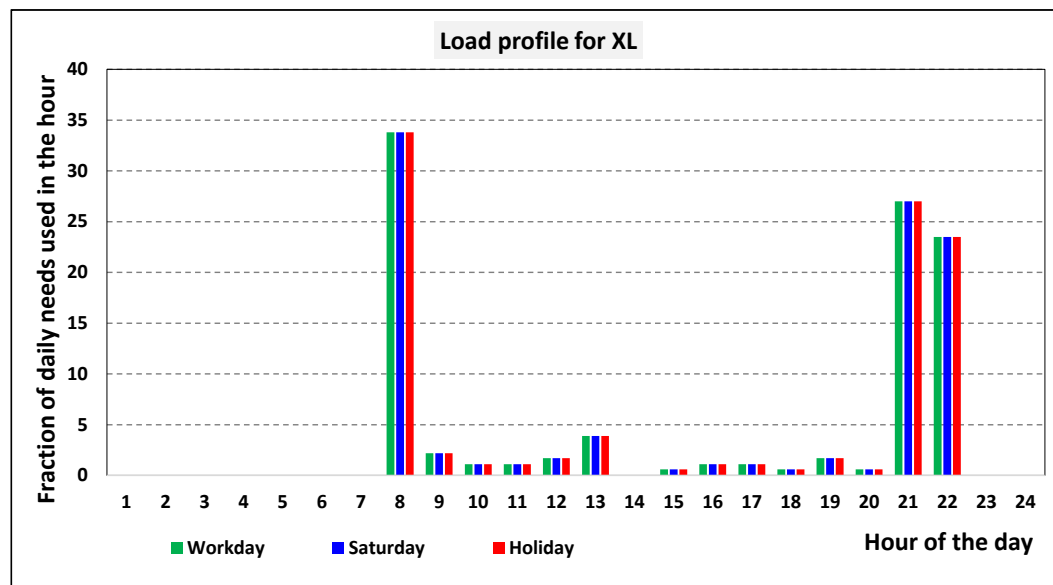
- Norma di prova dei produttori di acqua calda sanitaria
- Fornisce esclusivamente uno SCOP, un COP «medio stagionale»
- Condizioni di prova
 - Temperatura dell'acqua fredda 10 °C
 - Temperatura della sorgente (fissa): Aria 7 °C, 2 °C o 14 °C, Acqua 10/7 °C (B 0/-3°C)
 - Temperatura nel produttore di acqua calda sanitaria: non specificata
 - Temperatura minima di consegna dell'acqua: 40 °C
 - Prelievo con profili S...XXL

- Sequenza di test
 1. Riscaldamento
 2. Stand-by (Dispersioni)
 3. Profilo di prelievo (COP)
 4. Prelievo continuo

La prova dura alcuni giorni

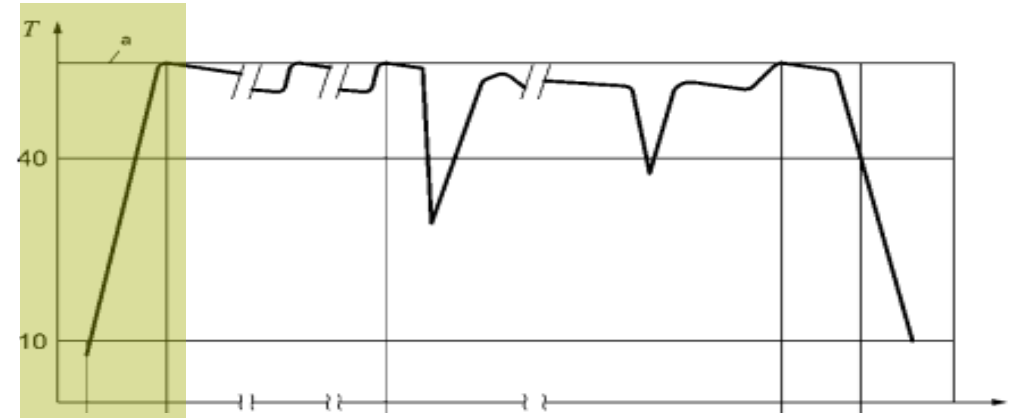


	h	M				L				XL			
		Q_{tap}	f	T_m	T_p	Q_{tap}	f	T_m	T_p	Q_{tap}	f	T_m	T_p
		kWh	l/min	°C	°C	kWh	l/min	°C	°C	kWh	l/min	°C	°C
1	07:00	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
2	07:05	1,4	6	40		1,4	6	40					
3	07:15									1,82	6	40	
4	07:26									0,105	3	25	
5	07:30	0,105	3	25		0,105	3	25					
6	07:45					0,105	3	25		4,42	10	10	40
7	08:01	0,105	3	25						0,105	3	25	
8	08:05					3,605	10	10	40				
9	08:15	0,105	3	25						0,105	3	25	



Profilo	kWh/giorno
S	2,1
M	5,845
L	11,655
XL	19,07
XXL	24,53

- Riscaldamento a partire da accumulo freddo
 - Il bollitore è flussato con acqua fredda finché la temperatura all’uscita è uguale a quella di ingresso.
 - Si ferma il flusso di acqua e si avvia il compressore (inizio della prova)
 - Si attende che il bollitore arrivi in temperatura

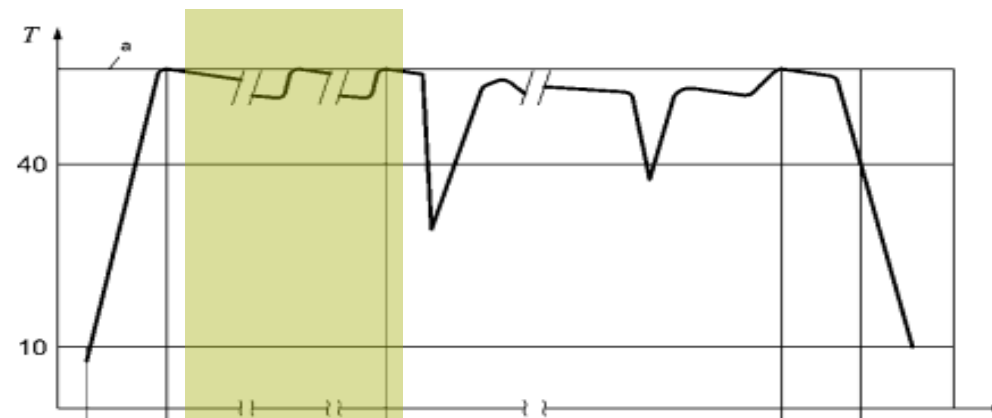


- In questa parte della prova si verifica la potenza massima fornita dalla pompa di calore.
- Risultati della prova:
 - Tempo di riscaldamento t_h (fino al primo intervento del termostato)
 - Energia elettrica netta utilizzata W_{eh-HP} durante la fase di riscaldamento

$$P_{rated} = \frac{c_W \cdot V_{40} \cdot (40 - 10)}{t_h}$$

P_{rated} è approssimativamente la potenza utile massima continua durante la fase di riscaldamento
 V_{40} è determinato nell’ultimo step della prova.

- Mantenimento in temperatura
 - Il bollitore è mantenuto in temperatura
 - Non ci sono prelievi di acqua calda sanitaria
 - Si lascia in funzione per almeno 48 ore (o 6 cicli) per un numero intero di cicli di accensione.



- In questa parte della prova si determinano il «consumo a vuoto», cioè il consumo elettrico richiesto per la compensazione delle dispersioni del serbatoio di accumulo.

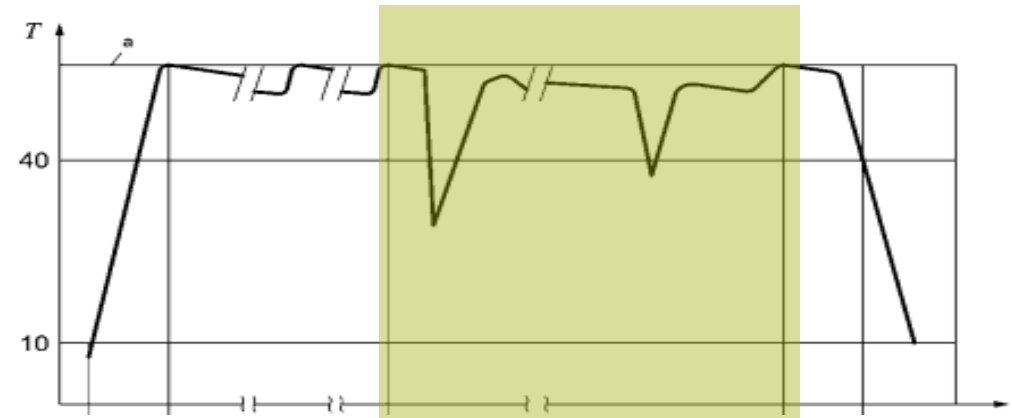
- Risultati della prova:

- Durata t_{es} dell'ultimo ciclo ON-OFF
- Energia elettrica netta W_{es-HP} utilizzata durante l'ultimo ciclo ON-OFF

$$P_{es} = \frac{W_{es-HP}}{t_{es}}$$

P_{es} è la potenza elettrica continua per il mantenimento in temperatura del bollitore

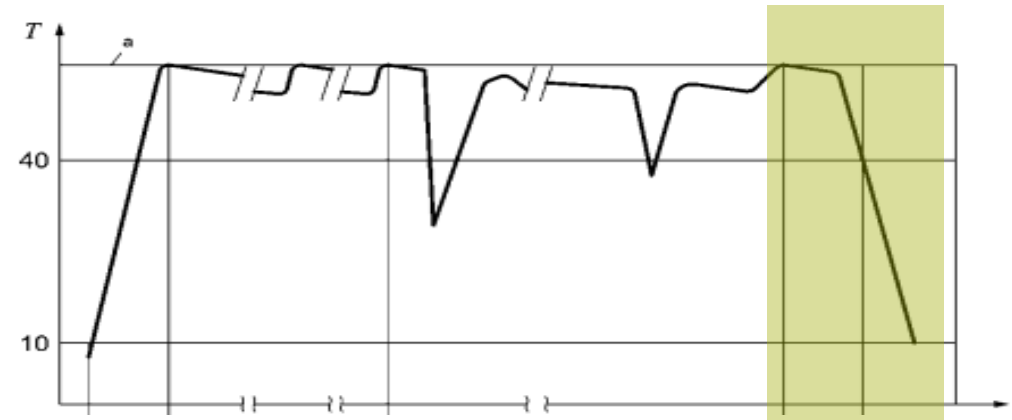
- Prelievo intermittente di acqua calda sanitaria
 - Il bollitore è mantenuto in temperatura
 - Il prelievo segue il profilo scelto dal costruttore
 - Si lascia in funzione per un giorno



- In questa parte della prova si determinano il «consumo a carico», cioè il consumo elettrico richiesto per la compensazione delle dispersioni del serbatoio di accumulo e dei prelievi di acqua calda sanitaria.
- Risultati della prova:
 - Q_{LP} energia termica netta corrispondente ai prelievi di acqua calda sanitaria
 - W_{EL-LP} energia elettrica netta utilizzata dal compressore per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria

$$COP_{DHW} = \frac{Q_{LP}}{W_{LP-tap}}$$

- Prelievo continuo di acqua calda sanitaria
 - Il bollitore è mantenuto in temperatura
 - Il prelievo avviene alla portata massima del profilo
 - Si misura il volume di acqua equivalente a 40 °C erogato fino al momento in cui la temperatura dell'acqua prelevata scende sotto i 40 °C

