

LA PROGETTAZIONE DEGLI EDIFICI NZEB

IL CONTESTO

EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE

ZEB Zero Energy Buildings

nZEB net Zero Energy Buildings

NZEB Nearly Zero Energy Buildings

Prima di spiegare l'evoluzione da ZEB a NZEB si deve affrontare il problema dell'accessibilità alle fonti rinnovabili

Accessibilità alle Fonti energetiche rinnovabili



L'unica energia rinnovabile disponibile in qualunque posto del mondo è il sole.

Tutte le altre fonti rinnovabili, dal vento, all'idroelettrico, maree comprese, alle biomasse, non sono disponibili ovunque e, come tali, vanno considerate eccezioni

Accessibilità alle Fonti energetiche rinnovabili



Il fotovoltaico richiede molto spazio a fronte di una bassa produzione di energia per m^2

Accessibilità alle Fonti energetiche rinnovabili



In un'edilizia sviluppata prevalentemente in orizzontale, in zone con scarsa densità abitativa, è facile abbondare con i campi solari, fotovoltaici o termici che siano.

Molto più difficile è farlo in un'edilizia sviluppata in verticale, nella ristrutturazione di edifici esistenti.

**Serve un cambio di visione se si vuole
costruire edifici veramente a consumo 0**

Gli spazi disponibili: l' Oro Nero dell'Era NZEB



Per costruire edifici a consumo zero servono prima di tutto spazi disponibili per le energie rinnovabili

EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE

ZEB Zero Energy Buildings

nZEB net Zero Energy Buildings

NZEB Nearly Zero Energy Buildings

Adesso si può parlare seriamente dell'evoluzione delle normative da ZEB a NZEB

UTOPIA DELLO ZEB

Uno **ZEB** (Zero Energy Buildings), è una magnifica utopia. E' un edificio che autoproduce tutta l'energia necessaria per il suo funzionamento.

E' un'utopia perché le fonti rinnovabili non ci sono sempre. In particolare il sole, energia rinnovabile per eccellenza, non c'è mai di notte e ce ne poco in inverno. Bisognerebbe accumulare energia.

UTOPIA DELLO ZEB

La domanda che ci dobbiamo fare: siamo capaci di accumulare energia elettrica?

La risposta è: stiamo appena imparando, ma non lo sappiamo fare e sarà impossibile farlo bene anche nel futuro.

UTOPIA DELLO ZEB



Obiezione: adesso ci sono le auto elettriche. Le batterie non si sono sviluppate a causa dell'interesse economico sul petrolio.

UTOPIA DELLO ZEB



Risposta sbagliata!

La prima automobile a superare i 100 km/h era elettrica

Jamais Contente 105,88 km/h 1-5-1899

UTOPIA DELL'ACCUMULO ELETTRICO

E' lo stesso accumulo elettrico ad essere un'utopia per gli edifici.

Siamo tecnici: ragioniamo da tecnici e vediamo l'evoluzione delle batterie elettriche.

Energia elettrica accumulata per kg

Fine 800	circa 10 Wh/kg
Metà 900	circa 50 Wh/kg
Ora con batterie litio	circa 100 Wh/kg
Futuro	circa 600 Wh/kg

Confronto: serbatoio auto diesel o benzina 5.000 – 6.000 Wh/kg

UTOPIA DELL'ACCUMULO ELETTRICO

Il litio in natura è presente in quantità più che sufficienti agli attuali utilizzi e anche a quelli stimati in futuro.

Ha il vantaggio di essere presente in paesi politicamente stabili come Australia, Cina, Nord America, Argentina, Cile ecc.

In un accumulatore da 1 kWh la quantità di litio metallico presente è dell'ordine di qualche grammo e i perfezionamenti tecnologici tenderanno a farlo scendere ulteriormente. Tuttavia sono necessarie materie prime costose come il cobalto e il grafene.

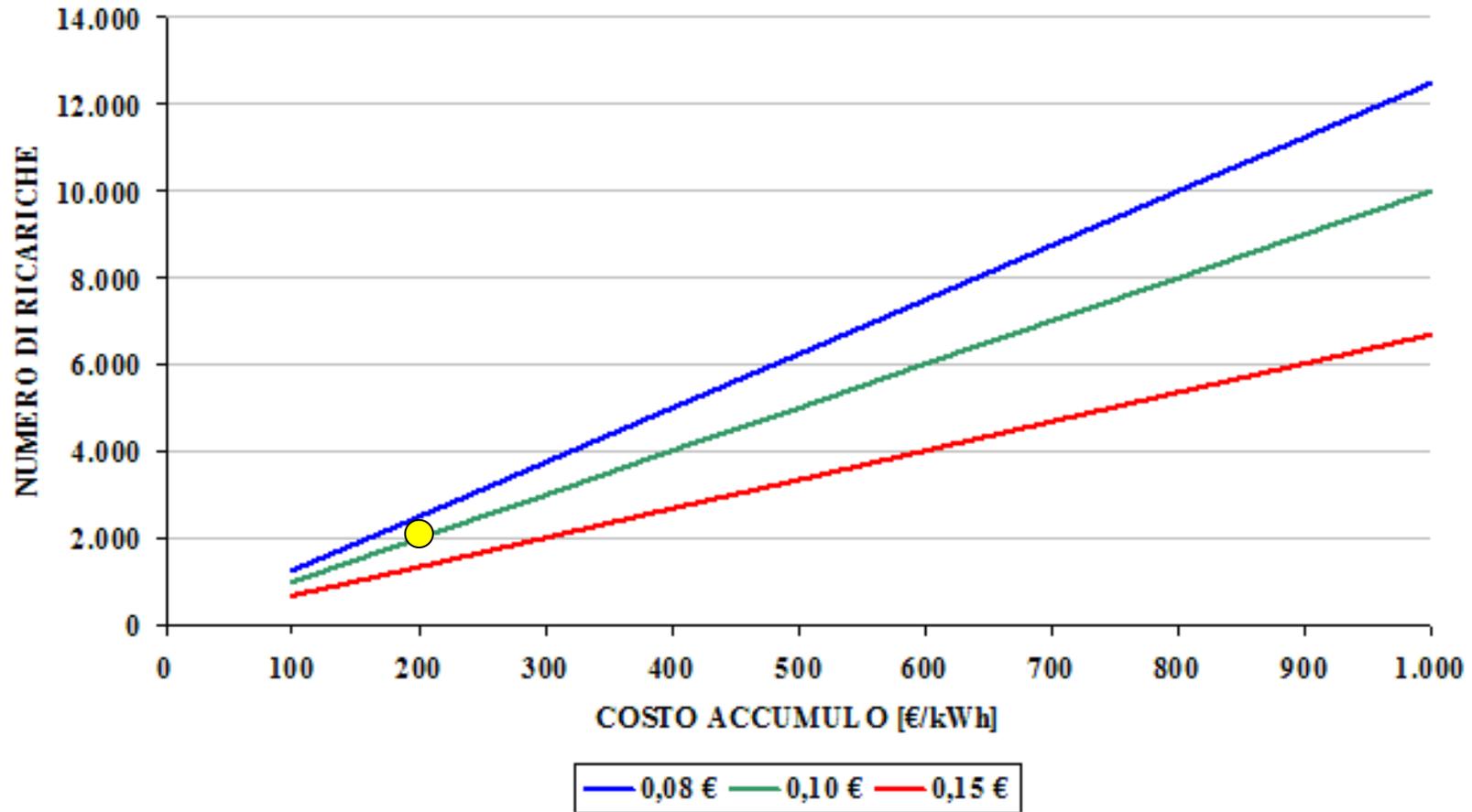
Gli accumulatori al litio hanno attualmente un costo variabile tra 600 e 1.000 €/kWh: si può pensare di abbassarlo in futuro, ma è difficile quantificare ora il risultato finale. Sarà difficile scendere sotto 100 €/kWh.

UTOPIA DELL'ACCUMULO ELETTRICO

I tempi di ritorno dell'investimento dipendono sia dal prezzo dell'accumulo, sia dalla differenza di costo dell'energia comperata e venduta alla rete: se fosse accumulata, l'energia elettrica sarebbe direttamente utilizzata in loco, senza bisogno appunto di venderla, quando c'è un surplus di energia, e ricomperarla, quando c'è un deficit.

La differenza di costo può variare tra 0,08 €/kWh e 0,15 €/kWh. Questo è anche il risparmio ottenibile con l'utilizzo delle batterie di accumulo elettrico.

UTOPIA DELL'ACCUMULO ELETTRICO



Il tempo di ritorno dell'investimento è pari al numero di ricariche necessarie per portare il risparmio ad eguagliare il costo dell'accumulo.

UTOPIA DELL'ACCUMULO ELETTRICO

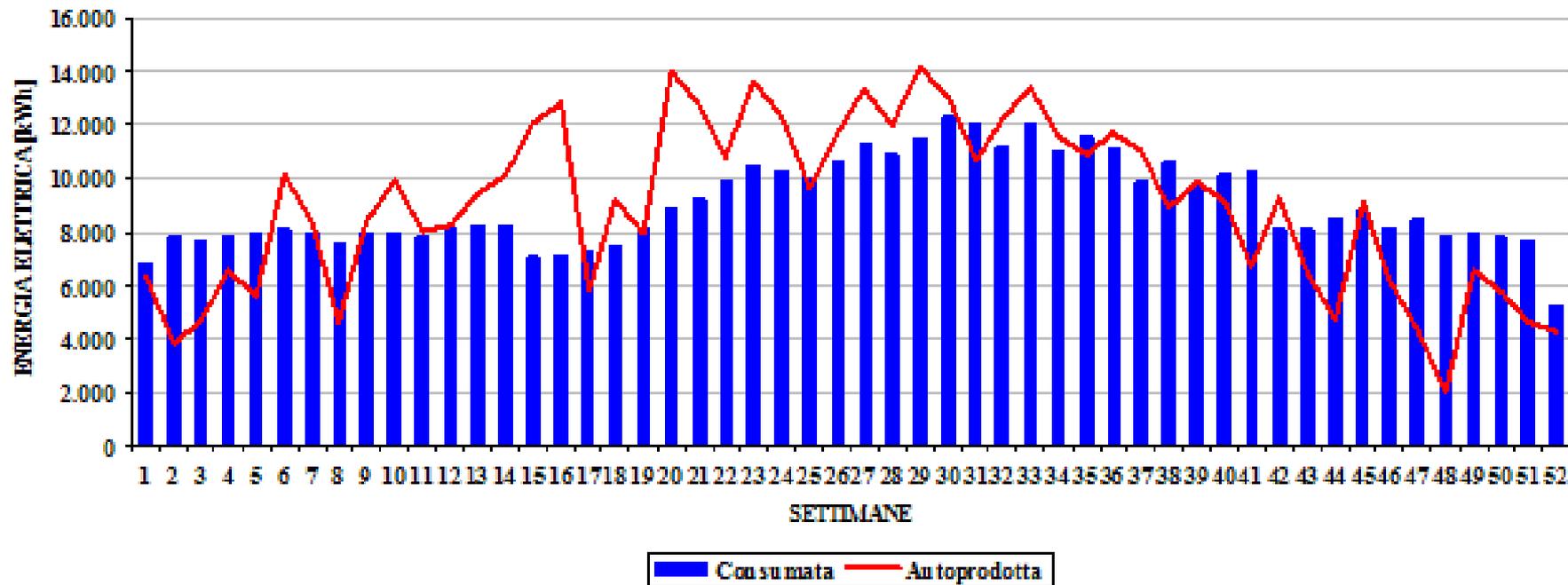
Il problema degli edifici è che il numero di ricariche è molto basso, perché l'accumulo è necessariamente stagionale.

Per comprendere, i nostri telefonini li ricarichiamo una o più volte al giorno. Anche le batterie delle auto vengono ricaricate spesso. Non è così per gli accumuli elettrici delle abitazioni.

Vediamo un esempio pratico in un edificio per uffici a Roma (ricerca condotta con il Politecnico di Torino).

L'edificio per uffici ha il vantaggio di non lavorare mai di notte né il fine settimana: quindi ha un consumo più favorevole al fotovoltaico.

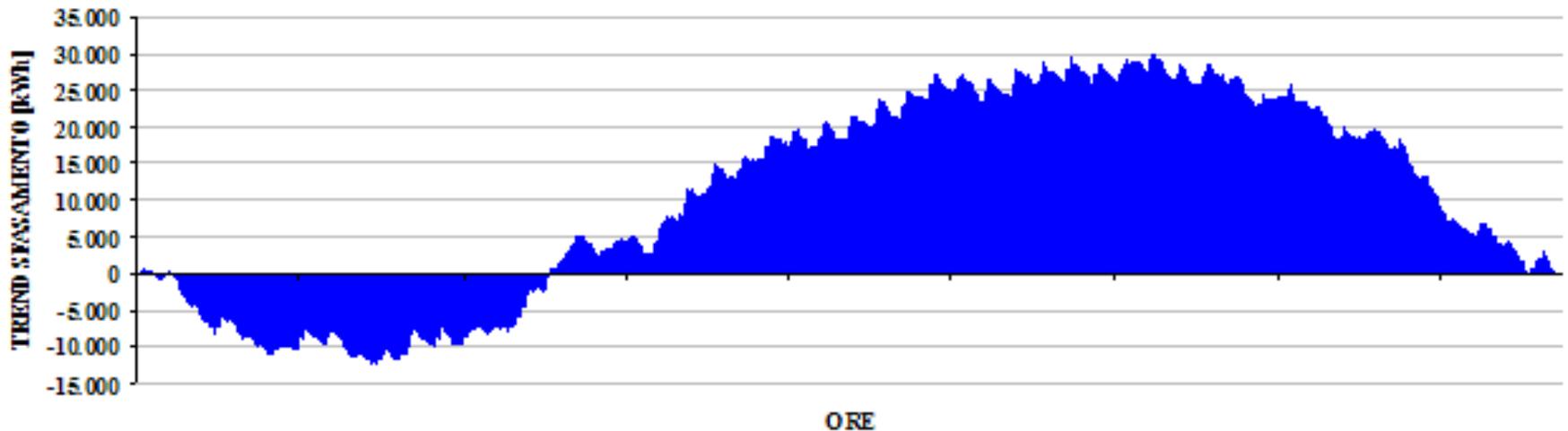
UTOPIA DELL'ACCUMULO ELETTRICO



Energia elettrica richiesta in un anno 469.622 kWh completamente autoprodotta da 2.800 m² di pannelli fotovoltaici, pari a 470 kW di picco.

Se non ci fosse alcun accumulo, 283.201 kWh, pari al 60,3%, sarebbero autoconsumati istantaneamente durante la produzione, mentre gli altri 186.242 kWh sarebbero ceduti alla rete, per poi essere riacquistati. Il costo sarebbe compreso tra 15.000 € e 30.000 € all'anno, a seconda del prezzo di vendita e di riacquisto.

UTOPIA DELL'ACCUMULO ELETTRICO



Proviamo a dimensionare l'accumulo elettrico.

La figura mostra l'andamento dello sfasamento tra energia prodotta e energia consumata per ogni ora dell'anno. Si ha un deficit massimo di circa 12.000 kWh verso fine febbraio e un surplus massimo di circa 30.000 kWh ad agosto. Quindi, per rendere ZEB l'edificio servirebbe un accumulo di 42 MWh (circa 4.200.000 € di costo nell'ipotesi futuribile migliore).

Tempo di ritorno dell'investimento: tra 140 e 280 anni.

EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE

Dallo ZEB si è passati al nZEB

ZEB Zero Energy Buildings

nZEB net Zero Energy Buildings

nZEB è un edificio collegato alla rete elettrica alla quale cede energia in caso di surplus di produzione, e preleva energia in caso di deficit. Il bilancio finale è 0: in un anno cede tutto ciò che produce.