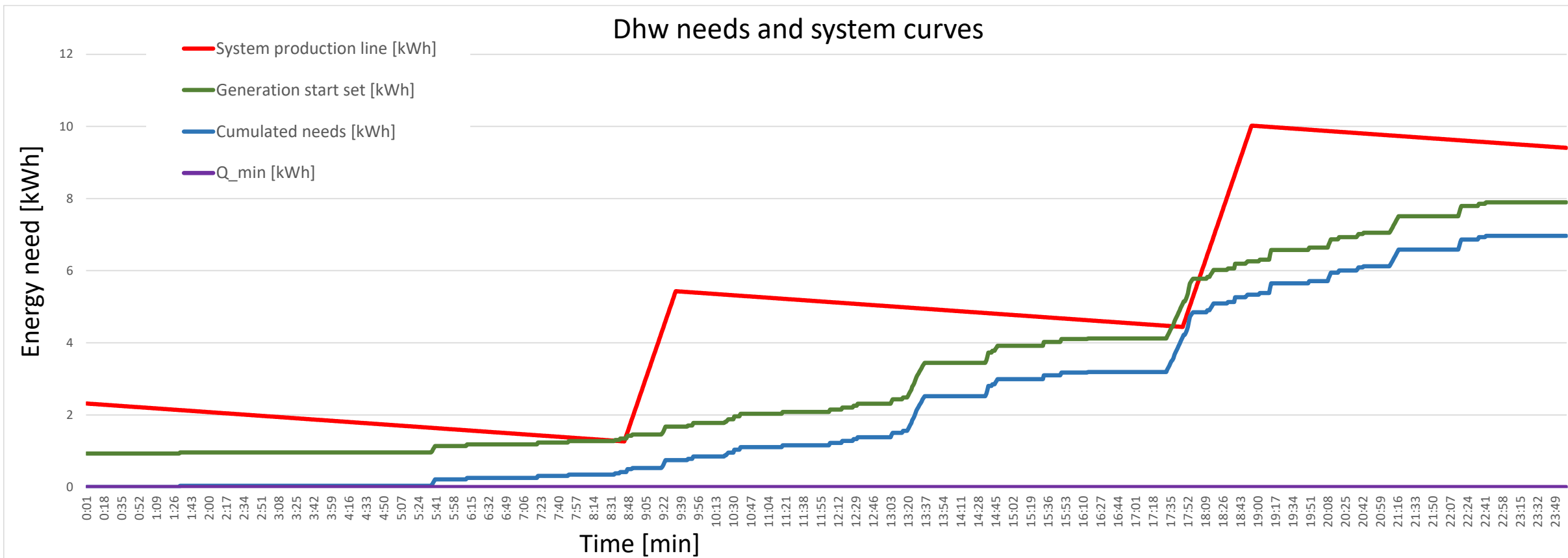


- In questa parte della prova si determinano il volume massimo che può essere fornito nel periodo di punta, cioè in caso di prelievo estremo.
- Risultati della prova:
 - Volume di acqua equivalente a 40 °C V_{40} che è prelevato dalla pompa di calore.

- I dati EN 16147 tengono conto dell'andamento delle temperature durante la carica del bollitore e dell'automazione interna del
- Con i dati EN 16147 è possibile fare un calcolo di prestazione energetica in quanto
 - La prova di mantenimento in temperatura fornisce il consumo di mantenimento, in assenza di prelievo
 - La prova di prelievo regolare fornisce il COP netto relativo ai prelievi di acqua calda sanitariaed in condizioni medie si può ipotizzare che
 - il consumo per dispersioni può essere corretto in base alla differenza fra temperatura interna ed esterna del bollitore
 - il consumo per prelievi è proporzionale all'energia richiesta
 - entrambi i consumi vanno poi corretti in base alle condizioni specifiche di funzionamento (impatto sul COP) di temperatura dell'aria esterna e temperatura di funzionamento

METODO IN PREPARAZIONE NELLA EN 15316-4-2

- 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 15450:2025, tre 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
 - **Verifica con metodo EN 12831-3 semplificato**



In preparazione nella EN 15450 rivista. Fa il confronto fra :

- La curva dei fabbisogni cumulati (curva blu)
- L'energia prodotta cumulata, (curva rossa)
- La curva verde rappresenta la condizione che determina l'avviamento della carica dell'accumulo

Se la curva rossa tocca la curva blu, l'accumulo è insufficiente dati il profilo di prelievo e la potenza disponibile

Calcolo dinamico con passo 1 minuto

- 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 bollitore che applica i concetti del metodo EN 12831-3 semplificato del prEN 15450.

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

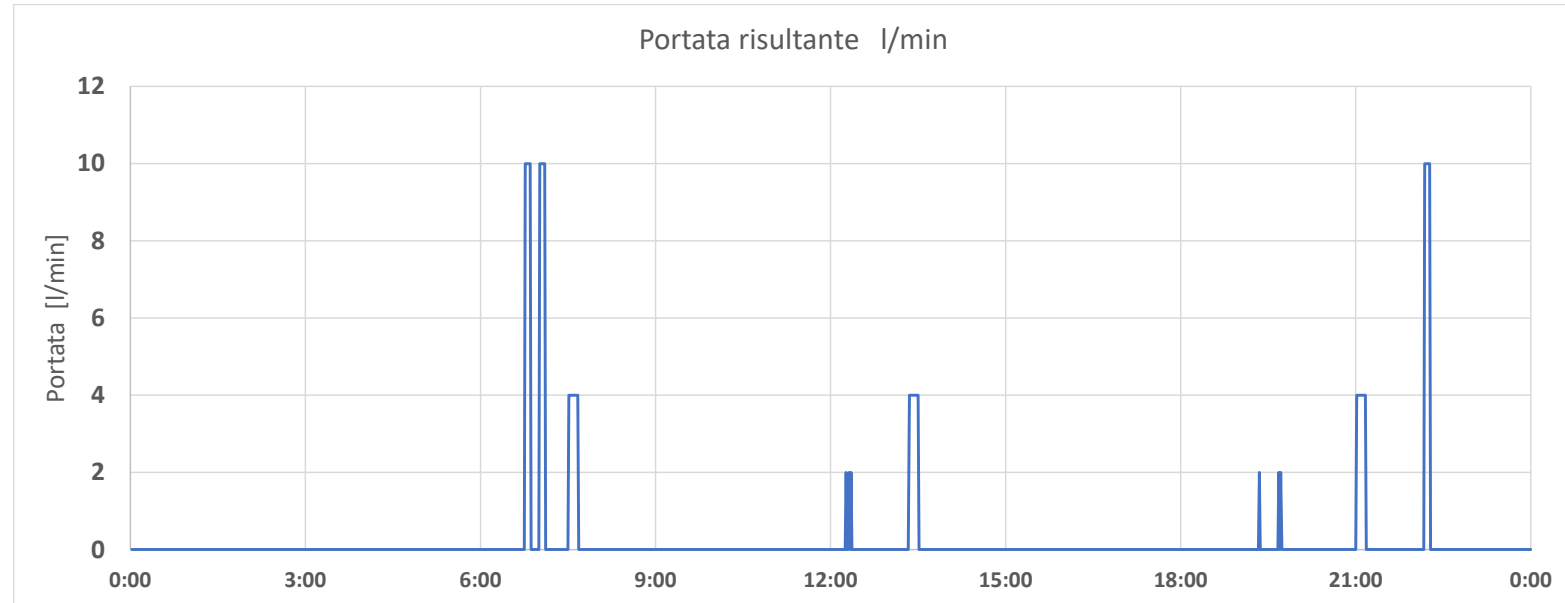
Definizione degli eventi (prelievi singoli)				
Evento	Durata min	Portata l/min	Volume l	Energia kWh
Lavaggio mani	1	2	2	0,065
Doccia rapida	4	8	32	1,039
Doccia media	6	10	60	1,949
Doccia lunga	8	12	96	3,118
Vasca	12	12	144	4,677
Jacuzzi	15	15	225	7,308
Lavaggio piatti	10	5	50	1,624

2. Definire il **profilo giornaliero di prelievo** di dimensionamento:
tipo e numero di «**eventi**» 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...

Definizione del profilo di prelievo		
Evento	Codice n	Ora inizio h:min
Doccia media	3	6:45
Doccia media	3	7:00
Lavaggio piatti	7	7:30
Lavaggio mani	1	12:15
Lavaggio mani	1	12:18
Lavaggio mani	1	12:20
Lavaggio piatti	7	13:20
Lavaggio mani	1	19:20
Lavaggio mani	1	19:40
Lavaggio mani	1	19:42
Lavaggio piatti	7	21:00
Doccia media	3	22:10



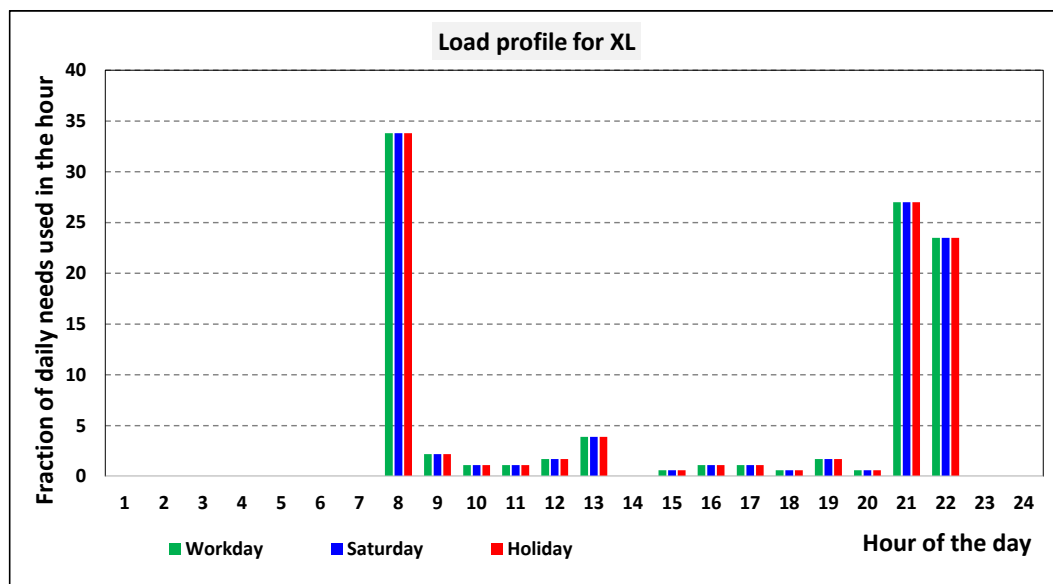
- Volume complessivo prelevato: 312 litri
- Fabbisogno giornaliero con acqua fredda a 12°C: 10,1 kWh

	h	M				L				XL			
		Q_{tap}	f	T_m	T_p	Q_{tap}	f	T_m	T_p	Q_{tap}	f	T_m	T_p
		kWh	l/min	°C	°C	kWh	l/min	°C	°C	kWh	l/min	°C	°C
1	07:00	0,105	3	25		0,105	3	25		0,105	3	25	
2	07:05	1,4	6	40		1,4	6	40					
3	07:15									1,82	6	40	
4	07:26									0,105	3	25	
5	07:30	0,105	3	25		0,105	3	25					
6	07:45					0,105	3	25		4,42	10	10	40
7	08:01	0,105	3	25						0,105	3	25	
8	08:05					3,605	10	10	40				
9	08:15	0,105	3	25						0,105	3	25	

Ogni profilo giornaliero definito da un serie di prelievi con

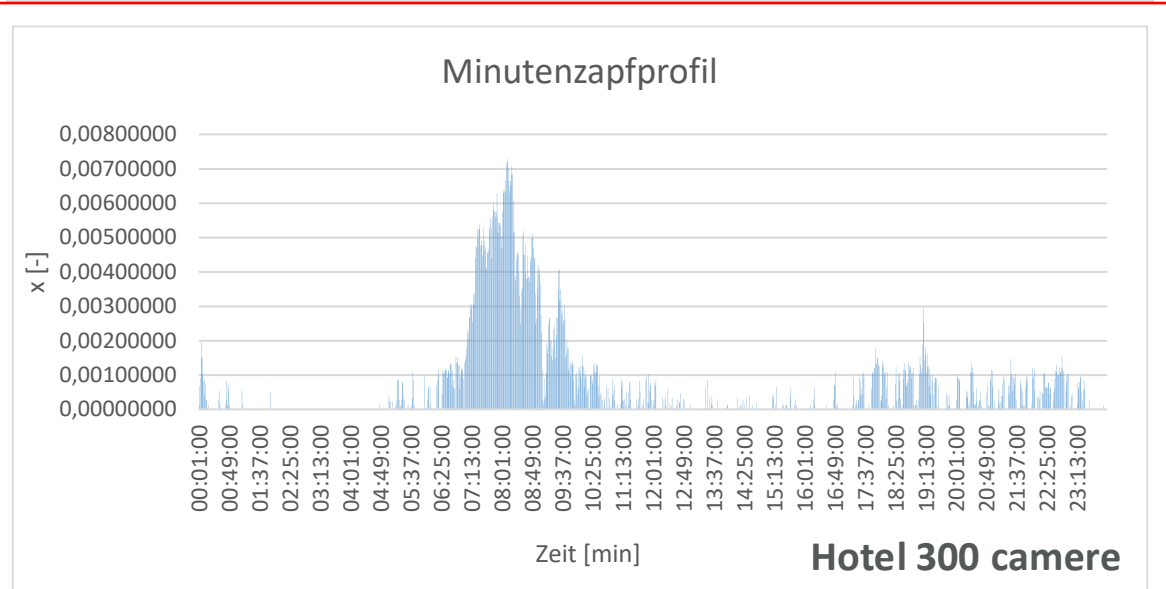
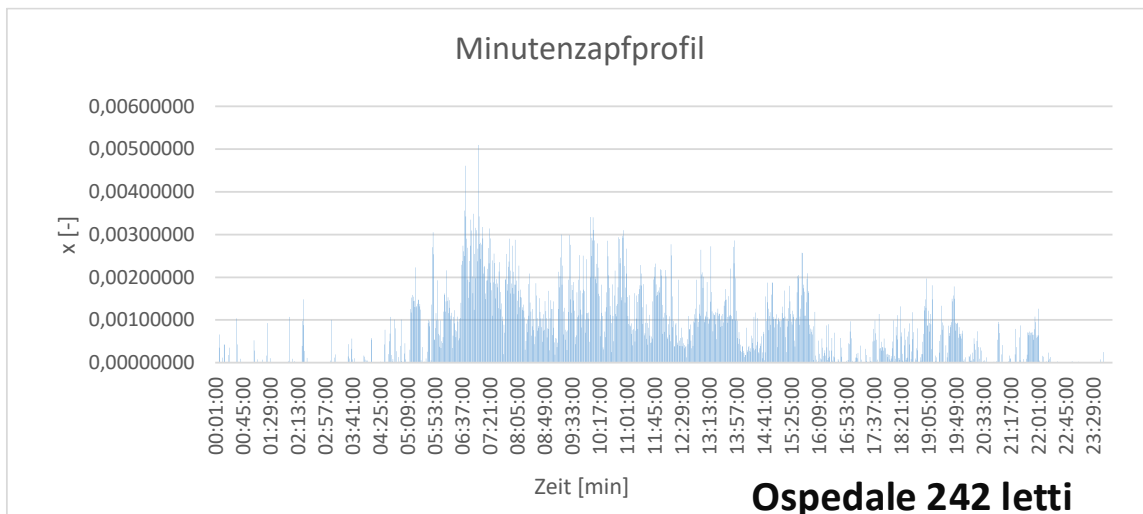
- Energia prelevata (kWh)
- Portata (l/min)
- T_m : temperatura minima prima di iniziare il conteggio del prelievo
- T_p : Temperatura media a ottenere durante il prelievo (per prelievi tipo «vasca»)

Profilo	kWh/giorno
S	2,1
M	5,845
L	11,655
XL	19,07
XXL	24,53



Coprono prevalentemente il settore residenziale e i livelli per uffici.

Dedicati alla prova dei prodotti, non previste varianti ai fini del dimensionamento degli impianti e del calcolo di prestazione energetica



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 blocchi di eventi dello stesso tipo, distribuiti nell'arco di un intervallo definito. Esempio: docce in un albergo.

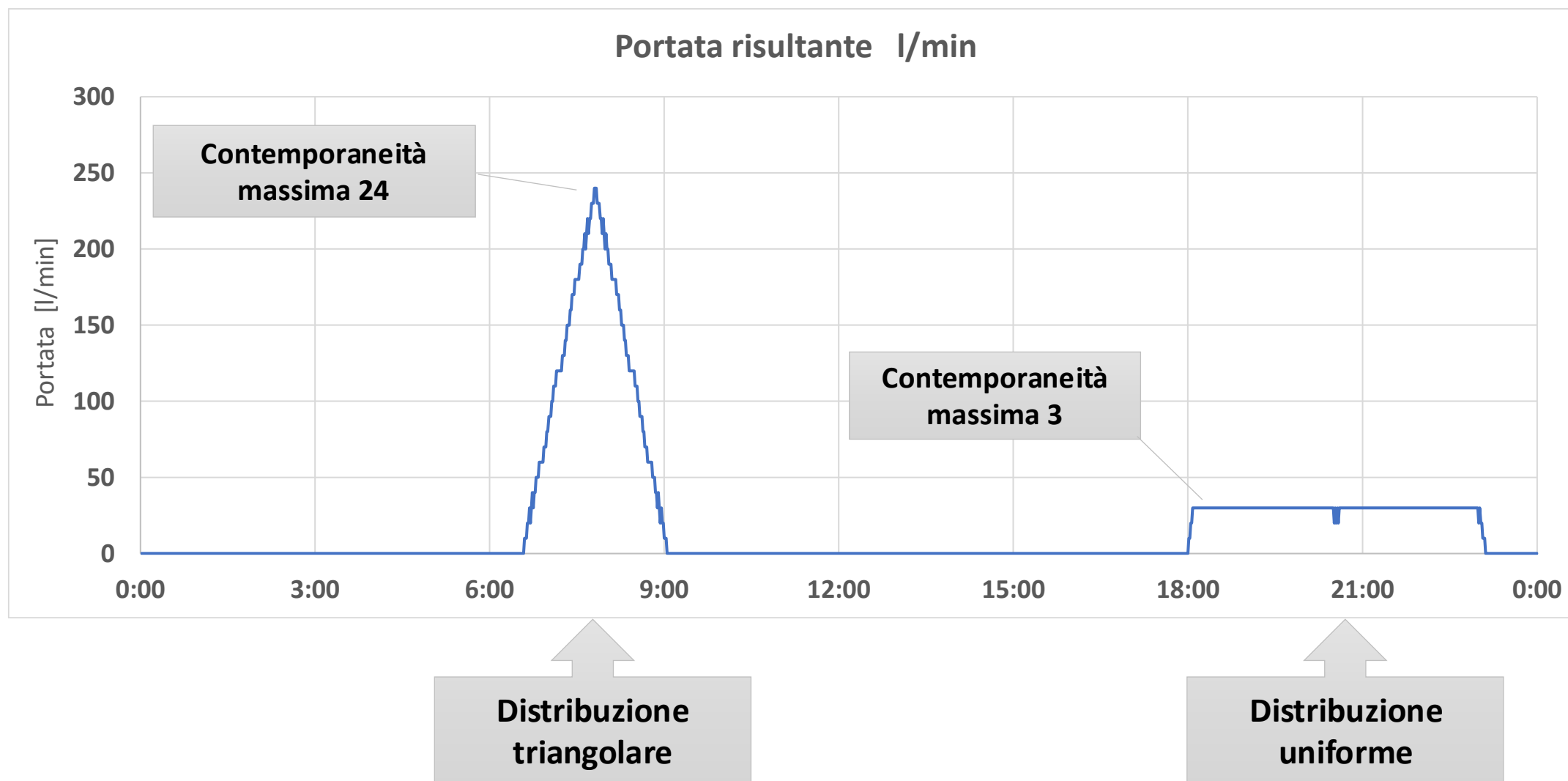
Serve definire:

- Il **singolo evento**: doccia media
- Il **numero di eventi singoli** nel blocco: **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)