LIMITI DELLO nZEB

- 1) Lo ZEB non richiede energia fossile, nZEB sì: quando si ha un deficit di energia, qualcuno questa energia la deve produrre. Siccome è notte contemporaneamente in due continenti e mezzo (Europa, Africa e Medio Oriente) la produzione non può che avvenire da combustibili fossili

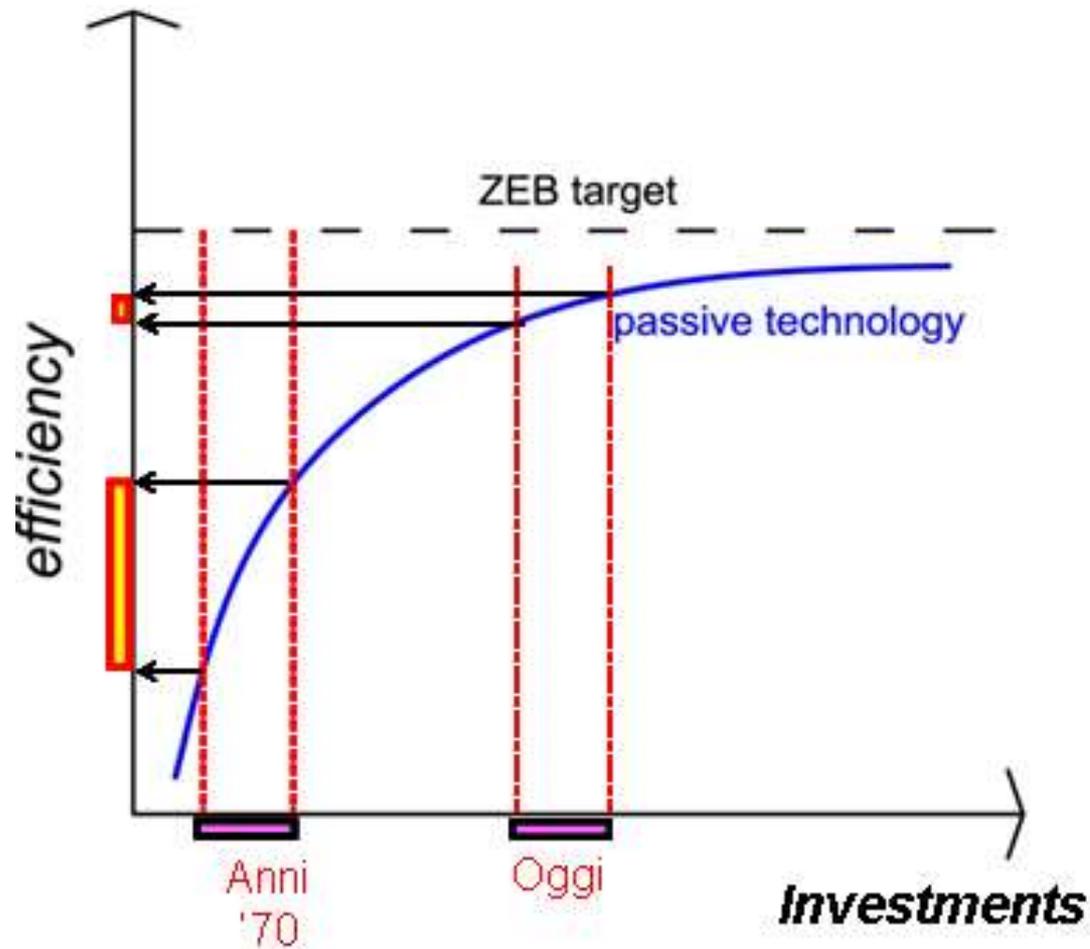
LIMITI DELLO nZEB

- 1) Lo ZEB non richiede energia fossile, nZEB si: quando si ha un deficit di energia, qualcuno questa energia la deve produrre. Siccome è notte contemporaneamente in due continenti e mezzo (Europa, Africa e Medio Oriente) la produzione non può che avvenire da combustibili fossili
- 2) Rimane il serio problema degli spazi: se si hanno a disposizione è possibile realizzare un edificio nZEB, altrimenti no

LIMITI DELLO nZEB

- 1) Lo ZEB non richiede energia fossile, nZEB sì: quando si ha un deficit di energia, qualcuno questa energia la deve produrre. Siccome è notte contemporaneamente in due continenti e mezzo (Europa, Africa e Medio Oriente) la produzione non può che avvenire da combustibili fossili
- 2) Rimane il serio problema degli spazi: se si hanno a disposizione è possibile realizzare un edificio nZEB, altrimenti no
- 3) Il costo è molto elevato, perché il raggiungimento dello Zero è asintotico (concetto del *Law of diminishing returns*, Sheppard 1974)

LIMITI DELLO nZEB



concetto del *Law of diminishing returns*

EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE

Di conseguenza, dal nZEB si è passati al NZEB

nZEB net Zero Energy Buildings

NZEB Nearly Zero Energy Buildings

Si dovrà capire bene cosa si intenderà con Nearly.

Conseguenze della direttiva NZEB

Un cambio di approccio

Conseguenze della direttiva NZEB

- 1) L'utente finale potrà toccare con mano i risultati ottenuti, soprattutto negli impianti a sola energia elettrica. Gli basterà confrontare il consumo di energia e l'autoproduzione per capire quanto vicino allo Zero è.

Conseguenze della direttiva NZEB

- 1) L'utente finale potrà toccare con mano i risultati ottenuti, soprattutto negli impianti a sola energia elettrica. Gli basterà confrontare il consumo di energia e l'autoproduzione per capire quanto vicino allo Zero è.
- 2) Il pericolo maggiore è che l'utente finale tradurrà consumo zero in costo zero, cosa mai possibile (cfr. esempio precedente del palazzo per uffici: 476 kW di impianto fotovoltaico, consumo zero, ma costo tra 15.000 e 30.000 € all'anno).

Conseguenze della direttiva NZEB

- 1) L'utente finale potrà toccare con mano i risultati ottenuti, soprattutto negli impianti a sola energia elettrica. Gli basterà confrontare il consumo di energia e l'autoproduzione per capire quanto vicino allo Zero è.
- 2) Il pericolo maggiore è che l'utente finale tradurrà consumo zero in costo zero, cosa mai possibile (cfr. esempio precedente del palazzo per uffici: 476 kW di impianto fotovoltaico, consumo zero, ma costo tra 15.000 e 30.000 € all'anno).
- 3) Se non si spiegherà bene il concetto agli utenti finali, si rischieranno cause legali

Conseguenze della direttiva NZEB

Bisognerà calcolare molto bene tutti i consumi energetici, compresi quelli estivi e gli ausiliari degli impianti.

Bisognerà calcolare molto bene anche gli altri consumi dell'edificio in genere e delle abitazioni in particolare: finalmente qualcuno sarà costretto a spiegare che cucinare su un fuochi elettrici rispetto a quelli a metano costa circa il doppio, oltre ad avere un consumo energetico superiore del 50%.

Ci vuole un approccio diverso.

Parlare di energia allo stesso modo

Gli spazi disponibili: il nuovo Oro Nero dell'Era NZEB



Ogni 1.000 kWh risparmiati l'anno equivalgono alla produzione di 6-7 m² di pannelli fotovoltaici.

Il risparmio energetico deve essere misurato in termini di spazi, in modo che chiunque possa capire di cosa si sta parlando.

Due nuovi indici (ricerca con Politecnico Torino)



superficie di fotovoltaico equivalente

Indica i metri quadrati di FV che devono essere installati per rendere l'edificio a consumo 0 (nZEB: il FV produce in un anno la quantità di energia primaria consumata dall'edificio)

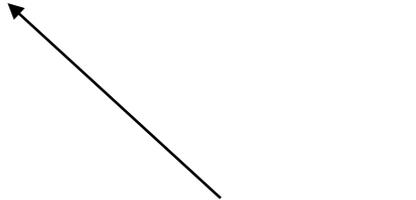
La Superficie di fotovoltaico equivalente viene calcolata

$$SFV_{eq} = 7 \cdot \frac{CE_{Tot} + (9,6 \cdot CM_{tot} \cdot 0,55)}{GES_{Stim}}$$

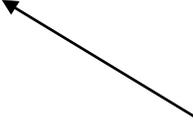
Consumo annuo totale di
energia elettrica, ausiliari
compresi

$$SFV_{eq} = 7 \cdot \frac{CE_{Tot} + (9,6 \cdot CM_{tot} \cdot 0,55)}{GES_{Stim}}$$

Consumo annuo totale di metano

$$SFV_{eq} = 7 \cdot \frac{CE_{Tot} + (9,6 \cdot CM_{tot} \cdot 0,55)}{GES_{Stim}}$$


Rendimento del miglior sistema attuale di produzione e distribuzione dell'energia alimentato a metano (ciclo combinato)

$$SFV_{eq} = 7 \cdot \frac{CE_{Tot} + (9,6 \cdot CM_{tot} \cdot 0,55)}{GES_{Stim}}$$


$$SFV_{eq} = 7 \cdot \frac{CE_{Tot} + (9,6 \cdot CM_{tot} \cdot 0,55)}{GES_{Stim}}$$

stima di generazione elettrica solare annua del centro di ricerca solare europeo di Ispra per sistemi fotovoltaici da 1 kW di picco, espressa in kWh: vale 1060 kWh a Milano, 1180 kWh a Roma e 1260 kWh a Bari

Superficie di FV necessaria per produrre 1 kW di picco
(rendimento del FV = 14,4%)

$$SFV_{eq} = 7 \cdot \frac{CE_{Tot} + (9,6 \cdot CM_{tot} \cdot 0,55)}{GES_{Stim}}$$

Due nuovi indici (ricerca con Politecnico Torino)



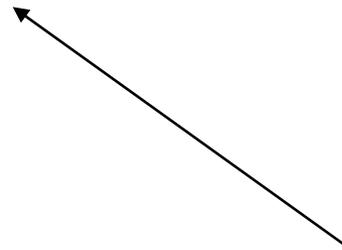
Proximity to ZERO (vicinanza allo zero)

E' il rapporto tra quanta superficie viene installata rispetto a quanto servirebbe per rendere l'impianto nZEB. Questo permette di calcolare il valore del N di nearly negli NZEB

Il **Proximity to Zero** viene calcolato con la formula

$$PtZ = \frac{\eta_{SF\ installato} \ SFV_{installato}}{0.144 \ SFV_{eq}}$$

Superficie di FV installato



$$PtZ = \frac{\eta_{SF\ installato} \boxed{SFV_{installato}}}{0.144 SFV_{eq}}$$

Rendimento del FV installato

$$PtZ = \frac{\eta_{SF\text{ installato}} SFV_{\text{installato}}}{0.144 SFV_{eq}}$$

Come procedere: Il percorso dell'efficienza

Bisogna ragionare in termini di

**EFFICIENZA GLOBALE
DELL'IMPIANTO**

EFFICIENZA GLOBALE DELL'IMPIANTO

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

EFFICIENZA GLOBALE DELL'IMPIANTO

Energia termica richiesta

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

EFFICIENZA GLOBALE DELL'IMPIANTO

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Energia assorbita dai generatori

EFFICIENZA GLOBALE DELL'IMPIANTO

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Energia assorbita dai ventilatori

EFFICIENZA GLOBALE DELL'IMPIANTO

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

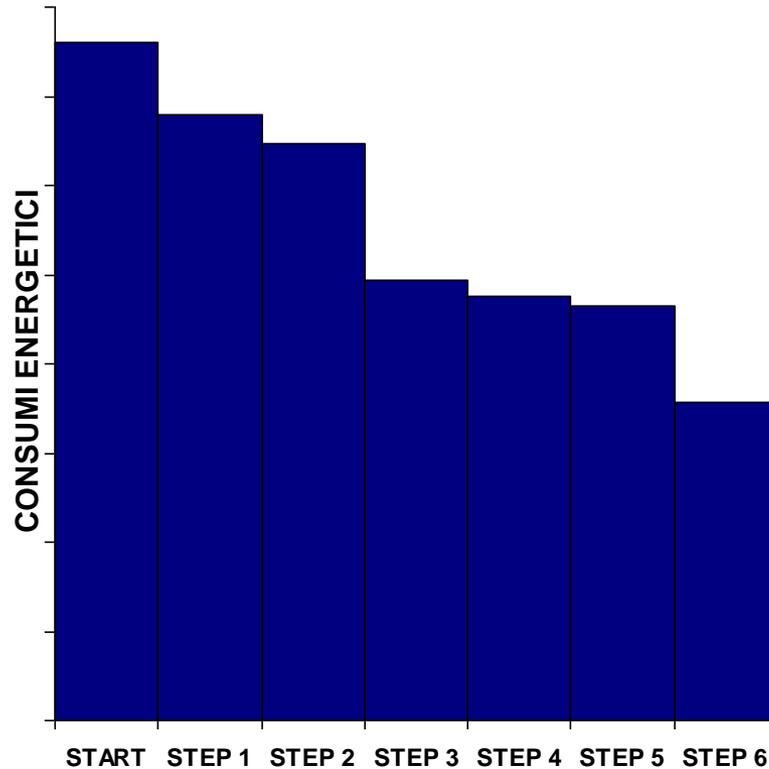
Energia assorbita dalle pompe

EFFICIENZA GLOBALE DELL'IMPIANTO

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Per massimizzare l'efficienza bisogna ridurre le singole voci

Il percorso dell'efficienza



Dobbiamo immaginare il percorso dell'efficienza come la discesa di una scalinata, da percorrere gradino dopo gradino.

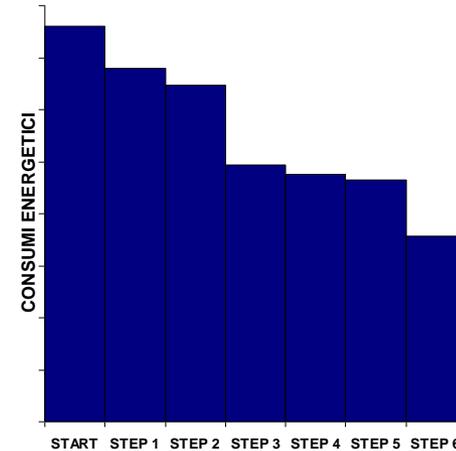
Alcuni sono più alti, altri lo sono di meno.

Ogni gradino è un passo verso il consumo Zero, che non si raggiungerà mai.

Tuttavia l'energia prodotta dalle fonti rinnovabili a farci avvicinare a 0

Il percorso dell'efficienza

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$



Bisogna definire innanzitutto le condizioni di partenza.

Il progettista meccanico può influire solo marginalmente su E_T , che dipende principalmente dalla struttura dell'edificio.

Il percorso dell'efficienza

Riduzione

E_T

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Cosa fare

Riduzione UR
ambiente in
inverno

Aumento UR
ambiente in
estate

Cosa non fare

Eccedere con
l'isolamento
termico

Rendere troppo
trasparente
l'edificio

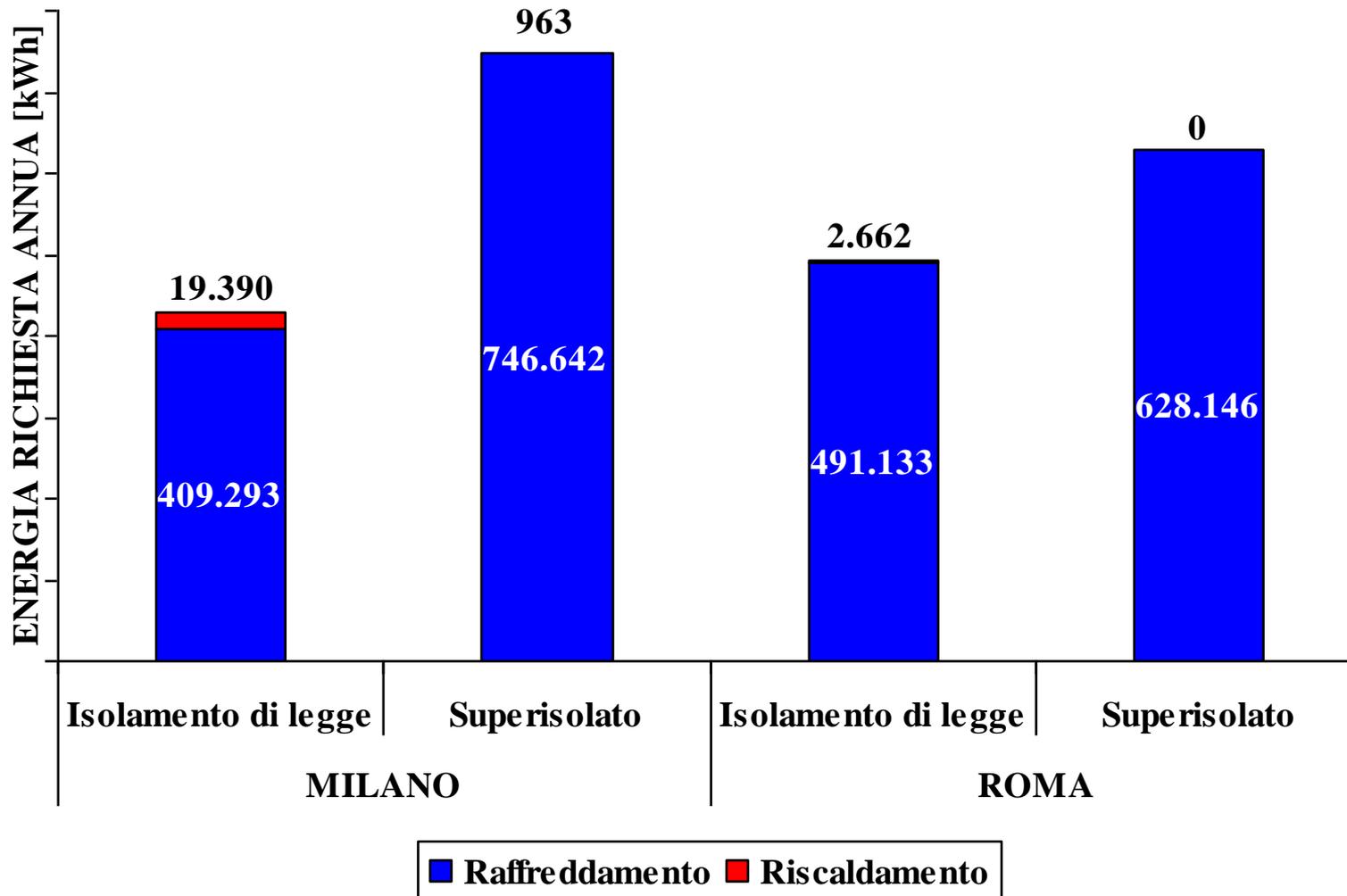
Errata
regolazione
(a punto fisso)

Rischi e esempi

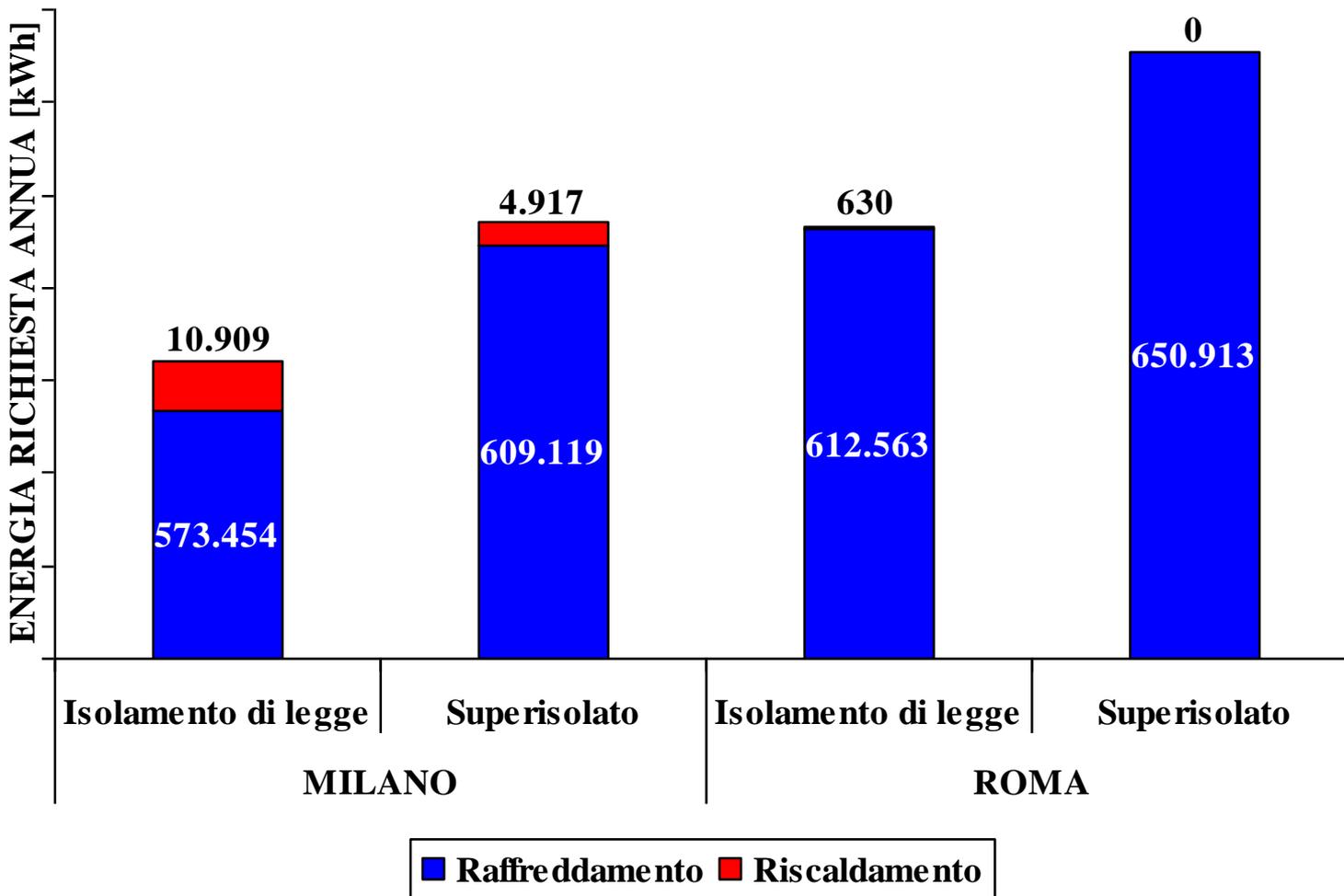
Ricerca PoliTo
Uffici e Alberghi

Esempio reale 1
Ospedale

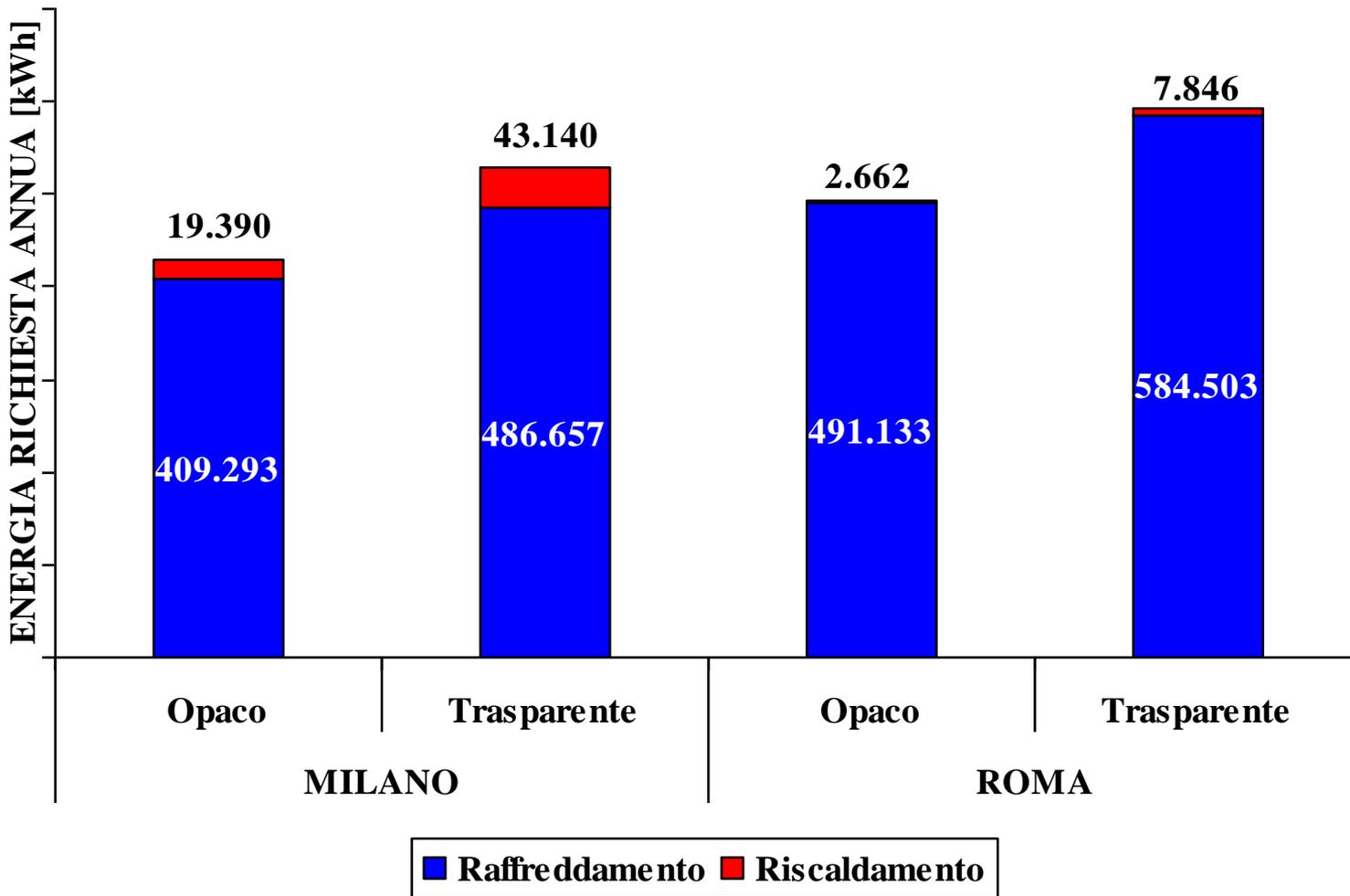
Eccesso isolamento termico - Uffici



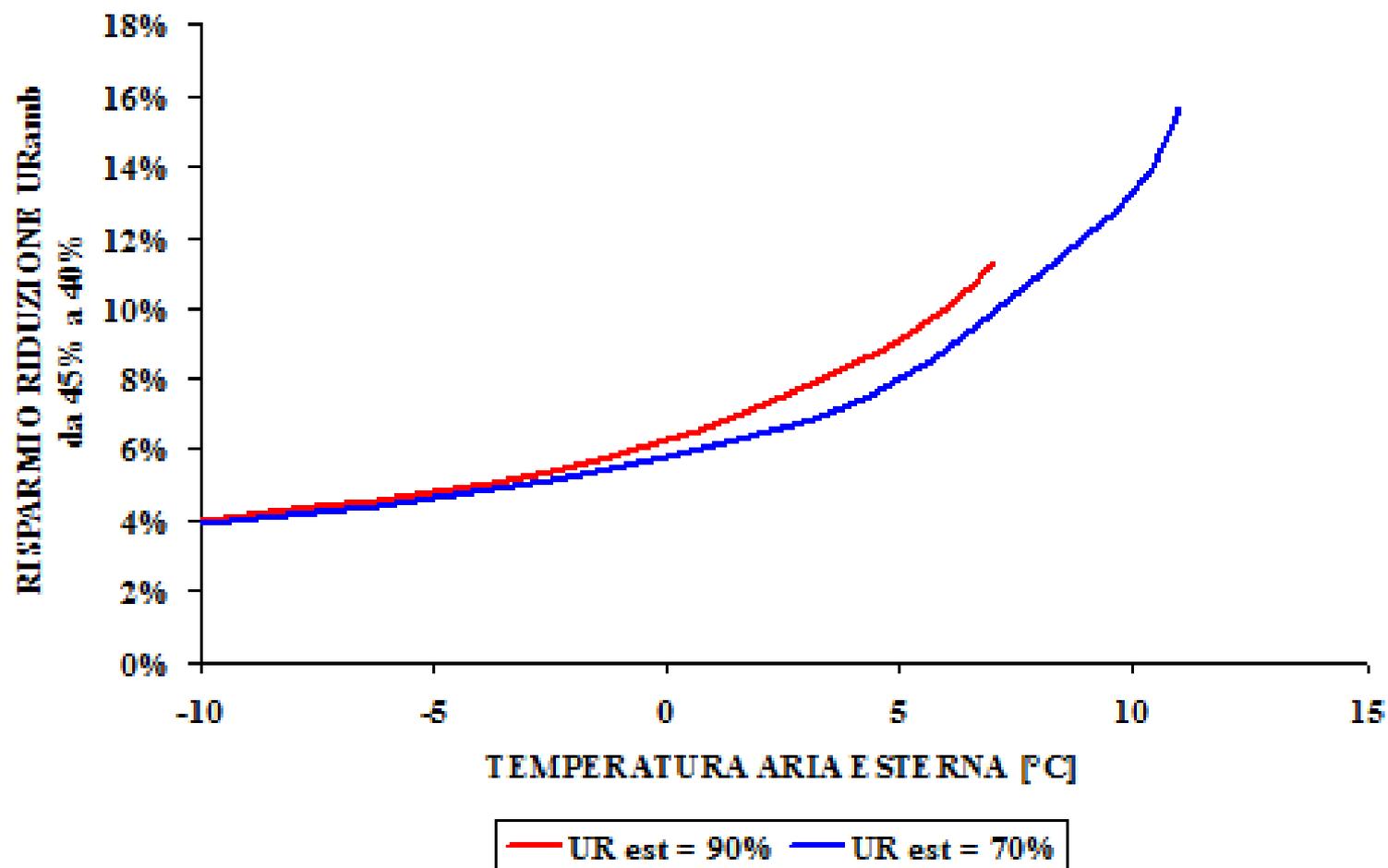
Eccesso isolamento termico - Alberghi



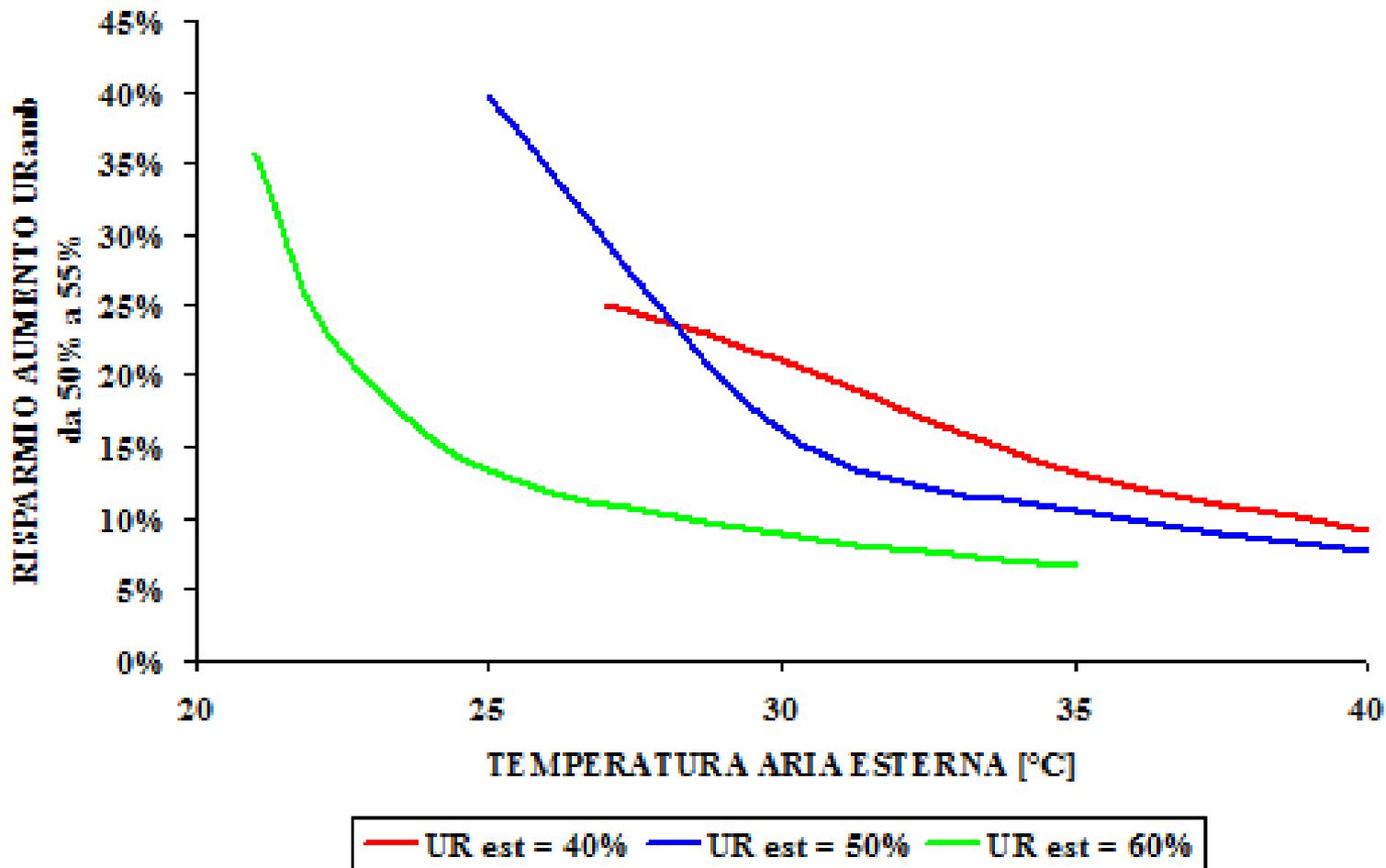
Opaco vs Trasparente - Uffici



Riduzione UR invernale da 45% a 40%



Aumento UR estiva da 50% a 55%



ERRORE DA NON COMMITTERE

Sbagliato controllo dell'UR ambiente a causa di una regolazione a punto fisso o di una regolazione a punto fisso compensata