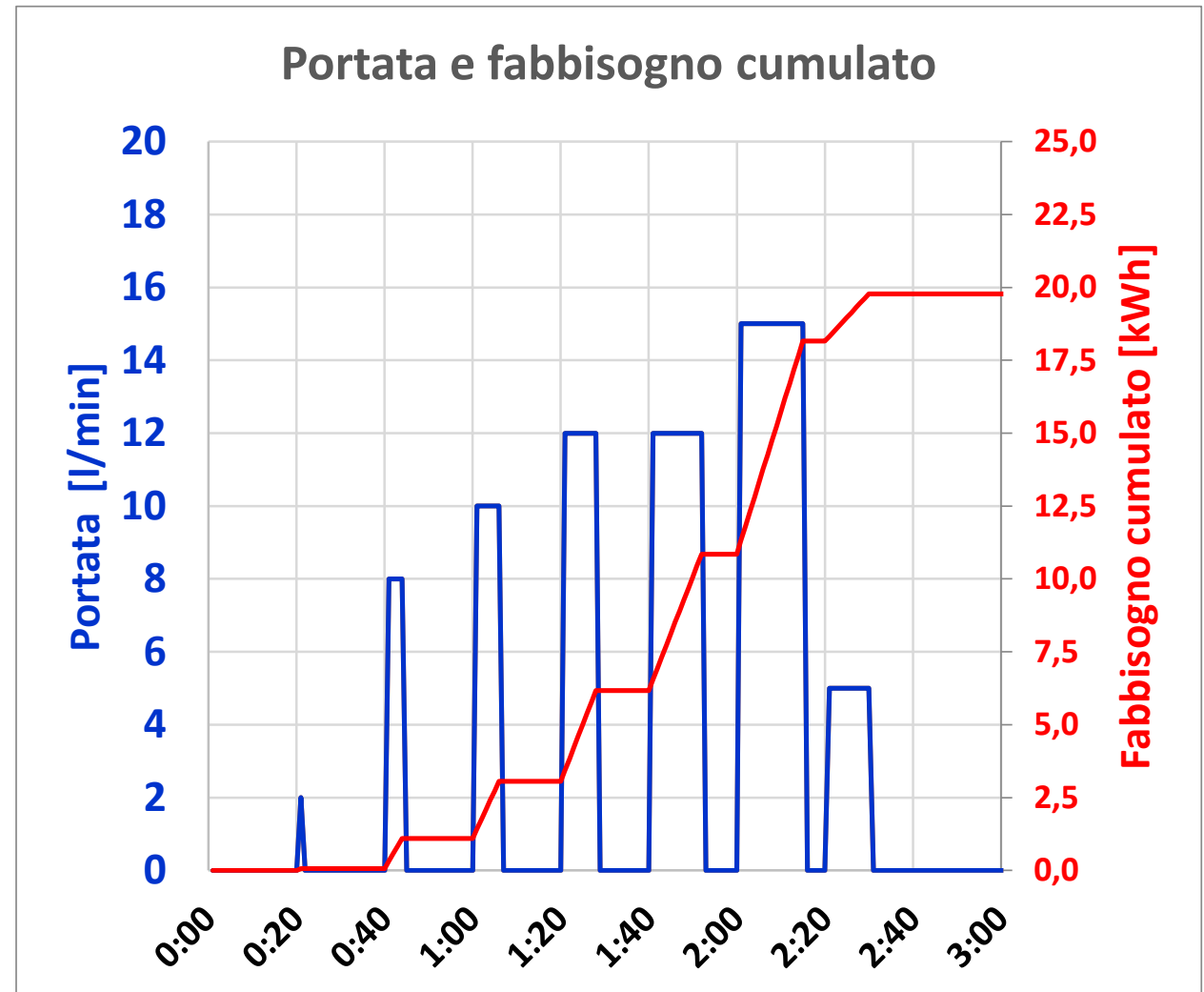
Definizione del profilo di prelievo					
Evento	Codice	Ora inizio	Ripetizioni	Intervallo	Distribuzione
	n	h:min	n	h:min	
Doccia media	3	6:30	300	02:30	Triangular
Doccia media	3	18:00	150	04:00	Uniform

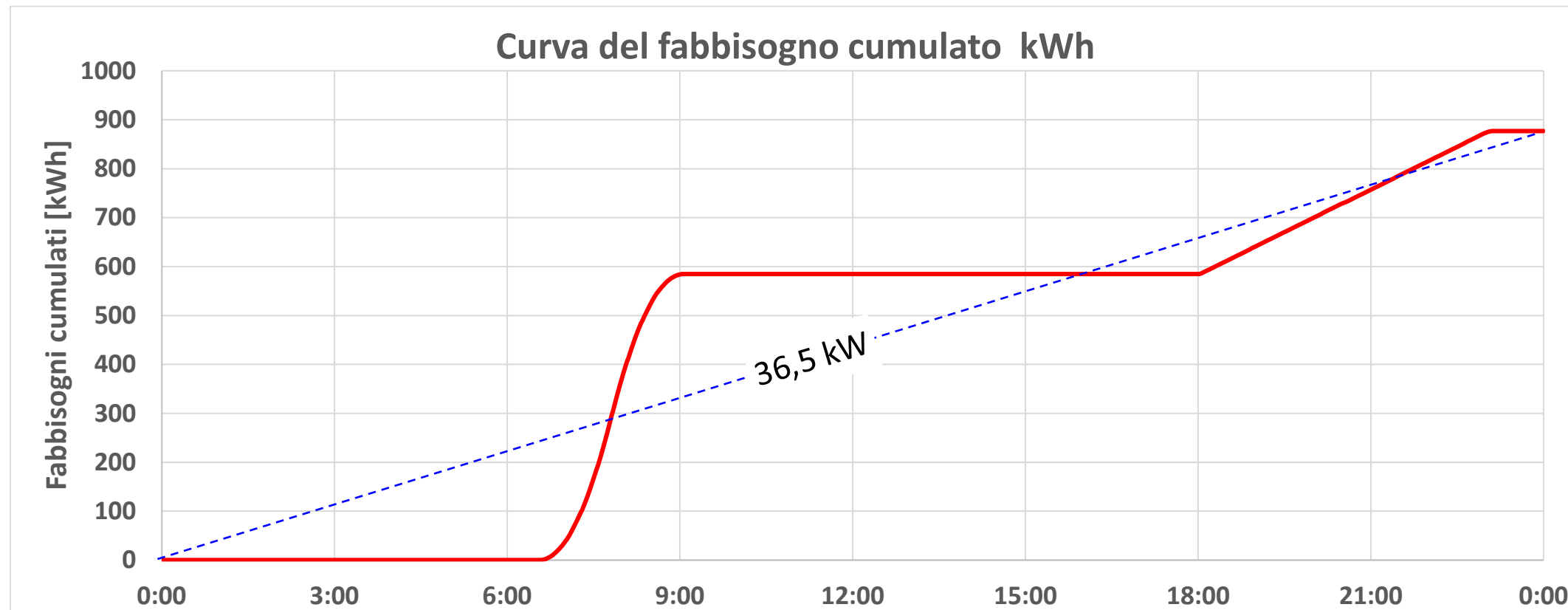
Esempio di descrizione sintetica dei prelievi di acqua calda sanitaria di un albergo di 300 camere

- L'uso di acqua calda sanitaria nell'albergo è rappresentato da 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)

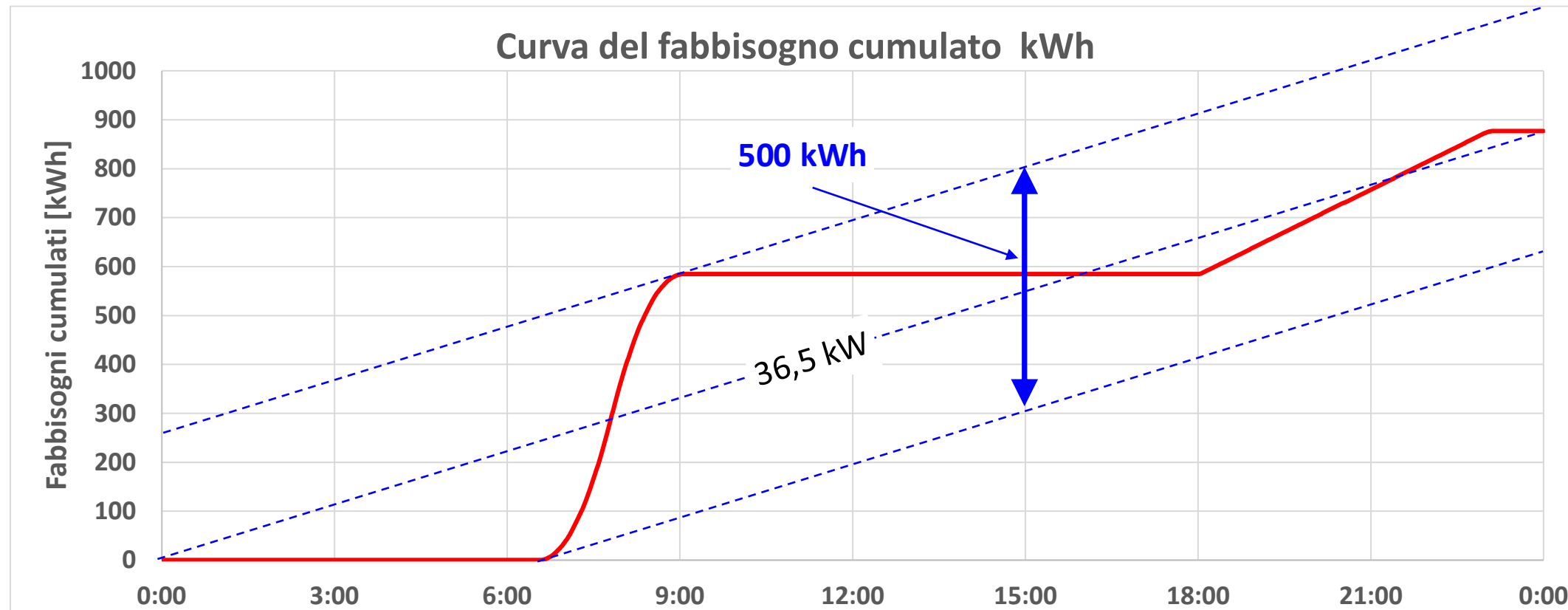


- Ogni curva di prelievo in l/min può essere convertita in una curva di fabbisogno energetico cumulato in kWh al tempo t.
- Si devono progressivamente sommare i fabbisogni energetici nei vari minuti
- Durante i prelievi: pendenza proporzionale alla portata di acqua richiesta, quindi alla potenza istantanea.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

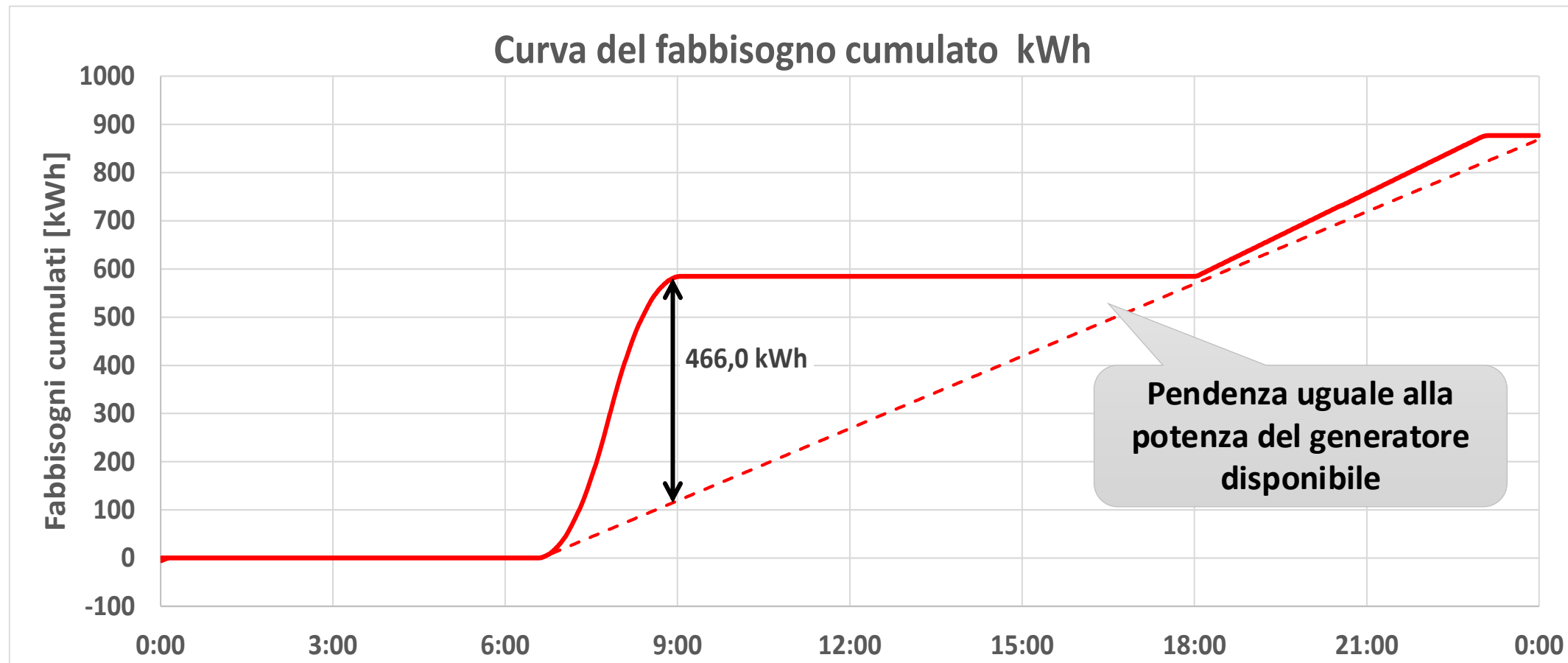




- **Fabbisogno cumulato:** somma fabbisogni in **kWh dall'ora zero** fino all'istante considerato
- **Pendenza delle curve = potenza** → servono almeno 36,5 kW per servire quell'albergo (da aggiungere: la potenza per le dispersioni di ricircolo → almeno 15 W/m)