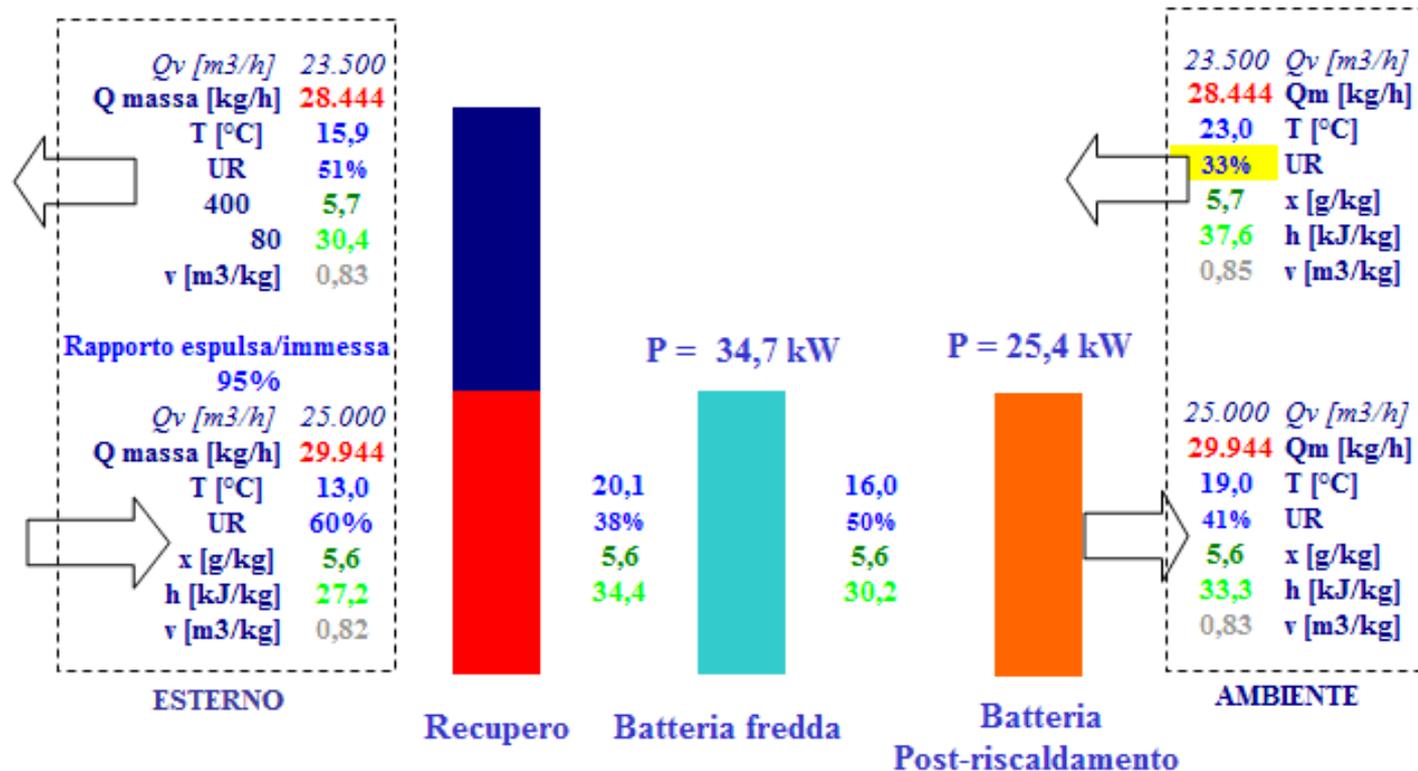
ESEMPIO REALE

Ospedale

ovvero come la sbagliata progettazione può far sprecare
150.000 € all'anno di soldi pubblici

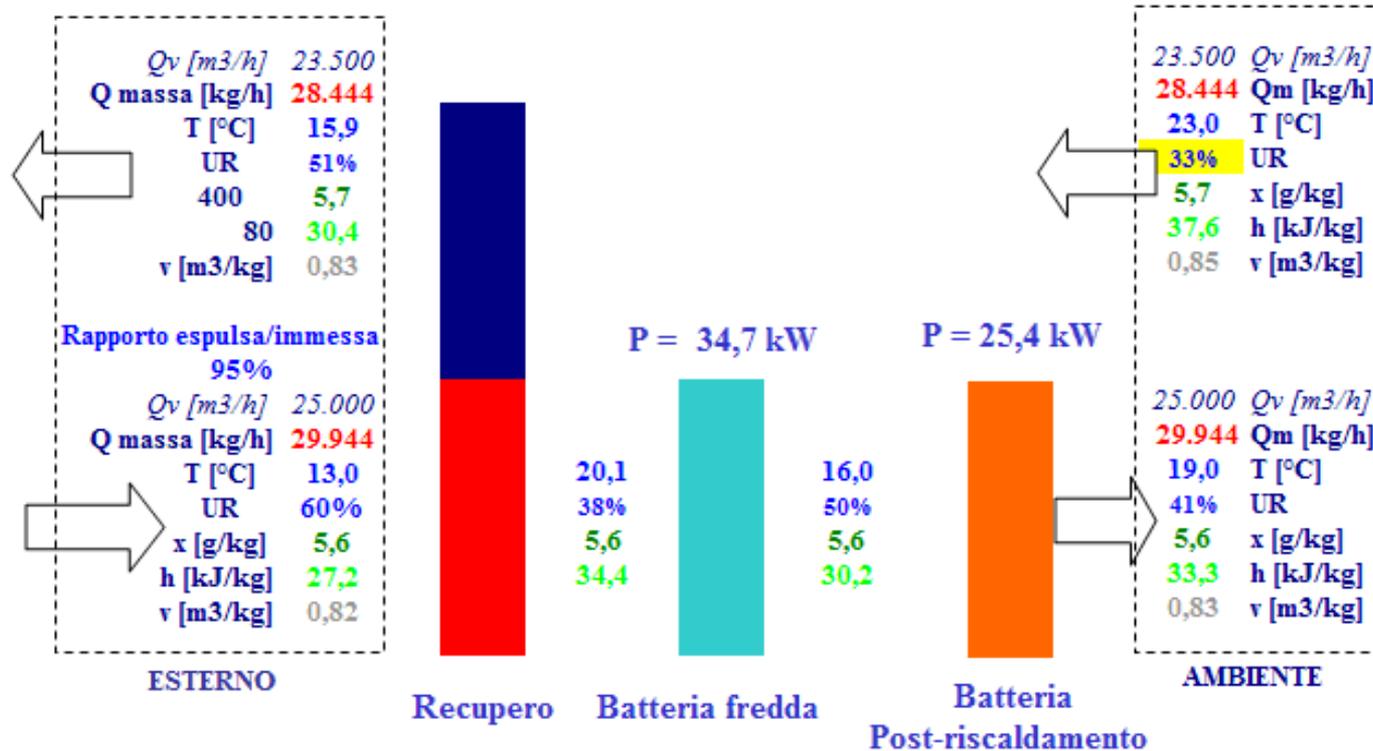
approfondimenti:
articolo Vio - Aicarr Journal numero 32

Situazione trovata: le UTA così erano circa una quindicina

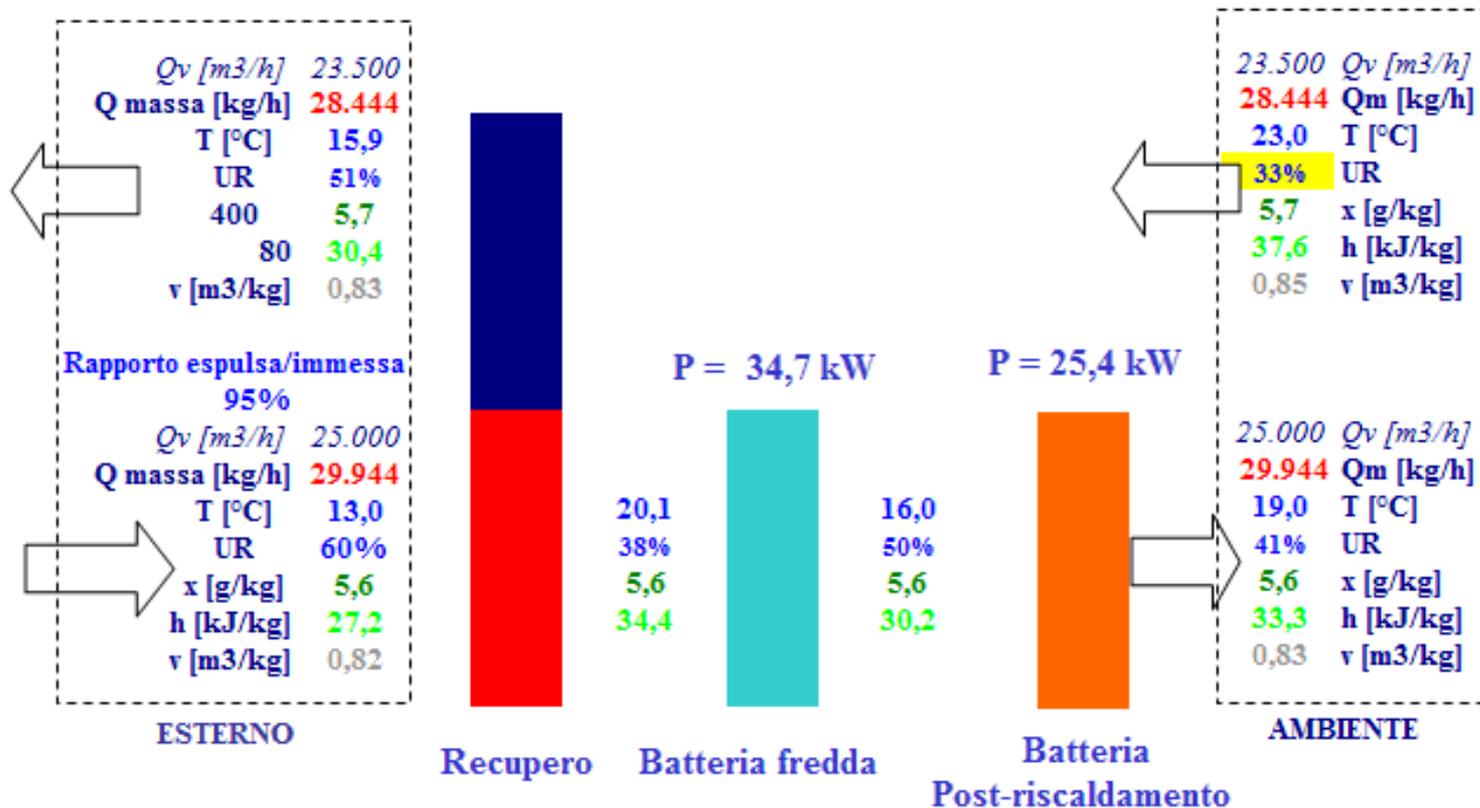


Costo orario: 3,40 €

2 errori: eccesso di recupero e regolazione della UTA

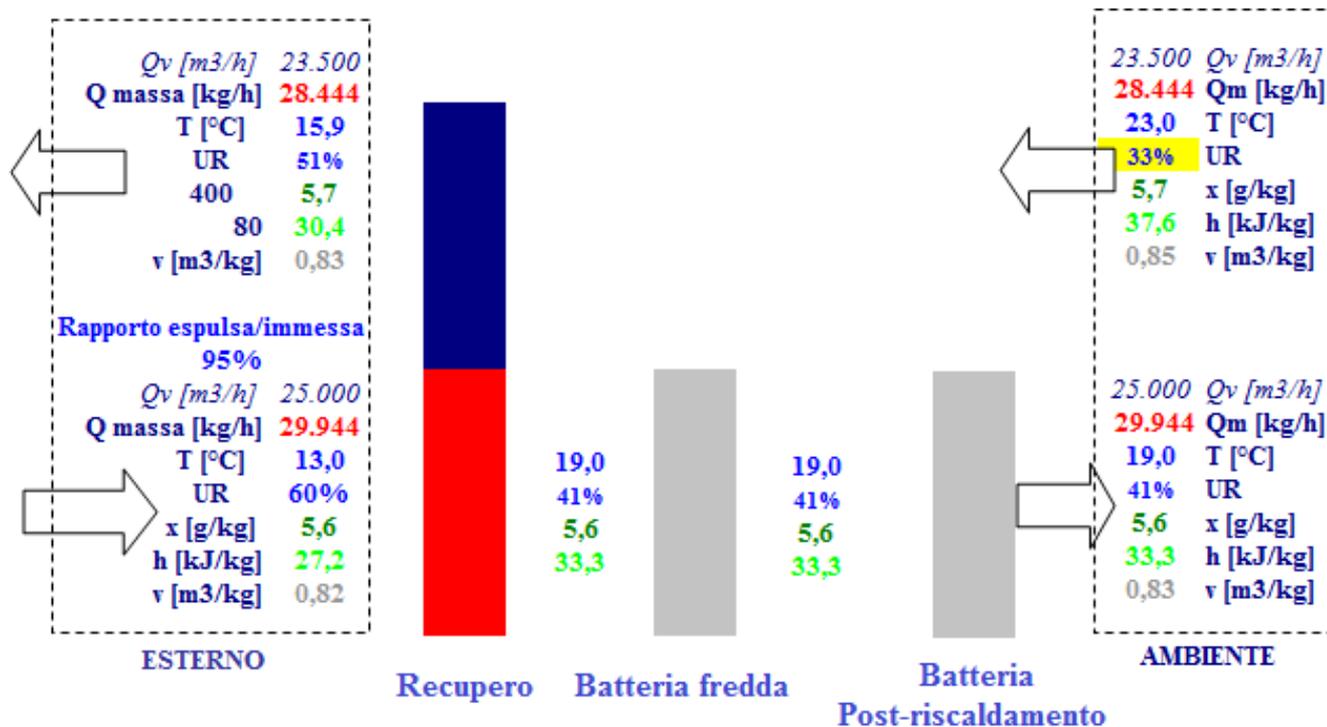


L'umidità specifica dell'aria esterna è bassa e non richiede deumidificazione. Infatti l'UR ambiente è 33%



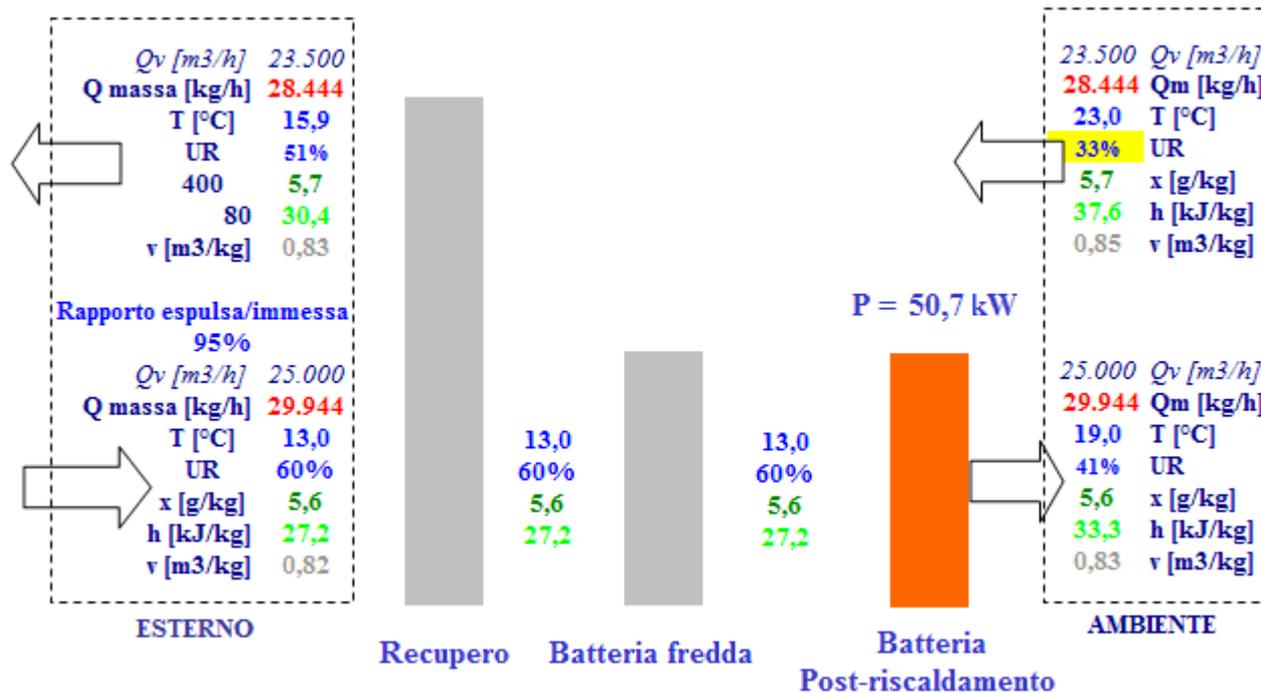
Malgrado questo, la regolazione a punto fisso compensato chiama la batteria fredda e di conseguenza si attiva pure il post

Se il recupero di calore fosse stato modulante e la regolazione corretta il solo recuperatore sarebbe bastato al trattamento dell'aria