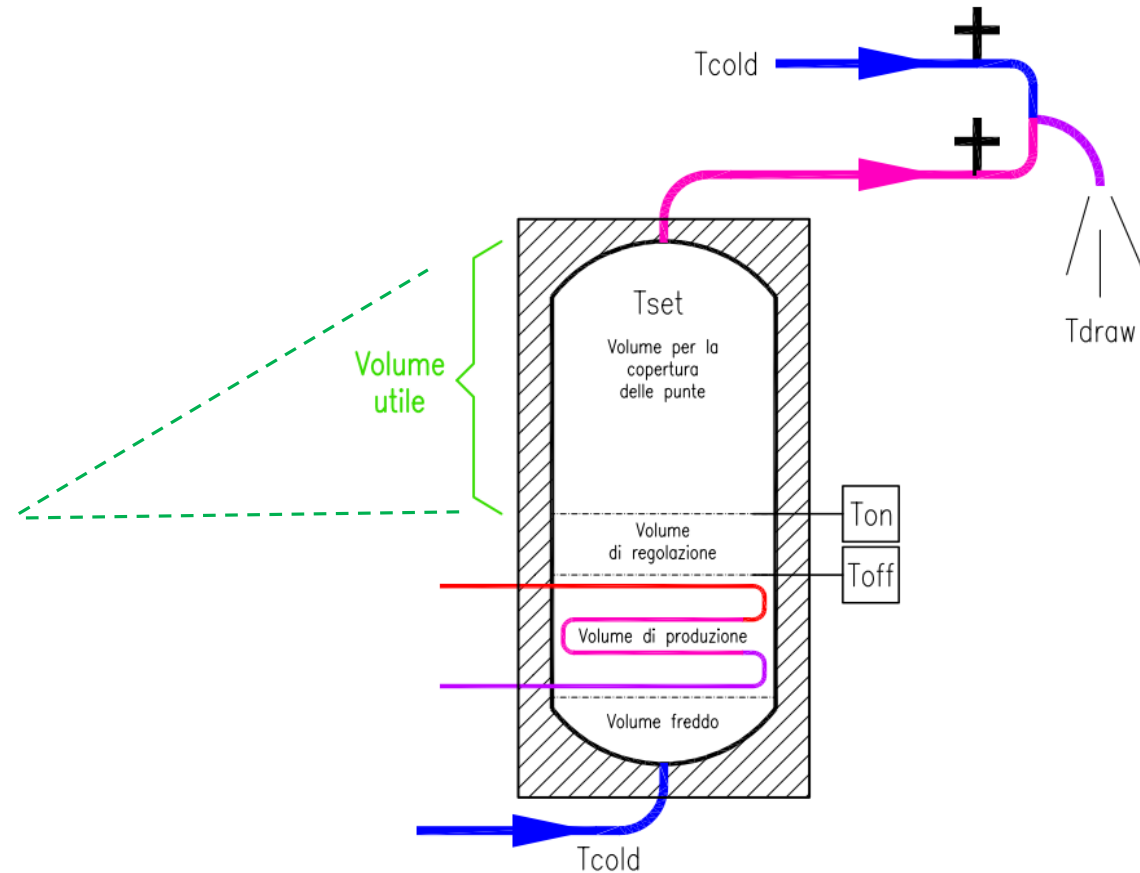


- La **distanza** fra le due tangenti parallele alla curva media definisce **l'energia da accumulare**
- Avendo a disposizione **36,5 kW**, serve un accumulo di 500 kWh per soddisfare il carico ipotizzato
- $500 \text{ kWh} / (1,16 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \times (60 \text{ }^\circ\text{C}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

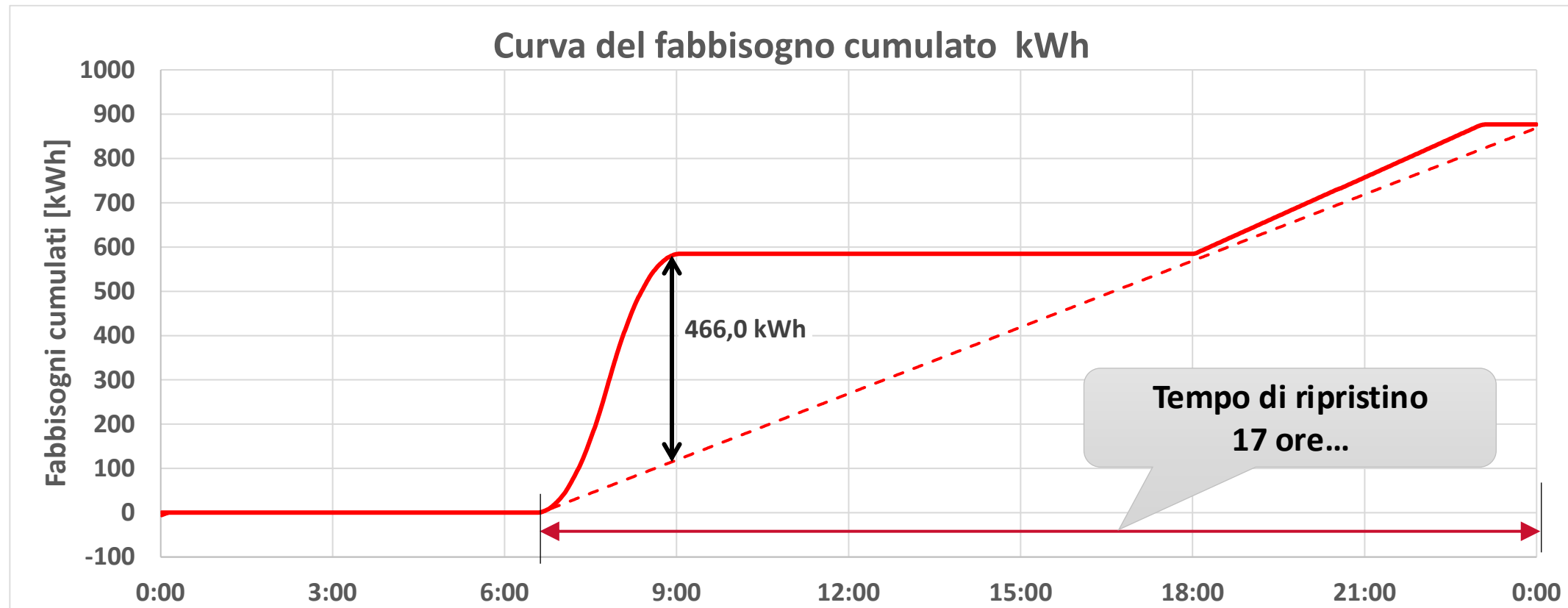


- Se abbiamo a disposizione 50 kW, la retta tratteggiata rossa è il contributo massimo del generatore
- Con 50 kW a disposizione l'energia da accumulare si riduce a 466 kWh \rightarrow 8,37 m³ a 60 °C

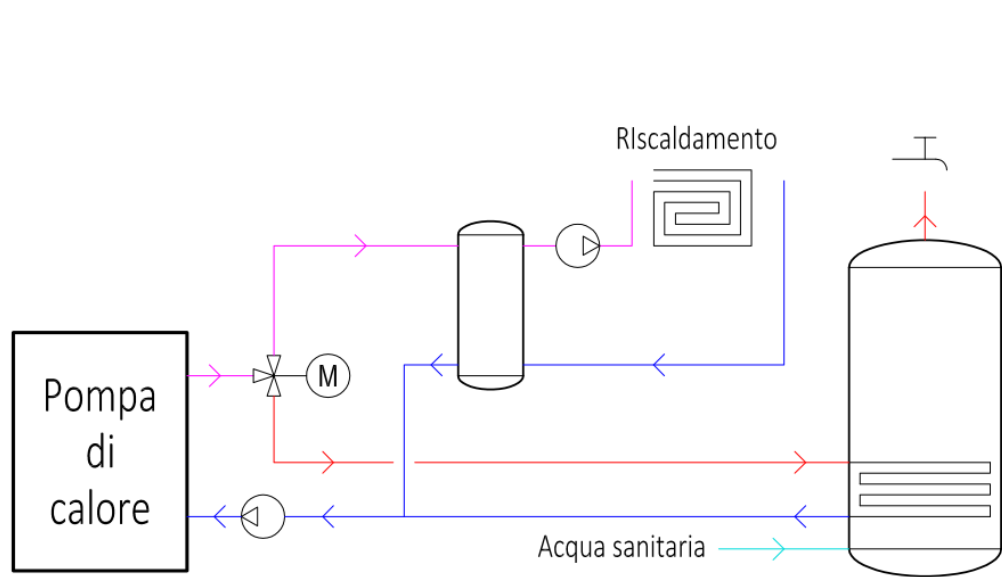
Dimensionamento dell'accumulo		
Calore specifico	Wh/(kgK)	1,16
Temperatura dell'acqua fredda	°C	12
Temperatura di prelievo	°C	40
Energia da accumulare	kWh	466,0
Potenza minima necessaria	kW	36,54
Potenza disponibile	kW	50,0
Temperatura accumulo	°C	50
Volume utile accumulato	l	10572
Tempo di ripristino 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



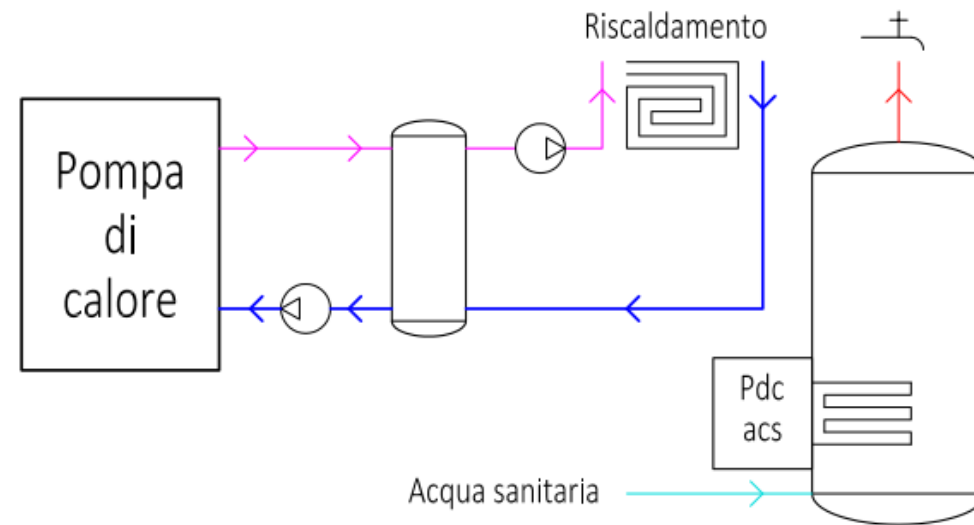
- Il calcolo può essere ripetuto variando i vari fattori
- Il carico massimo relativo è molto simile a quello riportato nel profilo originale (poco oltre 0,007)
- Ciò che è stato determinato è il volume utile per la punta dell'accumulo...