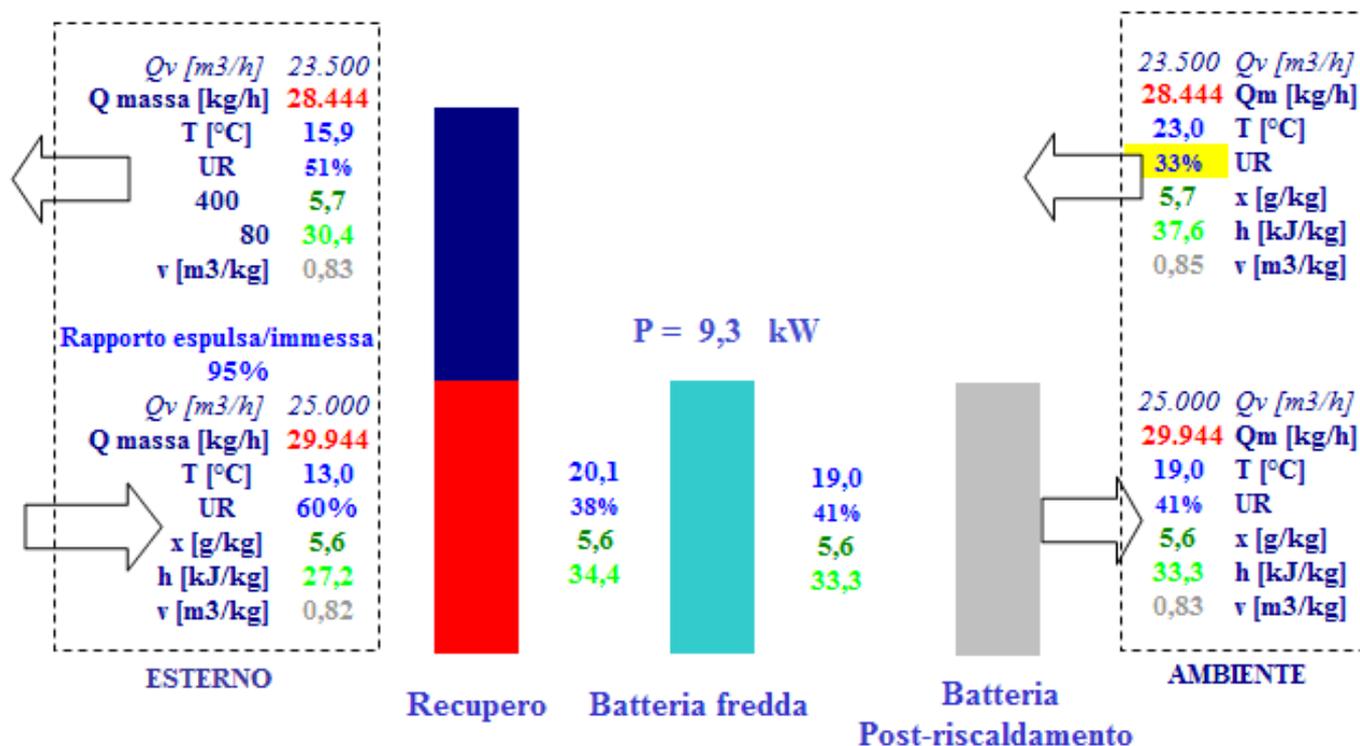
Costo orario: 0 €, risparmio 3,40 €/h per 15 CTA = 51 €/h
 per 3.000 ore con temperatura compresa tra 11 e 20°C
 Spreco di denaro pubblico = 150.000

In realtà il progettista aveva previsto di by-passa il recuperatore quando si fosse verificato un eccesso di recupero. Per fortuna l'errore era stato corretto



Costo orario: 4,74 €, per 15 CTA = 71 €/h
 per 3.000 ore con temperatura compresa tra 11 e 20°C
 Spreco di denaro pubblico > 213.000

Non potendo cambiare recuperatore, si è intervenuti sulla regolazione, ora davvero sulla UR ambiente e non un punto fisso compensato



Costo orario: 0,28 €, per 15 CTA = 4,19 €/h
 per 3.000 ore con temperatura compresa tra 11 e 20°C
 Spreco di denaro pubblico = 12.500

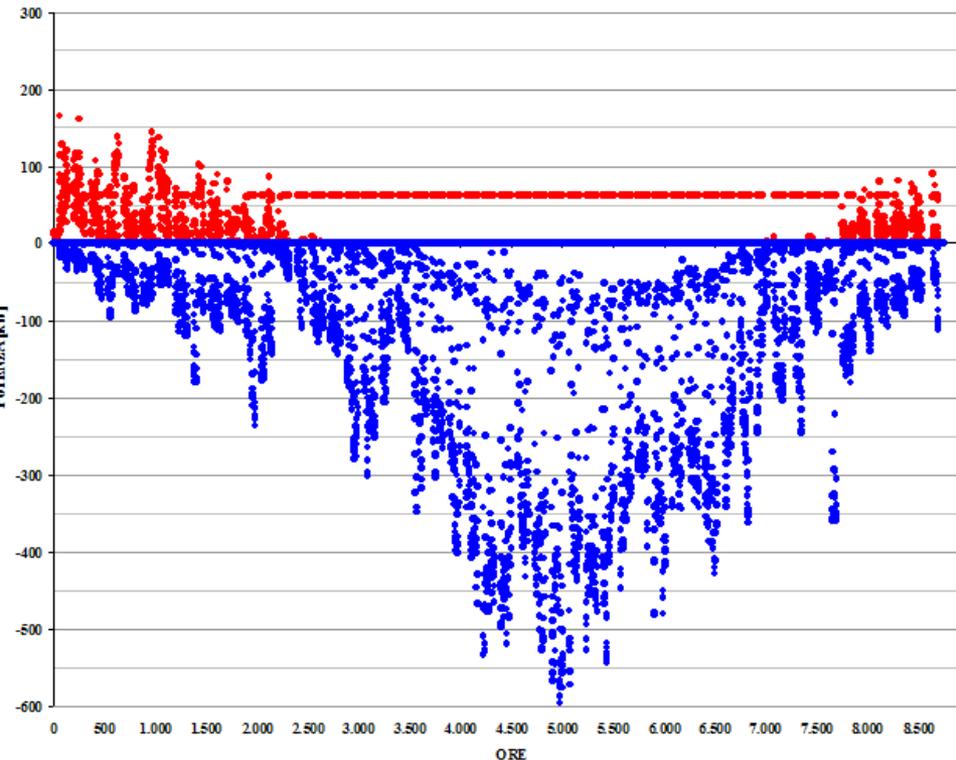
Bisogna stare attenti, perché alcune aziende di regolazione dicono di fare una regolazione basata sulla UR, ma invece compensano semplicemente il punto fisso (esempio: se con $UR = 50\%$ T in uscita da $BF = 14^{\circ}\text{C}$, diventa 16°C con $UR = 40\%$).

Vediamo cosa succede nel caso della ricerca condotta con il Politecnico di Torino: caso uffici.

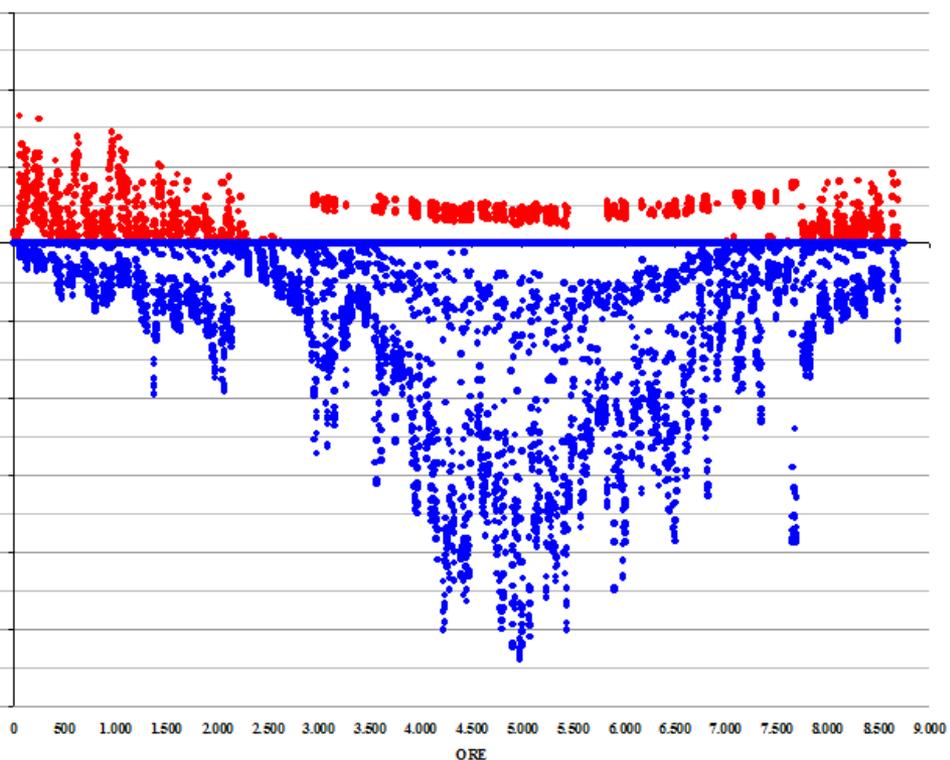
ROMA – Edificio Opaco – Isolamento di legge

Potenza richiesta ai gruppi frigoriferi ora per ora

AP1 - CONTROLLO A PUNTO FISSO



AP2 - CONTROLLO BASATO SU UR

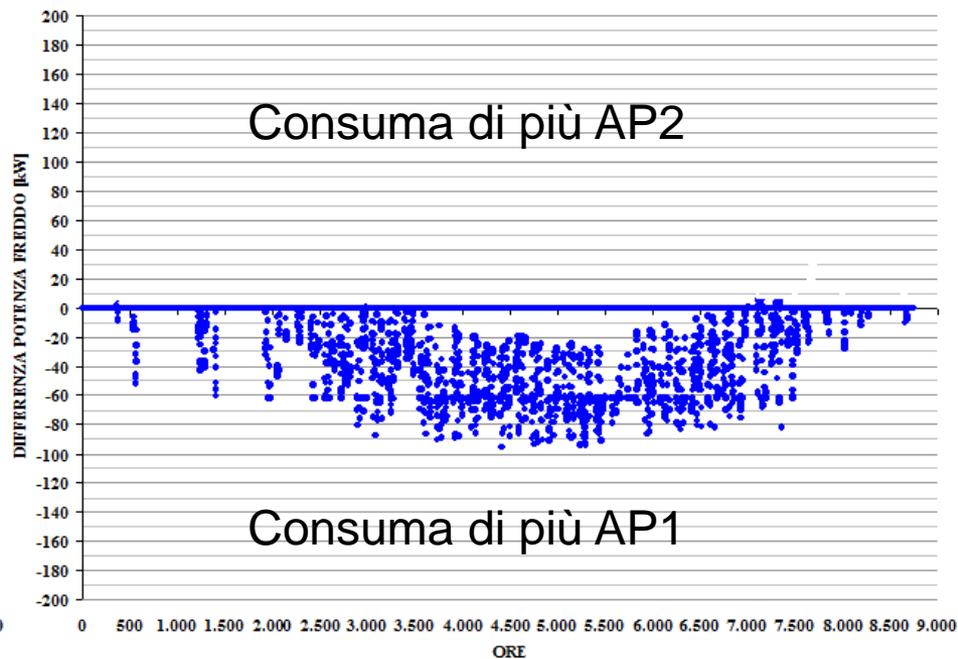
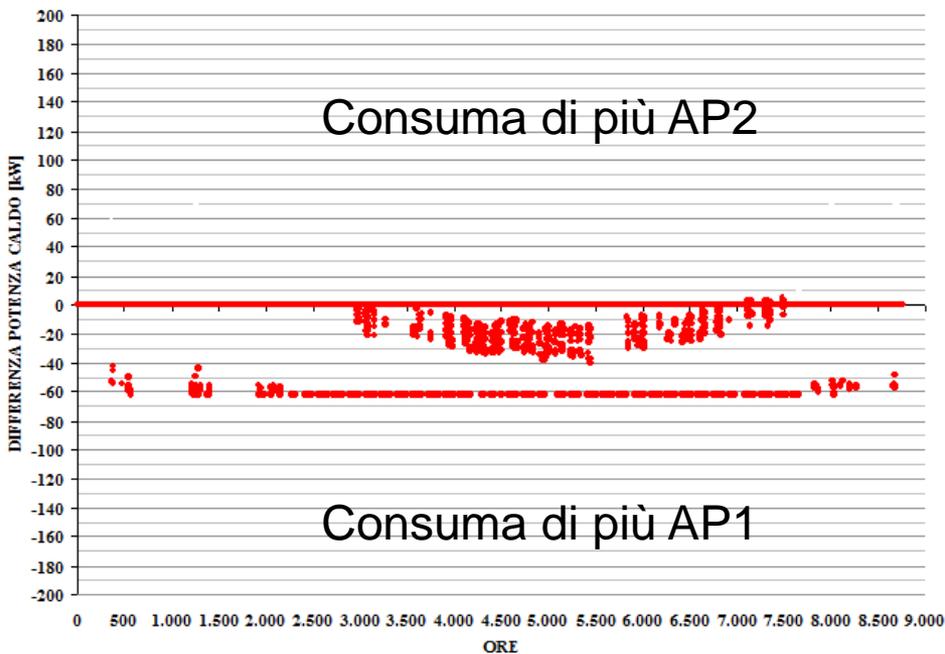


ROMA – Edificio Opaco – Isolamento di legge

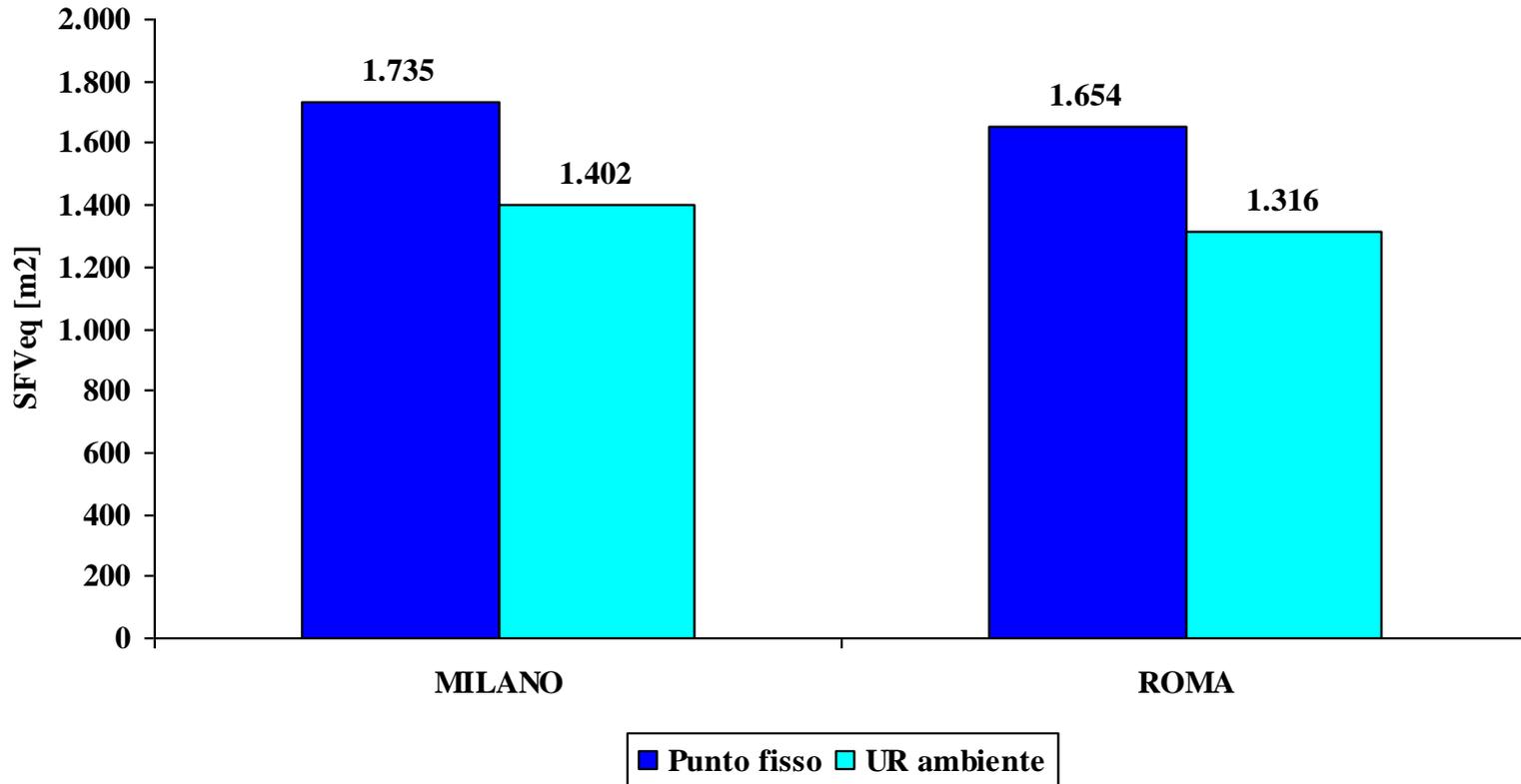
Differenza potenza richiesta ai gruppi frigoriferi ora per ora