- **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.



Se la stessa pompa di calore fornisce due servizi, quando ricarica il bollitore non è disponibile per riscaldamento o raffrescamento



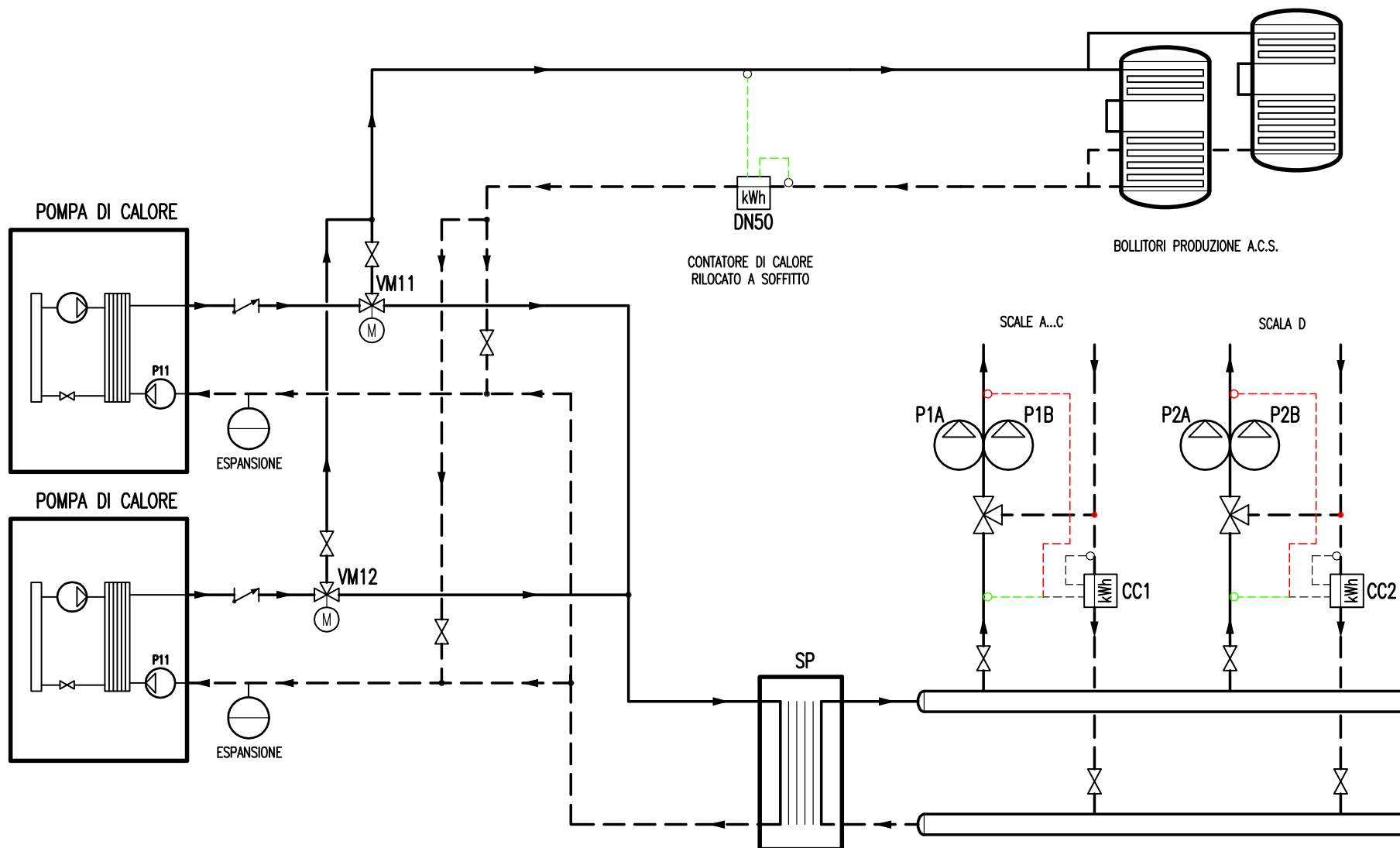
Con due sistemi indipendenti, non c'è interferenza. Sui grandi impianti: frazionamento del carico su più generatori (cascata) e commutazione di un solo generatore sul servizio acqua calda sanitaria.

Discussione

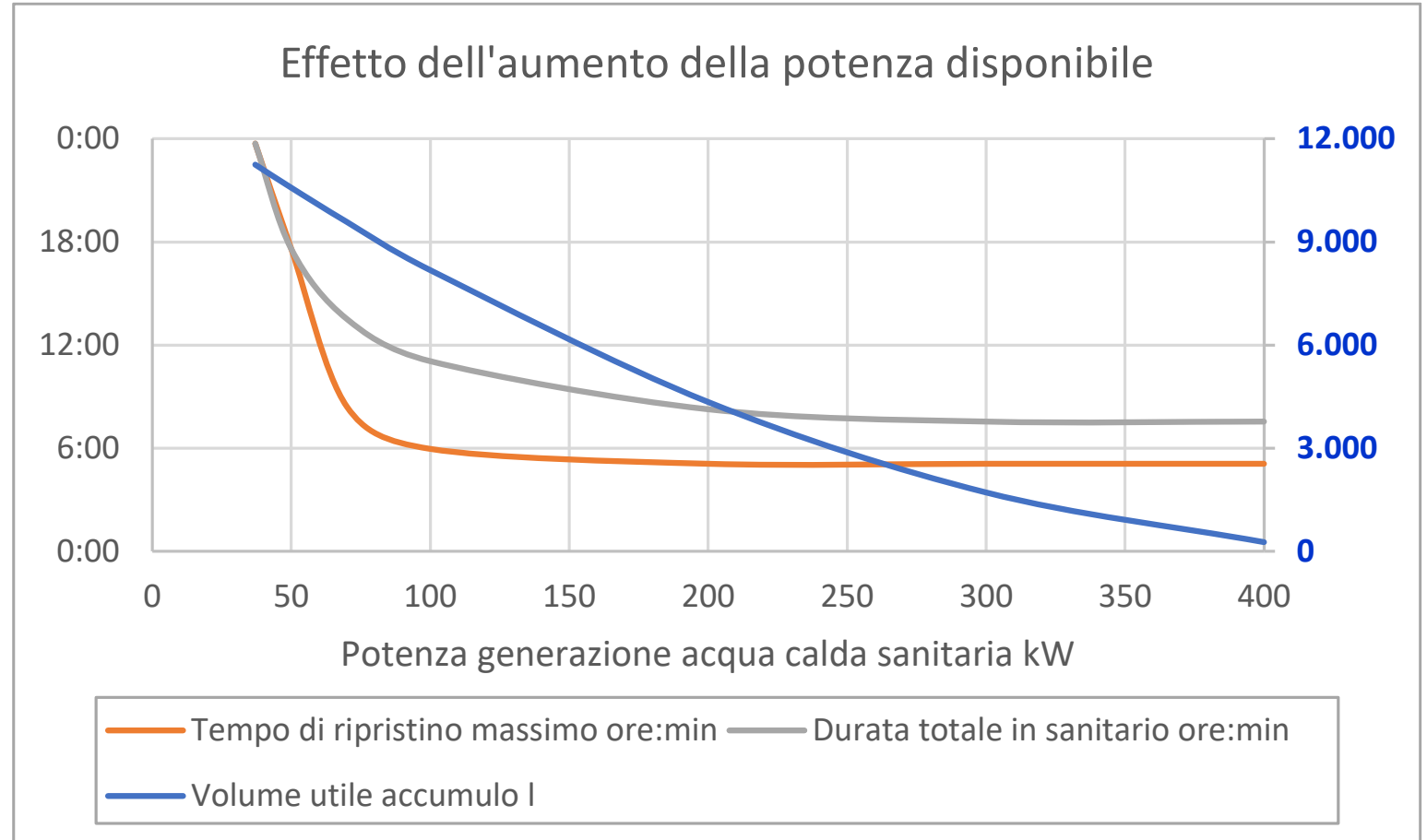
Entrambe le pompe di calore devono potere fare acqua calda sanitaria

Quanto tempo la pompa di calore rimane bloccata in acqua calda sanitaria?

Valvole miscelatrici devono essere completamente aperte

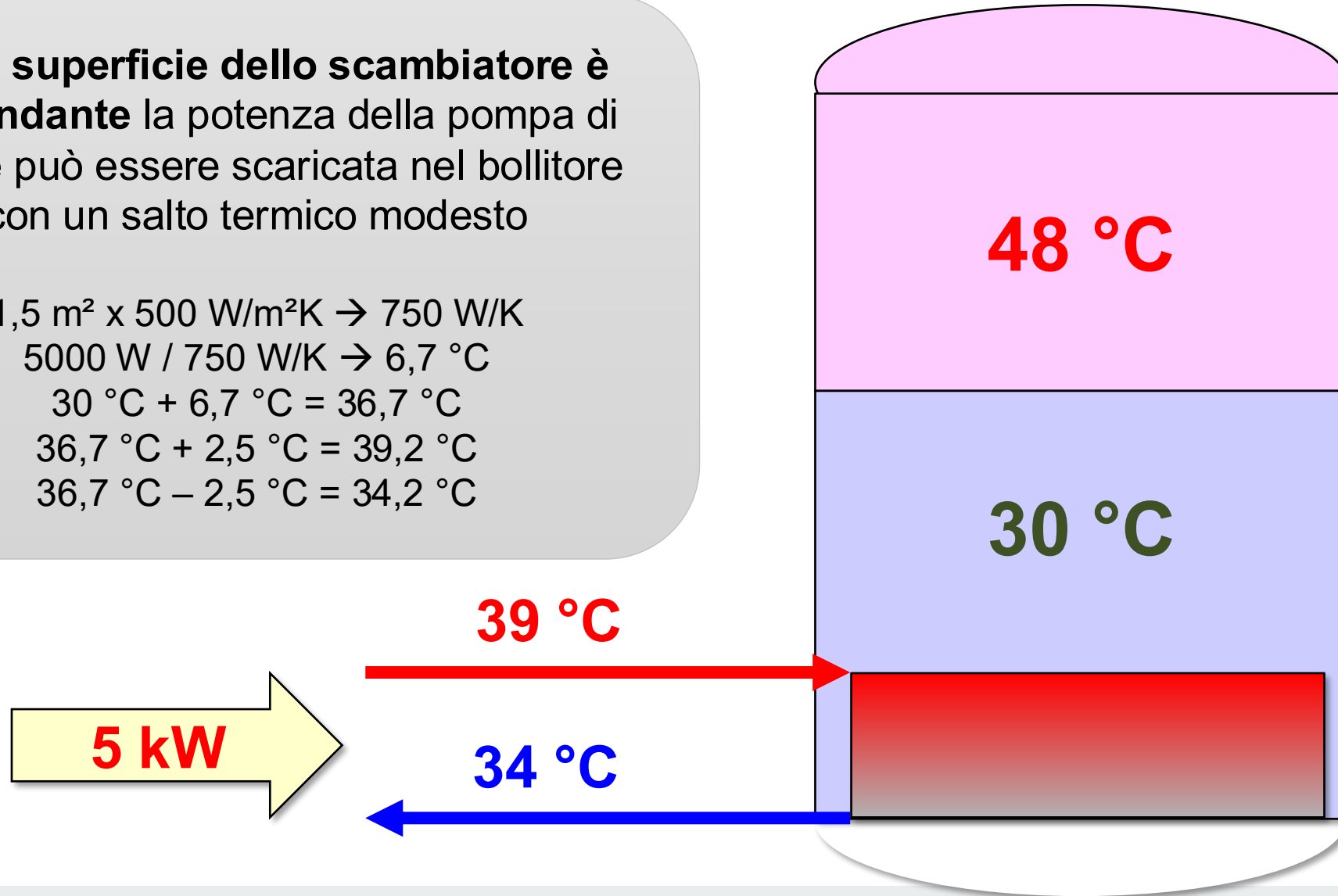


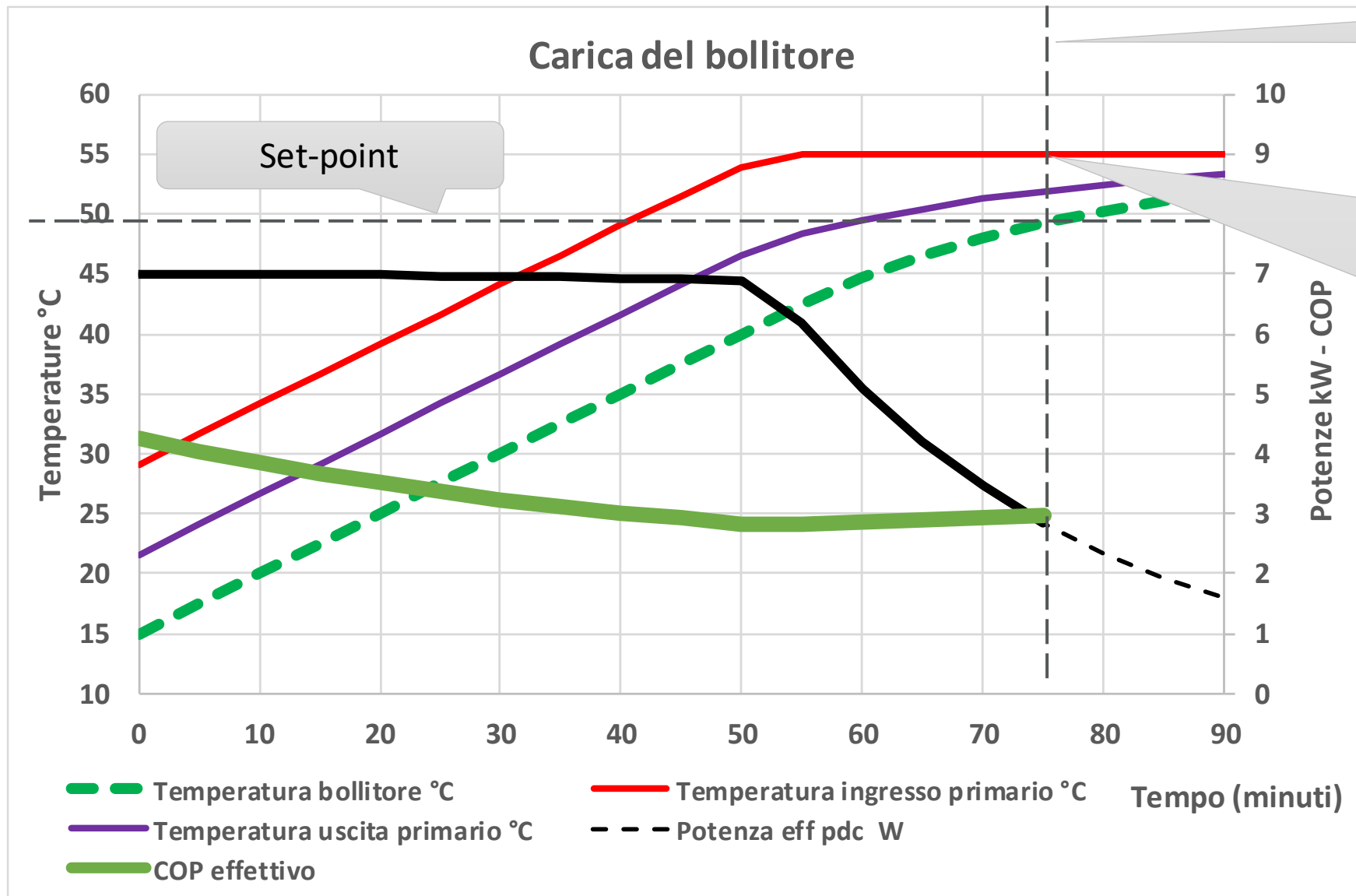
- Sotto i 37 kW l'impianto non ce la fa
- Da circa 50 kW c'è una pausa fra i due prelievi (tempo ripristino diventa diverso da durata)
- Il generatore è impegnato per almeno 8 ore totali e 5 ore di seguito a causa della durata del prelievo importante
- La generazione istantanea richiederebbe almeno 400 kW (dipende molto dalle ipotesi sulla simultaneità delle docce)



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

$$\begin{aligned}1,5 \text{ m}^2 \times 500 \text{ W/m}^2\text{K} &\rightarrow 750 \text{ W/K} \\ 5000 \text{ W} / 750 \text{ W/K} &\rightarrow 6,7 \text{ }^\circ\text{C} \\ 30 \text{ }^\circ\text{C} + 6,7 \text{ }^\circ\text{C} &= 36,7 \text{ }^\circ\text{C} \\ 36,7 \text{ }^\circ\text{C} + 2,5 \text{ }^\circ\text{C} &= 39,2 \text{ }^\circ\text{C} \\ 36,7 \text{ }^\circ\text{C} - 2,5 \text{ }^\circ\text{C} &= 34,2 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$



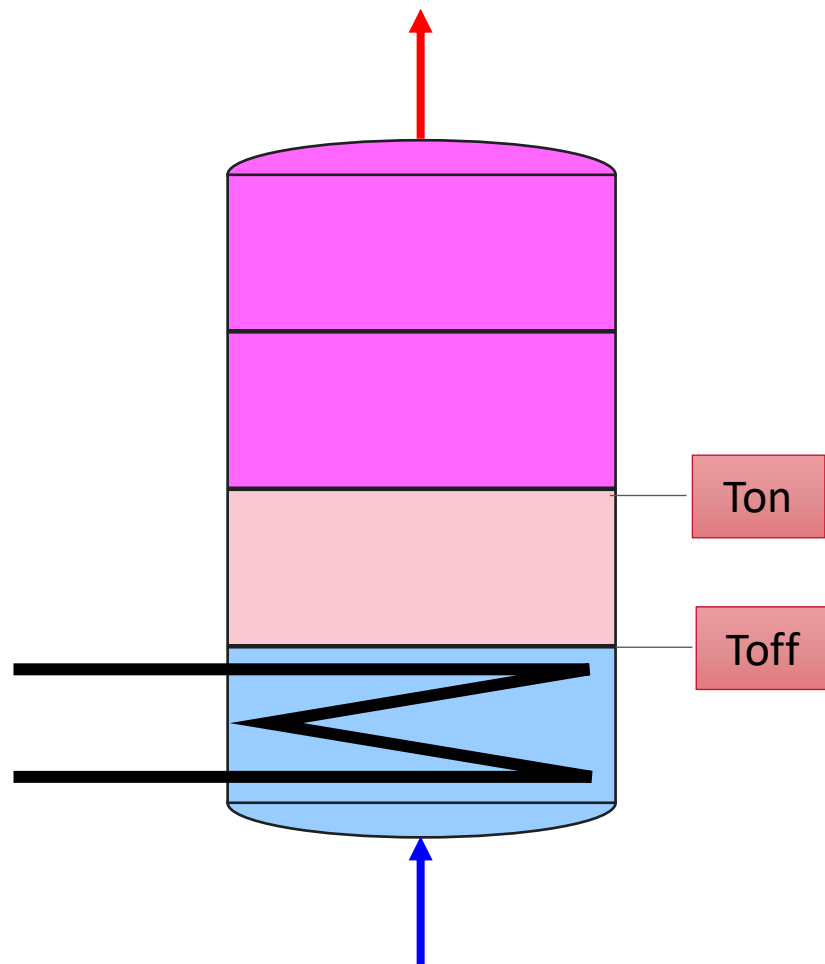


Fine carica

Se la temperatura di mandata è bassa o il set-point elevato, la pompa di calore modula e il completamento della carica può richiedere molto tempo

- Si può utilizzare la norma EN 15316-5 ed alcuni calcoli aggiuntivi per simulare il comportamento dinamico di un accumulatore 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