GENERATORE CALDO

GENERATORE FREDDO

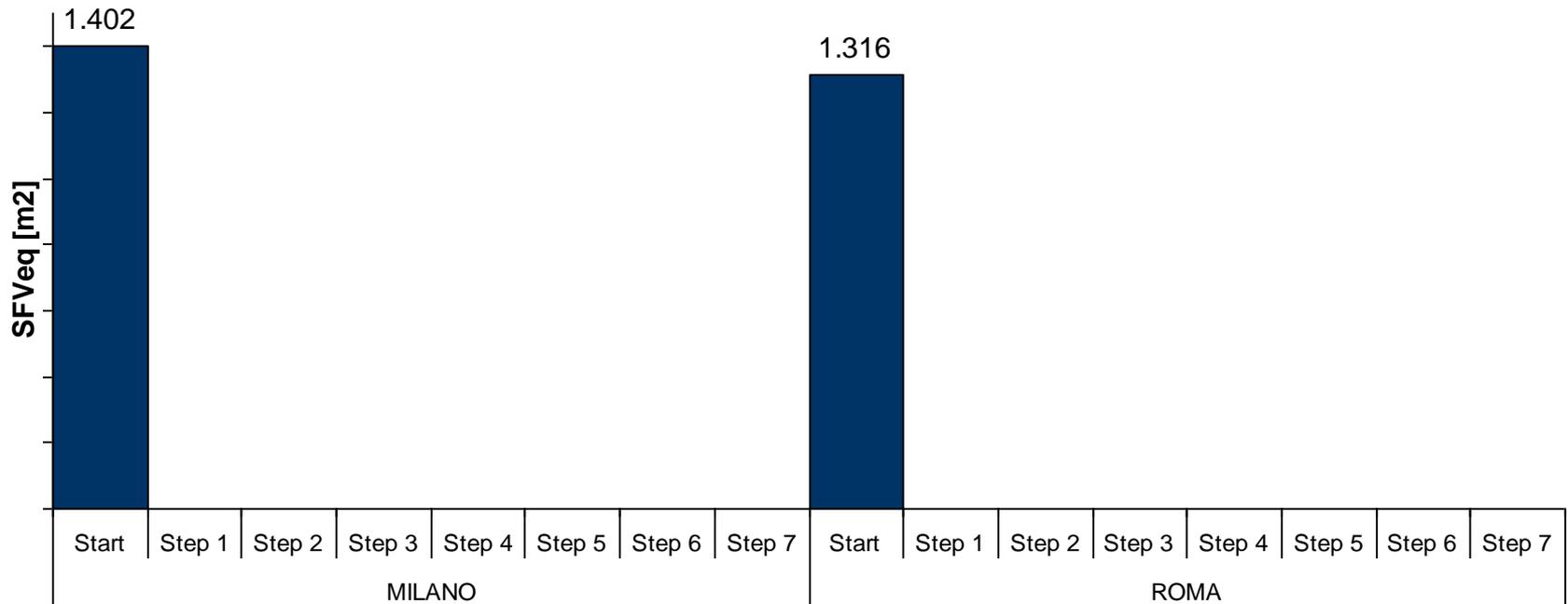


Conseguenze sui consumi



Si prende come riferimento il valore con UR ambiente

Comincia la discesa

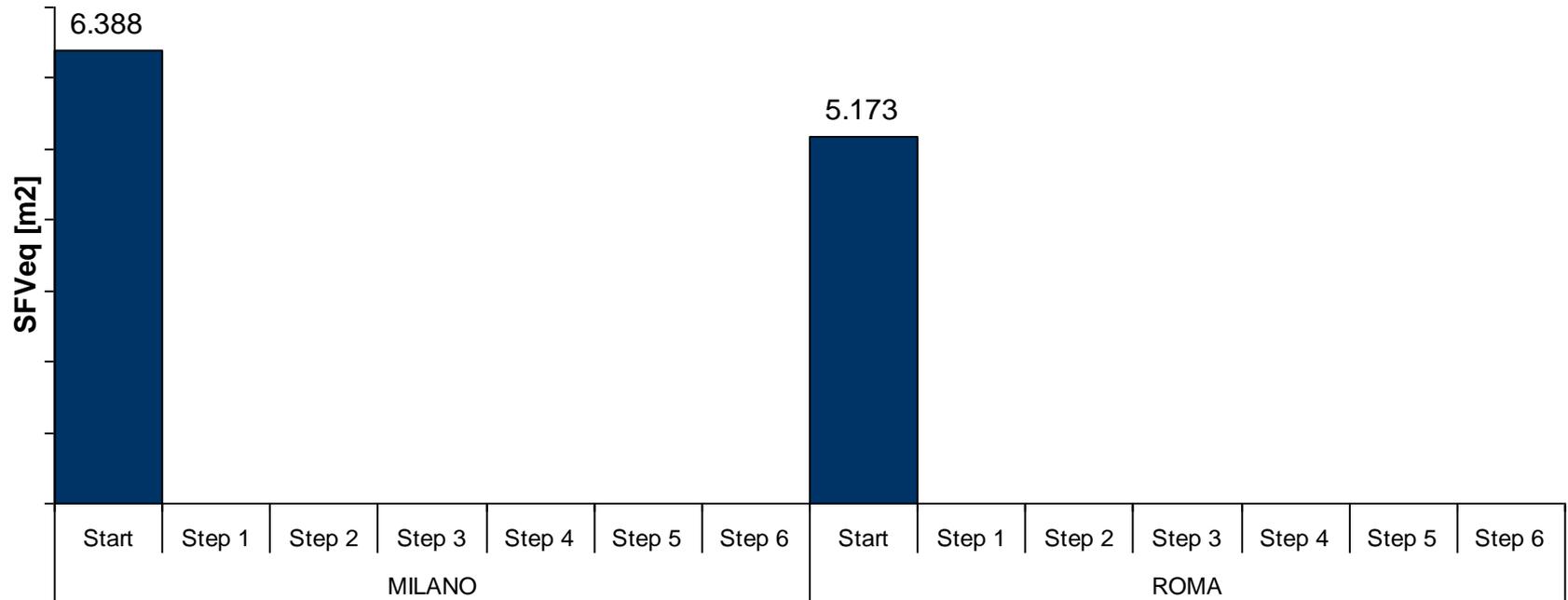


Punto di partenza impianto a AP + FC e alimentati a 7°C costanti. L'AP è a portata costante, regolata su UR ambiente.

I circuiti idraulici sono tutti a portata costante.

I generatori sono una caldaia e un gruppo frigorifero

Comincia la discesa



Gli hotel consumano di più sia perché lavorano 24 ore al giorno, sia perché c'è la produzione di acqua calda sanitaria.

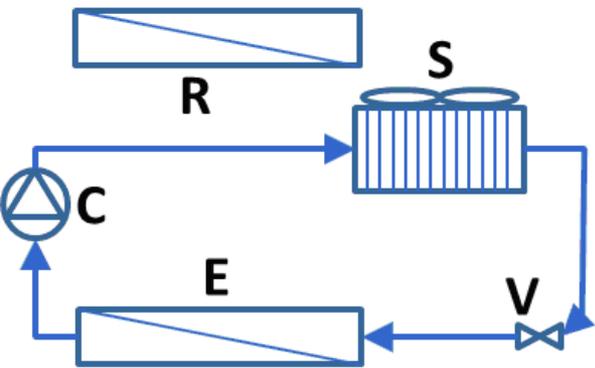
Il primo gradino

Utilizzo delle pompe di calore polivalenti

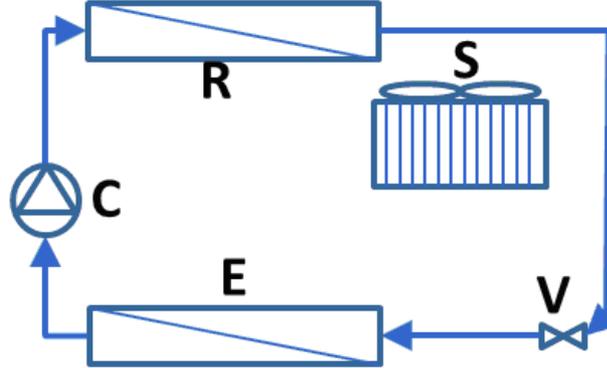
Migliorano E_G

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

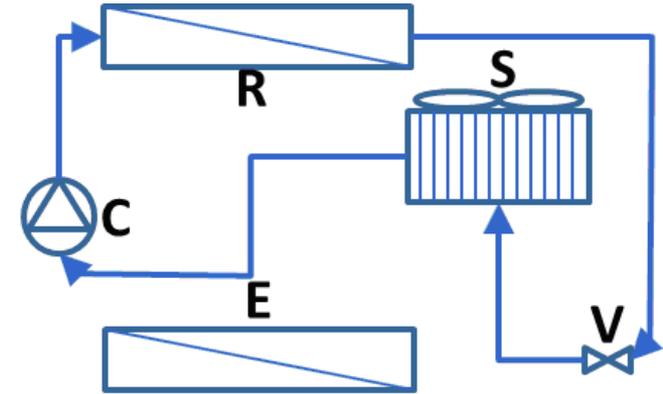
Modalità di funzionamento e indici energetici



FREDDO



RECUPERO



CALDO

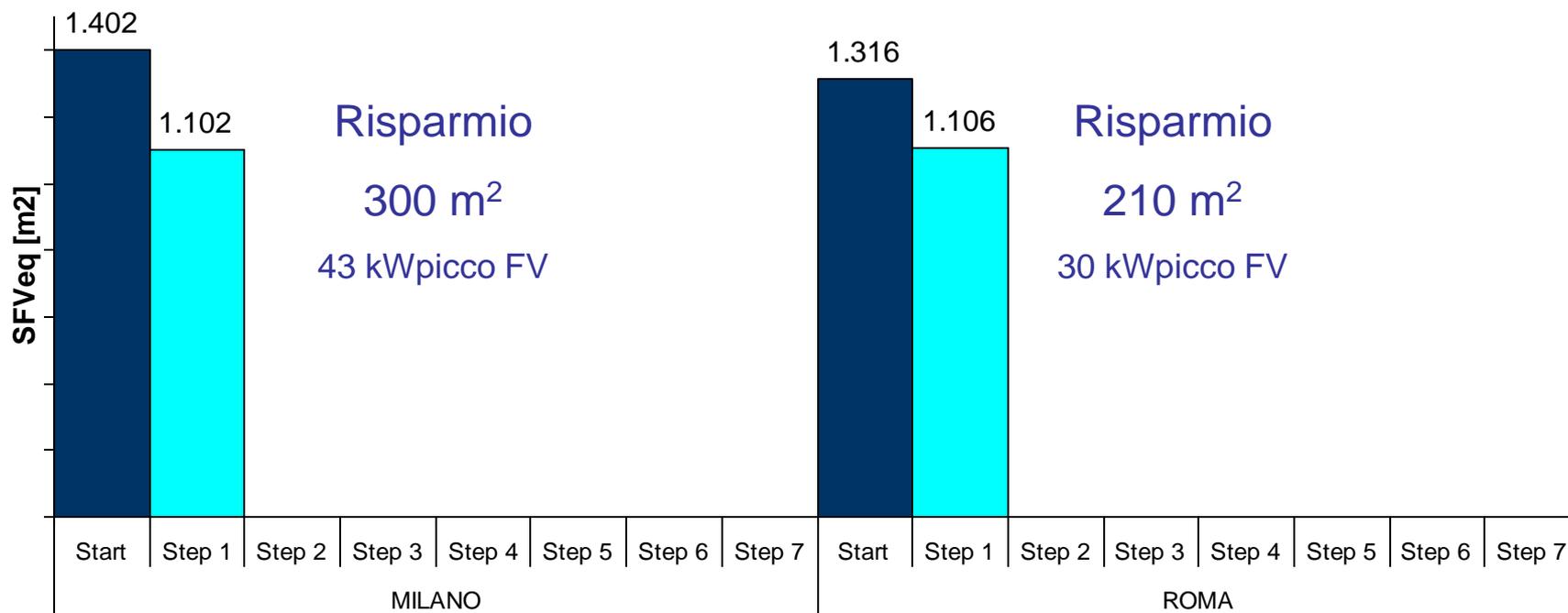
$$EER = \frac{P_E}{P_{Comp} + P_{Aux}}$$

$$TER = \frac{P_E + P_R}{P_{Comp} + P_{Aux}}$$

$$COP = \frac{P_R}{P_{Comp} + P_{Aux}}$$

$$TER = EER + COP$$

Uso polivalenti - uffici



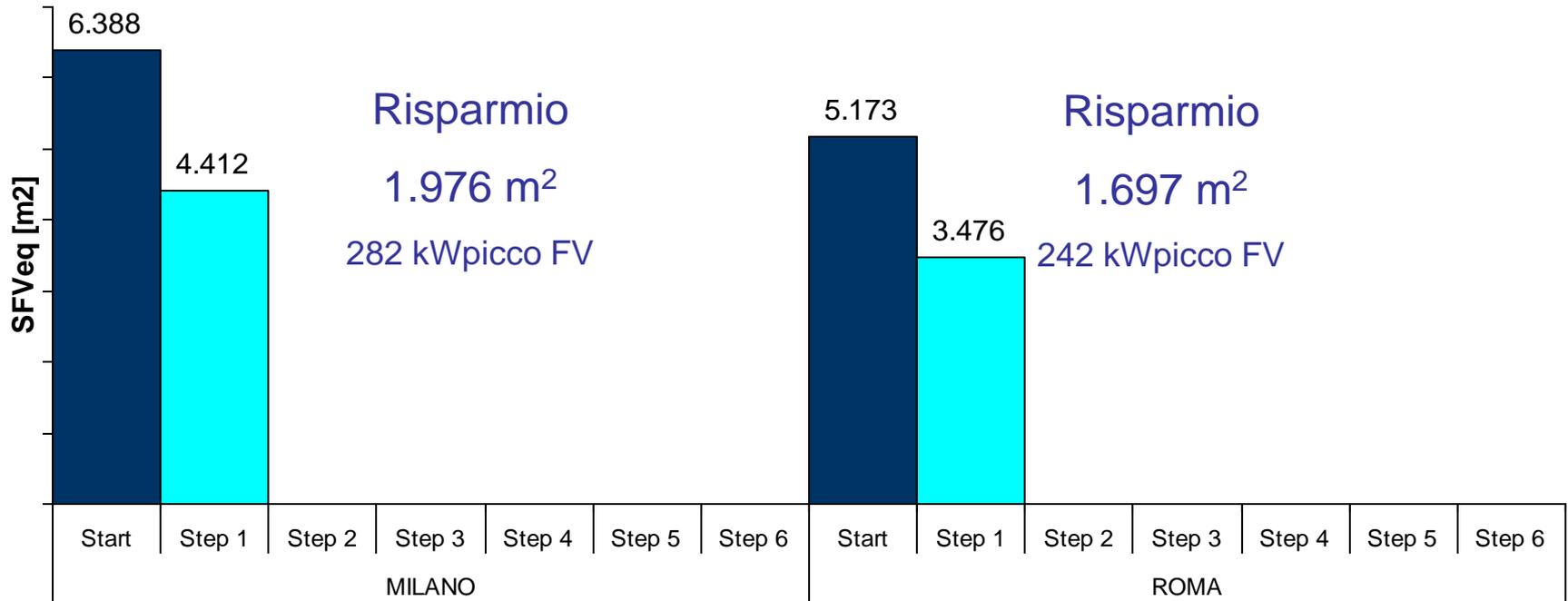
Risparmio economico: Milano 10.500 € Roma 10.150

Costo metano = 0,75 €/m³

Costo EE = 0,20 €/kWh

Uso polivalenti - alberghi

Sulla produzione di acqua sanitaria negli alberghi si torna più avanti



Risparmio economico: Milano 10.150 € Roma 16.500

Costo metano = 0,55 €/m³

Costo EE = 0,17 €/kWh

Il secondo gradino

Riduzione

E_p

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Cosa fare

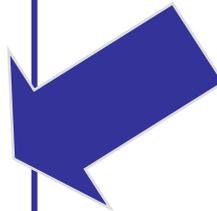
Portata variabile
sul circuito
secondario

Utilizzo di
impianti a portata
variabile sul
circuito primario

Utilizzo sistema
Rhoss a doppia
pompa

Cosa non fare

Utilizzare valvole
di
sovrapressione

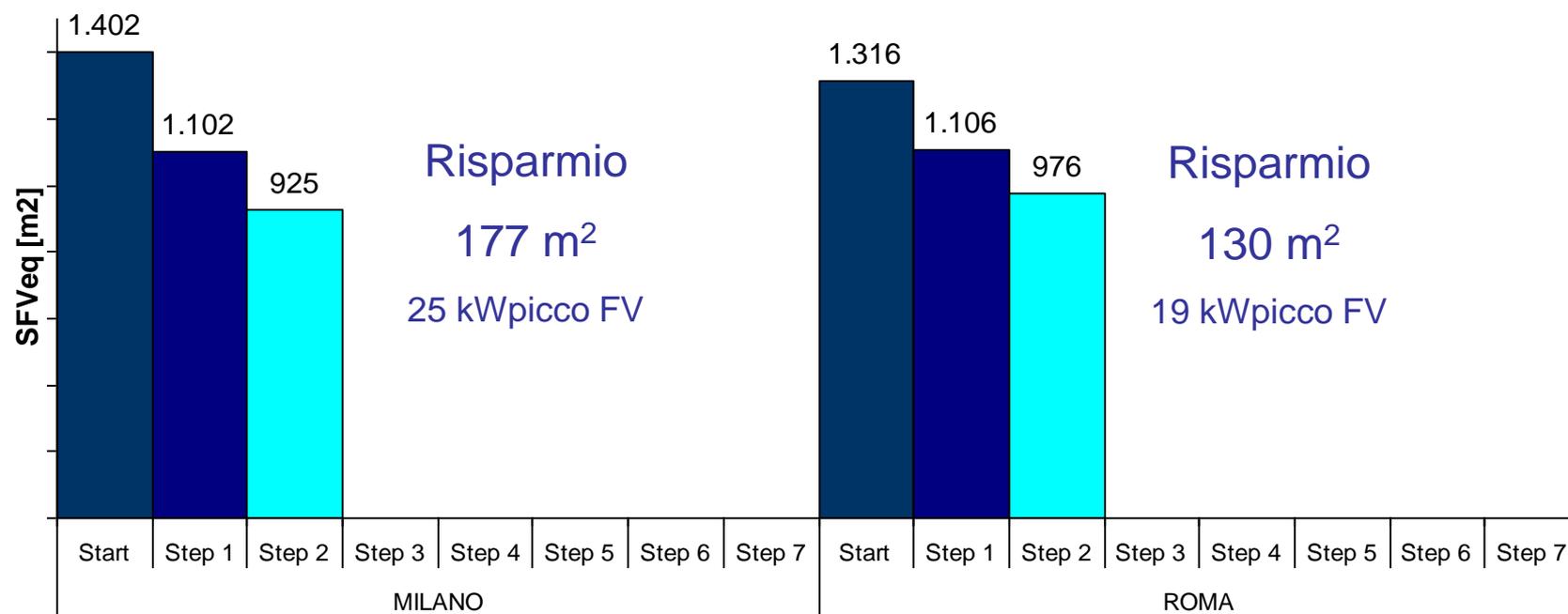


Rischi e esempi

Sottodimensionare
accumulo inerziale

Pendolamenti
della regolazione

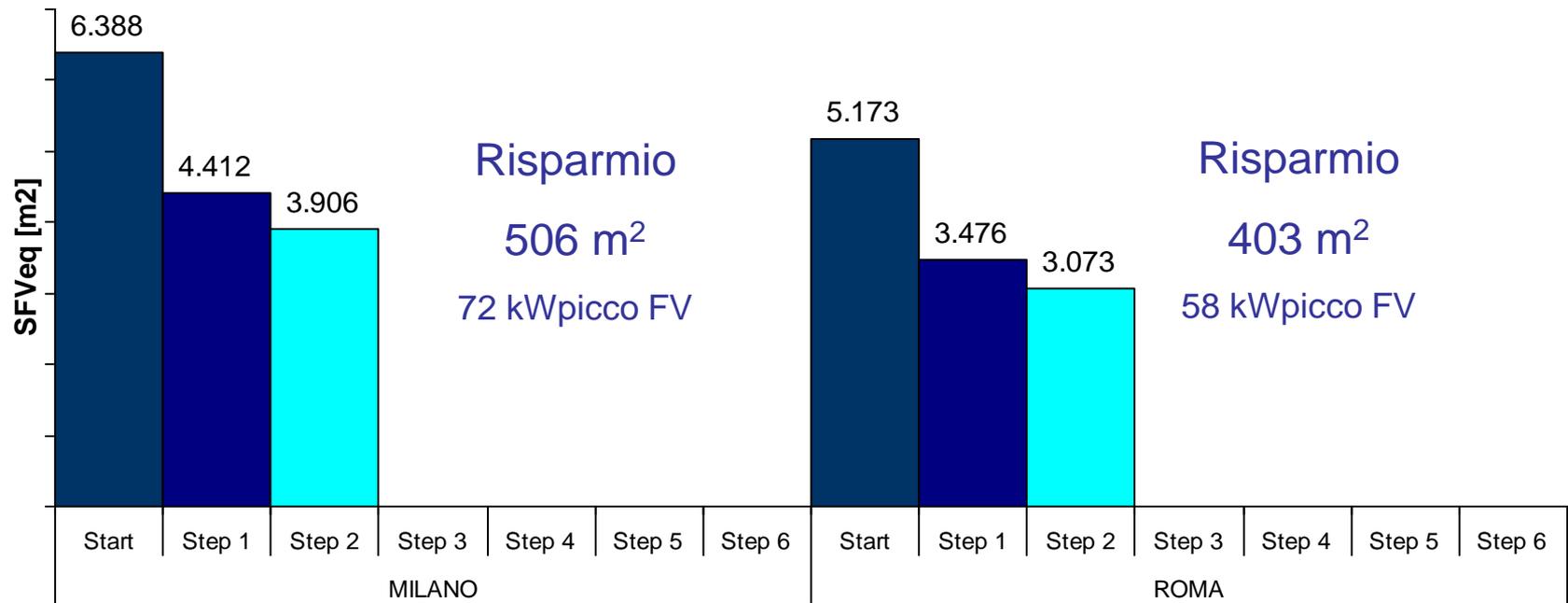
La variazione di portata d'acqua - uffici



Risparmio economico: Milano 5.400 € Roma 4.400

Costo EE = 0,20 €/kWh

La variazione di portata d'acqua - alberghi



Risparmio economico: Milano 13.000 € Roma 11.500

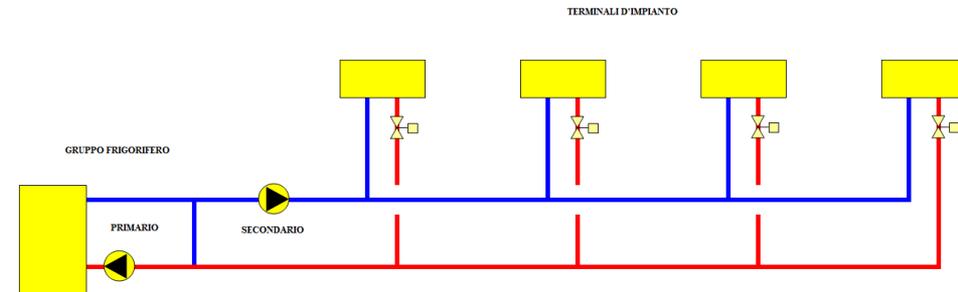
Costo EE = 0,17 €/kWh

Il contenuto d'acqua visto dal gruppo frigorifero negli impianti a portata costante e a portata variabile



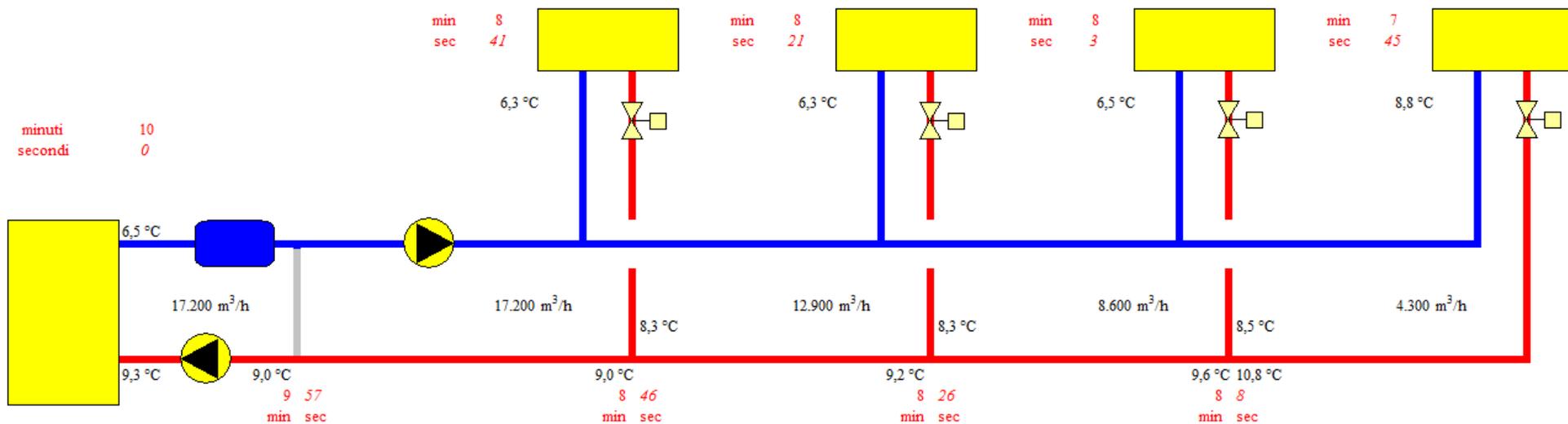
Per capire le problematiche del contenuto d'acqua bisogna immaginarsi il cielo di notte.

La luce delle stelle, quando arriva ai nostri occhi, non è emessa tutta nello stesso istante. La luce riflessa dai pianeti ci arriva in qualche minuto, mentre la luce delle stelle più lontane ci arriva dopo milioni di anni.



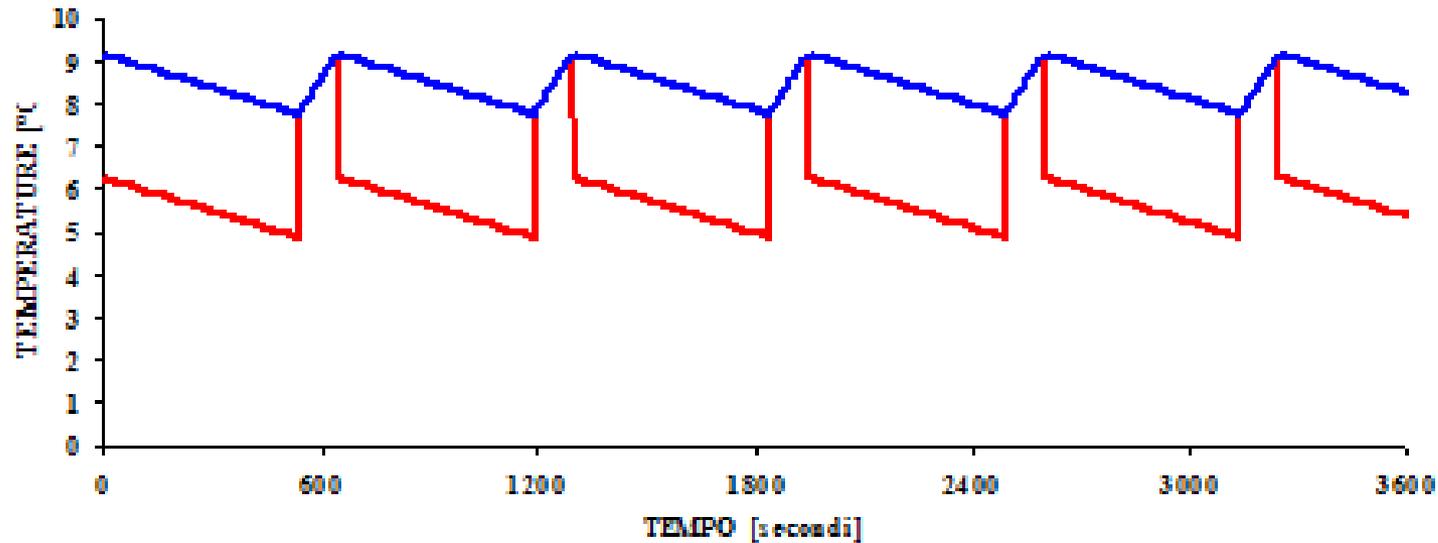
Per analogia, alle stelle si sostituiscono i terminali e allo sguardo umano si sostituisce il gruppo frigorifero.

Il gruppo frigorifero riceve acqua dai vari terminali partita in tempi diversi, quindi a temperatura diversa.



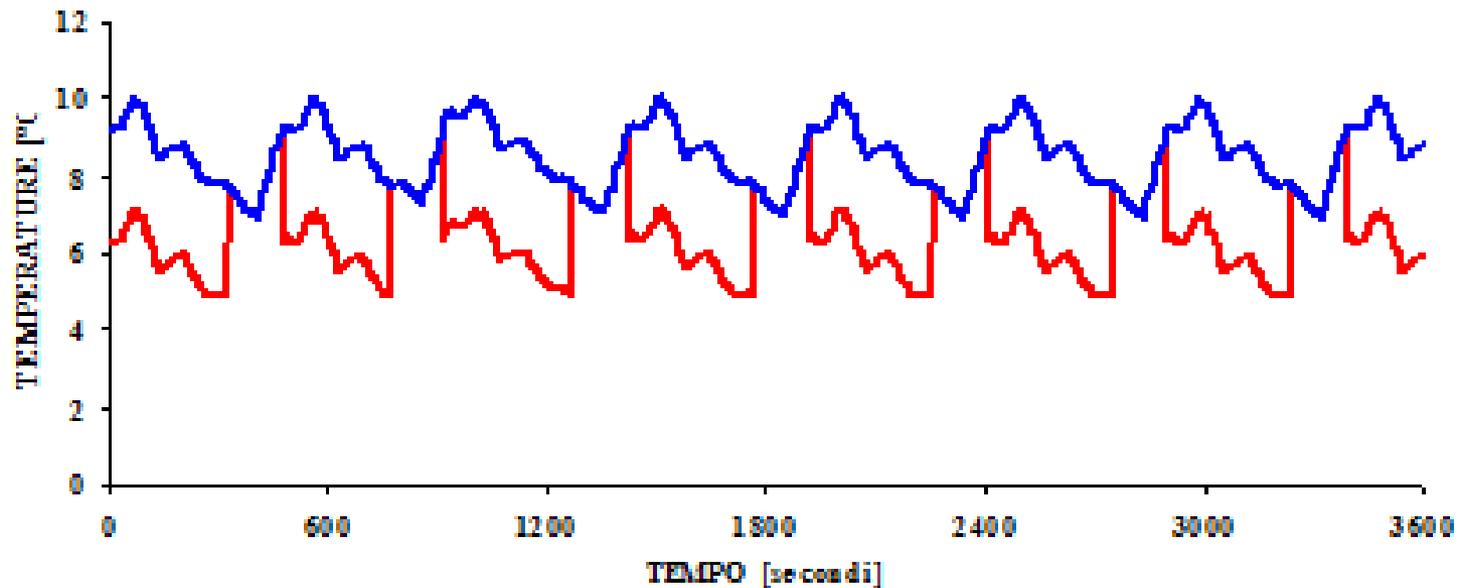
A seconda della lunghezza e del diametro delle tubazioni, della posizione dell'accumulo, della velocità dell'acqua, al gruppo frigorifero ritorna acqua partita in tempi molto diversi.

Si aggiunga anche che, lungo le tubazioni si formano delle miscele tra acqua partita in istanti diversi per qualche secondo, cosa che tende a ridurre gli scarti di temperatura secondo per secondo presenti nel caso teorico.



La figura mostra l'andamento della temperatura di ingresso (blu) e di uscita (rossa) dal gruppo frigorifero (due compressori On – OFF, al 40% del carico) nel caso teorico (acqua arriva allo stesso istante da qualunque punto dell'impianto).

Il numero di avviamenti orari di un compressore è 5,5 e la perdita di efficienza è pari al 2,7%.



L'andamento reale è molto più complesso. Come si vede, al momento in cui il compressore si riavvia, l'acqua di ritorno dall'impianto continua a salire, a causa del flusso di acqua calda proveniente dai terminali più lontani.

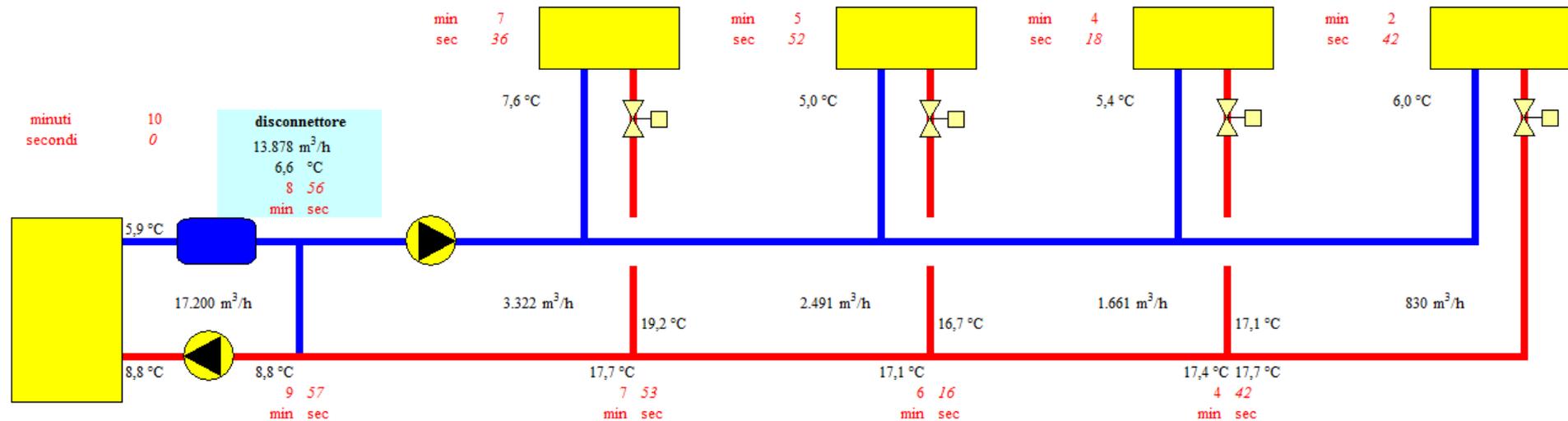
Ciò comporta una modifica nella frequenza degli avviamenti dei compressori: gli avviamenti orari salgono a 7,1 e la perdita di efficienza aumenta al 4%

Comportamento del tutto simile si avrebbe anche con accumulo posto nel secondario.