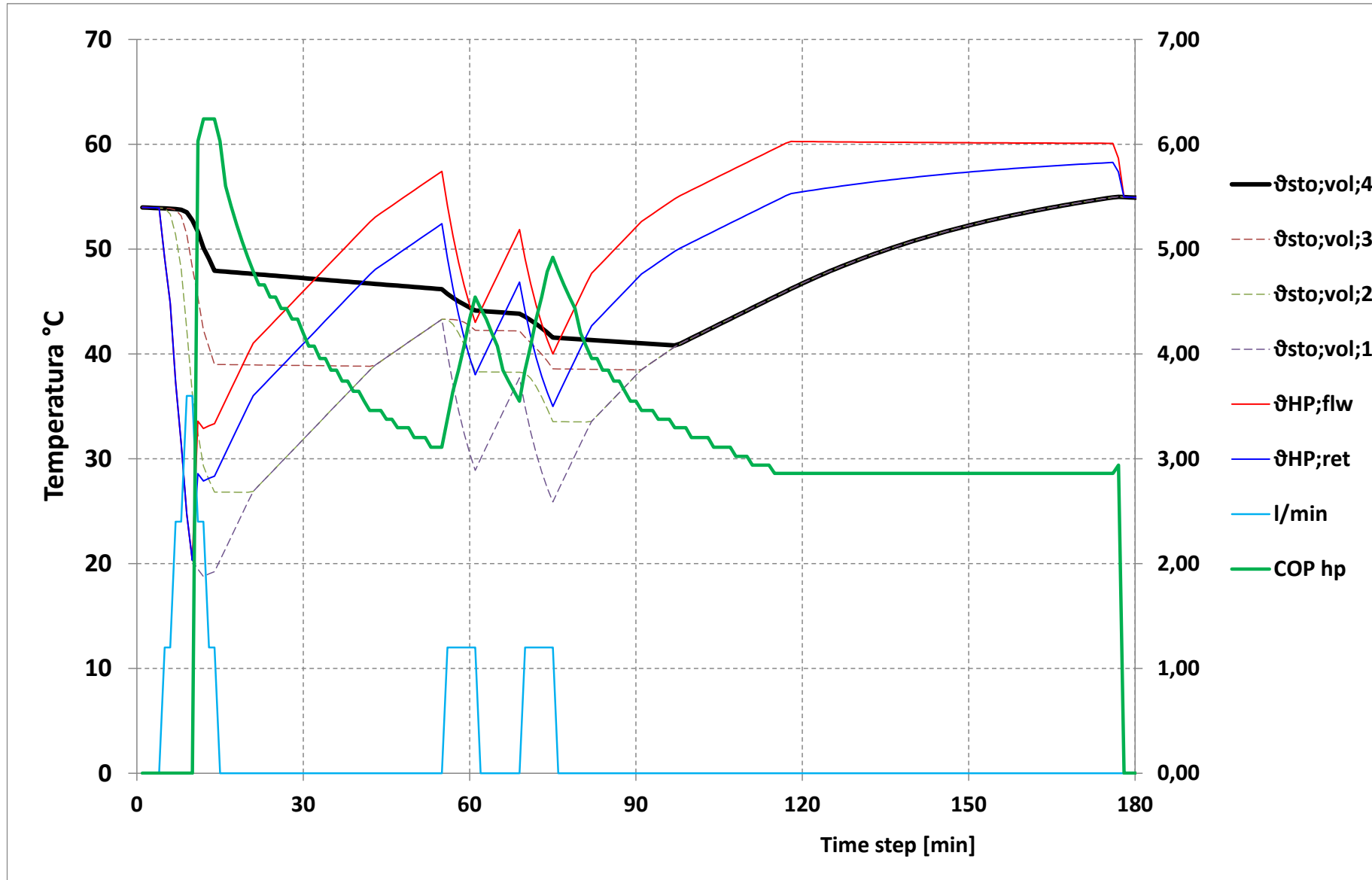
Evolution of temperatures in the storage during the time step

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.

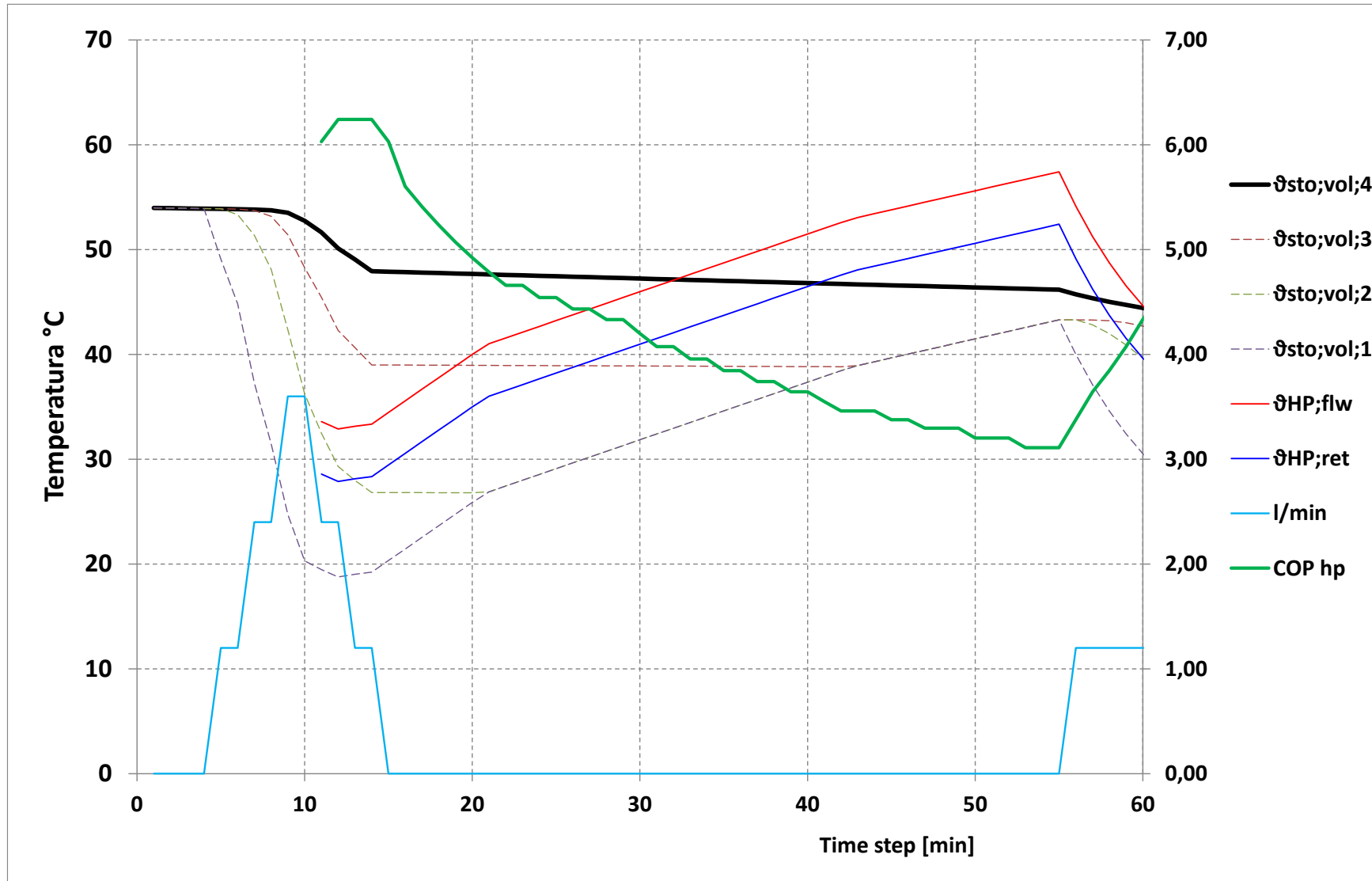
Riscaldamento nella zona inferiore
 Sensore di accensione sulla temperatura del, secondo layer.
 Sensore di spegnimento sulla temperatura del primo layer

ESEMPIO CON TEMPERATURA LIMITE MANDATA 60 °C



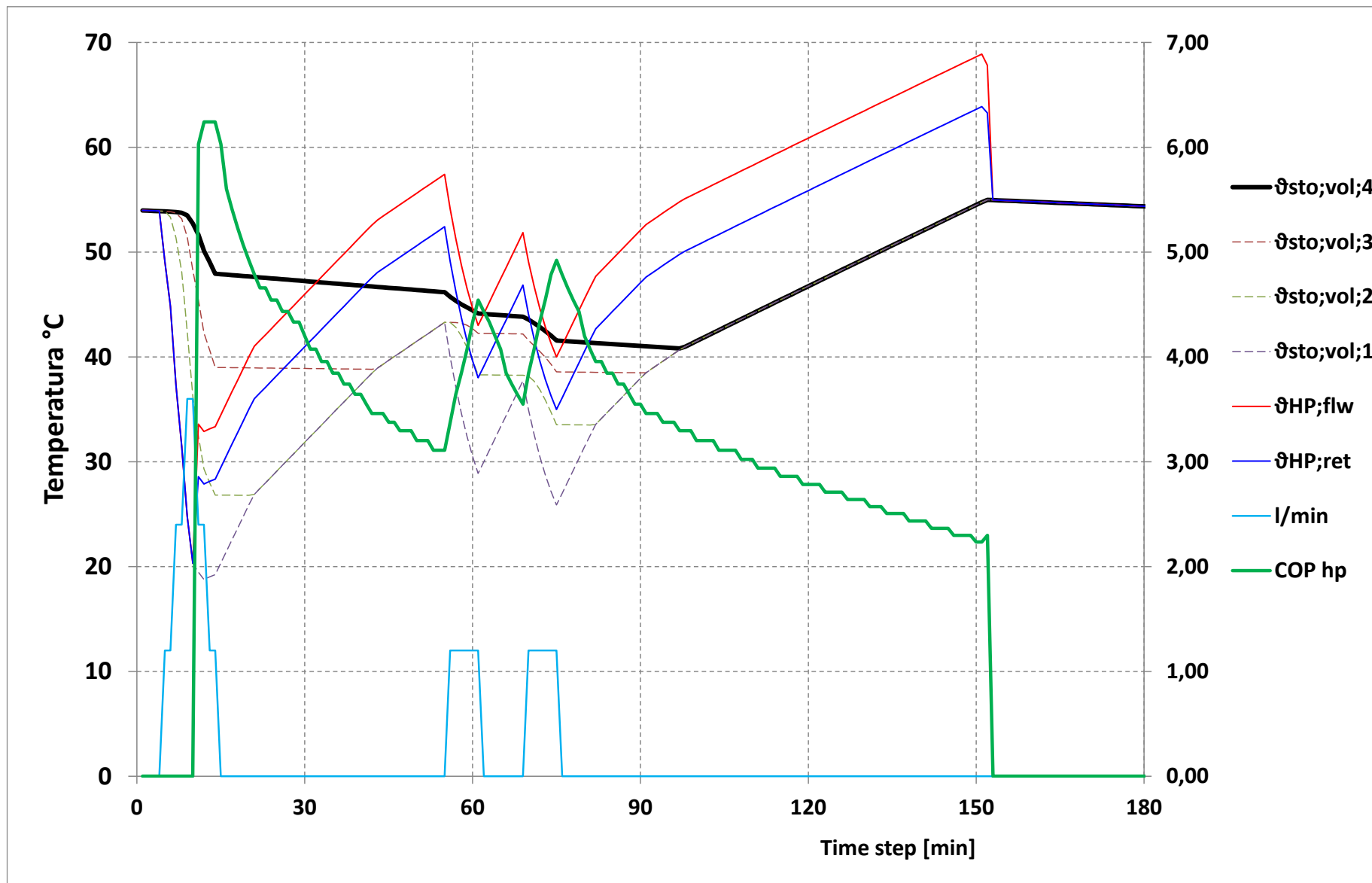
- Volume 300 litri
- Scambiatore 500 W/K (circa 1 m²)
- N°3 + 2 docce 6 minuti
12 l/s → 5 x 72 = 360 litri
- Set bollitore 55 °C
- Temperatura avvio pompa di calore 45°C
- Pompa di calore 6,0 kW
- Temperatura massima limitata a 60 °C

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



- **Dettaglio** della fase iniziale della ricarica del bollitore
- La temperatura di mandata della pompa di calore può essere ridotta in due modi:
 - Aumentando la superficie dello scambiatore
 - Riducendo la potenza della pompa di calore durante la fase di ripristino del bollitore

ESEMPIO CON TEMPERATURA LIMITE MANDATA 75 °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
- Set bollitore 55 °C
- Temperatura avvio pompa di calore 45°C
- Pompa di calore 6,0 kW
- Temperatura massima fino a 75 °C

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

- **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