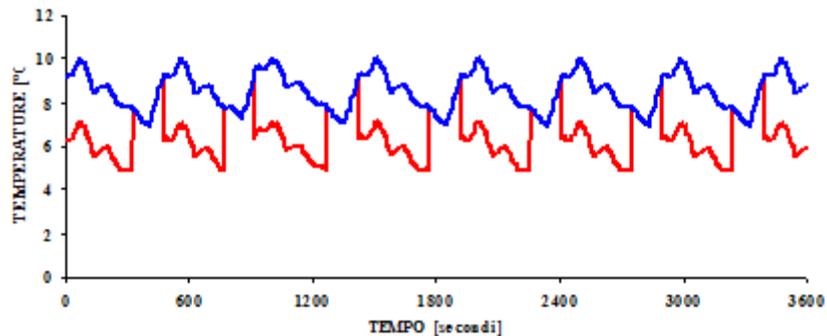
Nel caso della portata variabile bisogna considerare anche la Luna piena.

Monument Valley: a sinistra si vede l'intero universo, a destra neppure una stella. Perché?

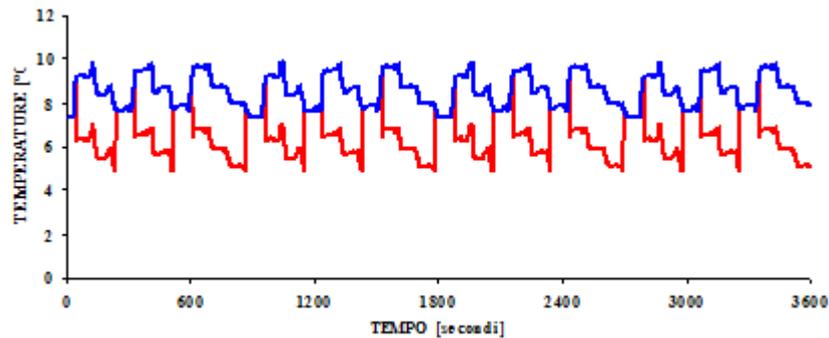


Con gli impianti a portata variabile, la portata del primario è sempre molto maggiore di quella del secondario. Pertanto, la maggior parte della portata passa per il disconnettore. Ecco l'analogia con la luna piena

PORTATA COSTANTE



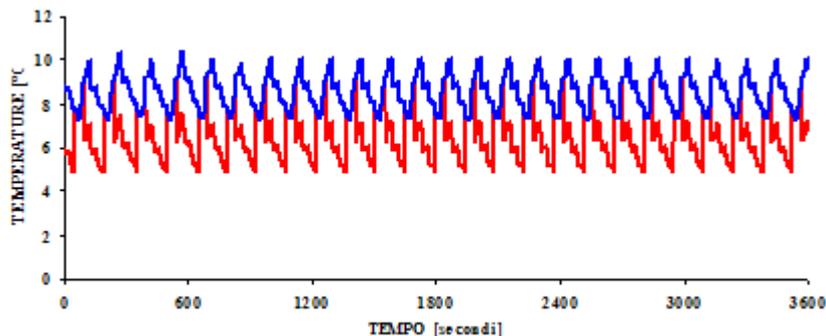
PORTATA VARIABILE (accumulo nel primario)



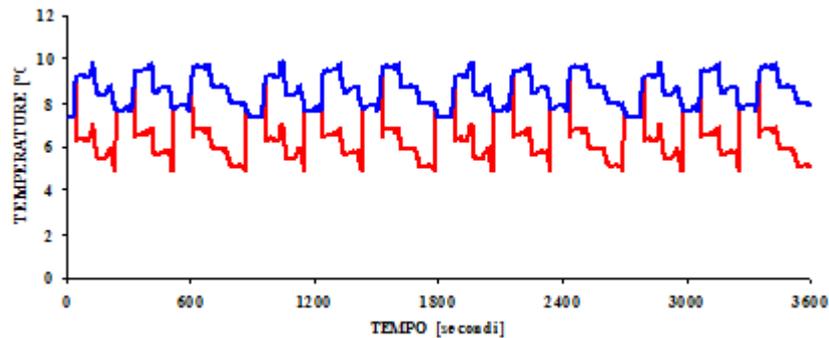
Nella stessa situazione vista in precedenza (macchina con due compressori On – OFF, al 40% del carico) , un impianto a portata variabile sul secondario comporta una perdita di contenuto d'acqua attivo. Il numero di avviamenti orari sale a 10,1 con una perdita di efficienza del 5,4%.

Il gruppo frigorifero vede una la quantità d'acqua del circuito secondario circa proporzionale al rapporto tra portata sul secondario e portata sul primario (il 15%, in questo caso). Inoltre, non tutto il contenuto d'acqua sul primario è visto, per quanto già detto a proposito della portata costante.

PORTATA VARIABILE (accumulo nel secondario)



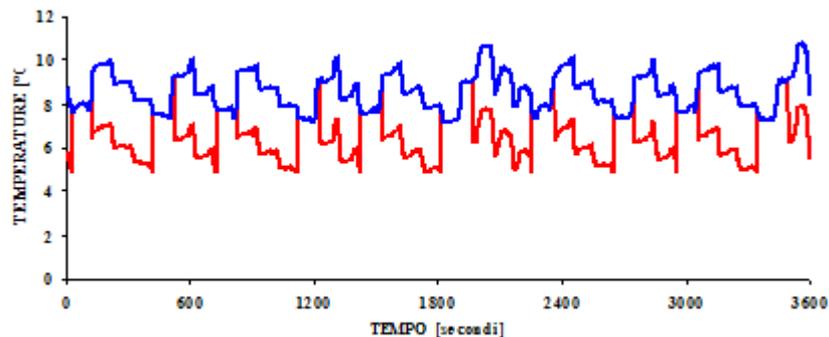
PORTATA VARIABILE (accumulo nel primario)



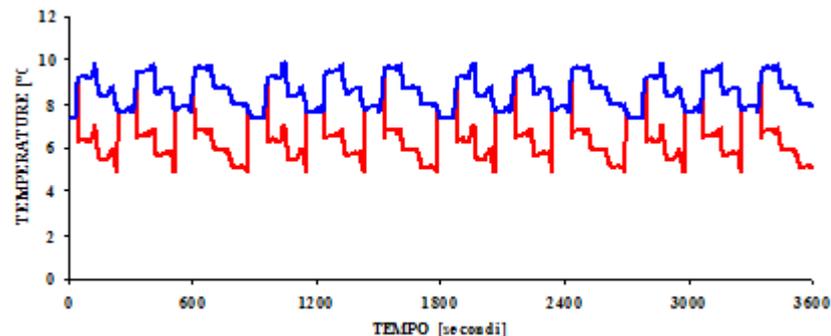
Se il contenuto d'acqua fosse prevalentemente nel secondario (3,75 l/kW contro 1,25 l/kW del primario), la situazione peggiorerebbe drasticamente. Il numero di avviamenti salirebbe a 22,6 per ora (raggiungibile con due compressori: massimo 12 avviamenti ciascuno) e la perdita di efficienza salirebbe a 12,5%.

Il contenuto d'acqua dei secondari non è mai da considerare, quando c'è una portata variabile.

PORTATA VARIABILE (accumulo nel disconnettore)



PORTATA VARIABILE (accumulo nel primario)

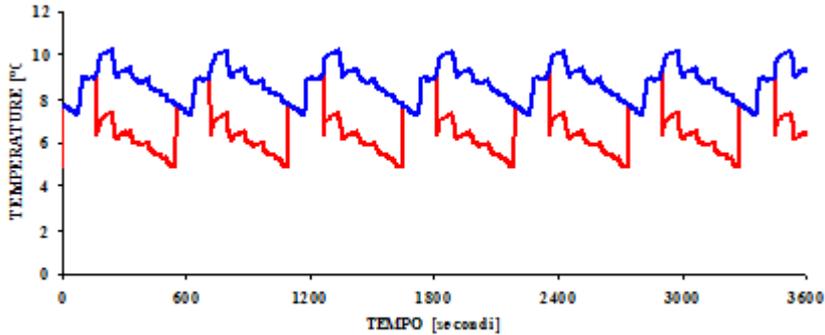


Una possibilità è quella di inserire l'accumulo nel disconnettore tra primario e secondario. La soluzione dà risultati a volte migliori (come in questo caso: 8 avviamenti per ora contro 10,1) e a volte peggiori dell'accumulo sul primario, a seconda delle condizioni di funzionamento.

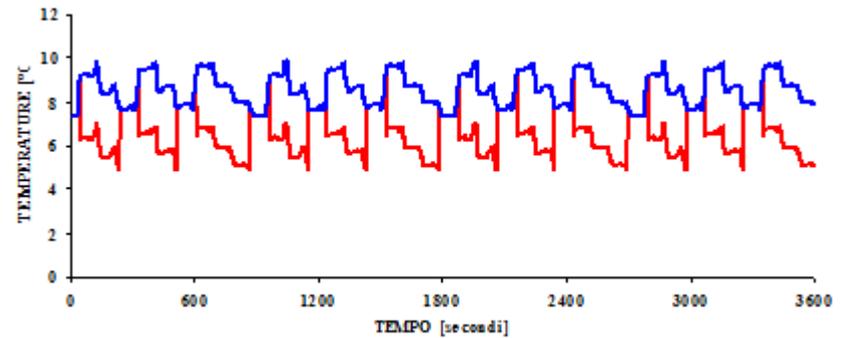
Finora i grafici sono stati costruiti per terminali con valvole tutte a 2 vie. Un miglioramento si avrebbe se almeno il 20% delle valvole fossero a 3 vie,

ACCUMULO NEL PRIMARIO

20% valvole a 3 vie



tutte valvole a 2 vie

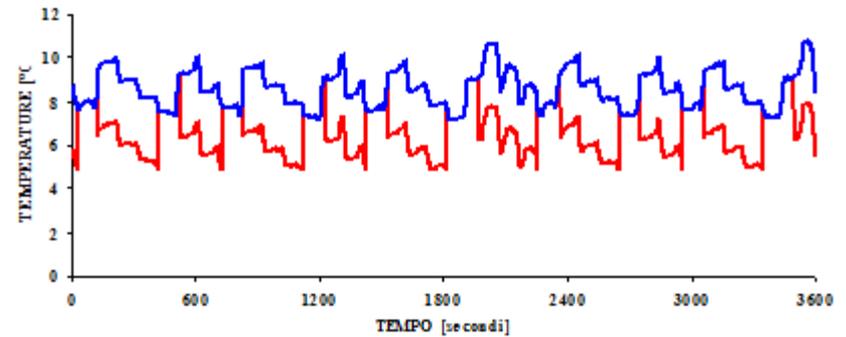
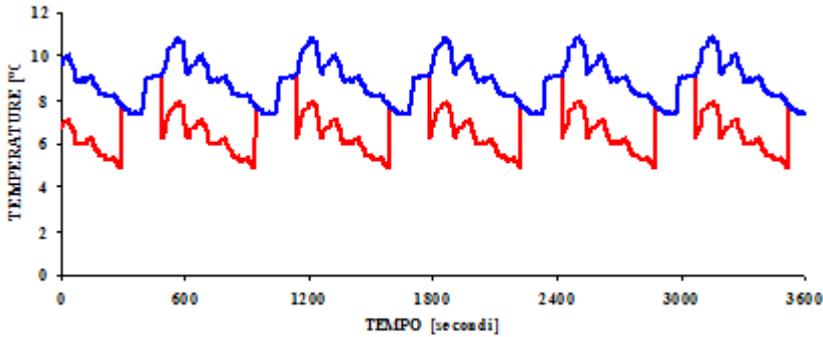


Nel caso di accumulo nel primario gli avviamenti orari si riducono da 10,1 a 6,5, con un netto miglioramento nel funzionamento e nell'efficienza.

ACCUMULO NEL DISCONNETTORE

20% valvole a 3 vie

tutte valvole a 2 vie



Nel caso di accumulo nel disconnettore gli avviamenti orari si riducono da 8 a 5,6.

LA PORTATA VARIABILE NEI CIRCUITI IDRAULICI

Una delle più grandi leggende metropolitane sugli impianti a portata variabile è che la potenza varia con il cubo della portata d'acqua.

Come tutte le leggende nasce da una **interpretazione parziale** della fisica.

POTENZA POMAGGIO
varia linearmente con
portata e prevalenza

pompaggio

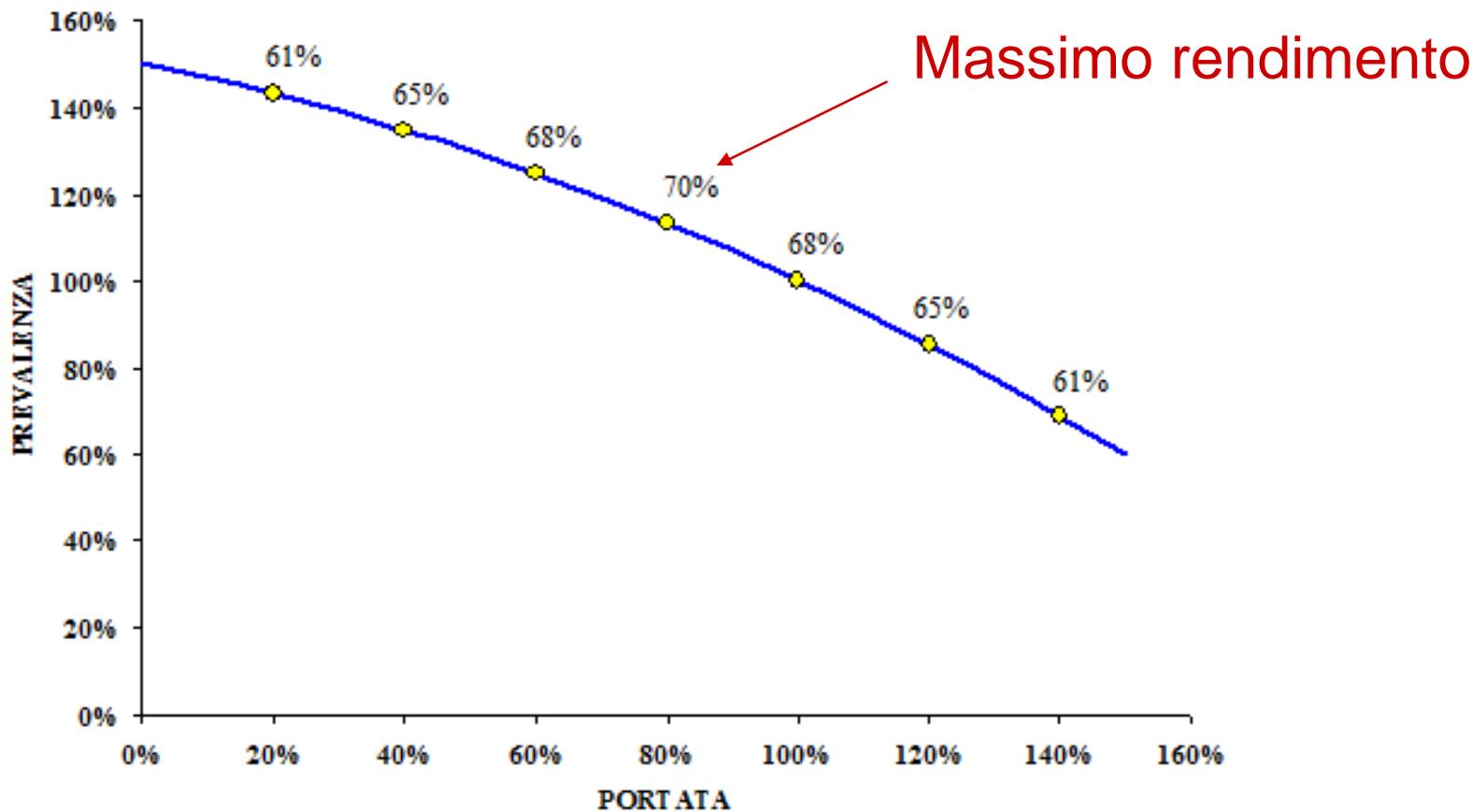
$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta}$$

- P potenza di pompaggio
 ρ densità del fluido
g accelerazione di gravità
Q portata volumetrica del fluido
H prevalenza
 η rendimento della pompa

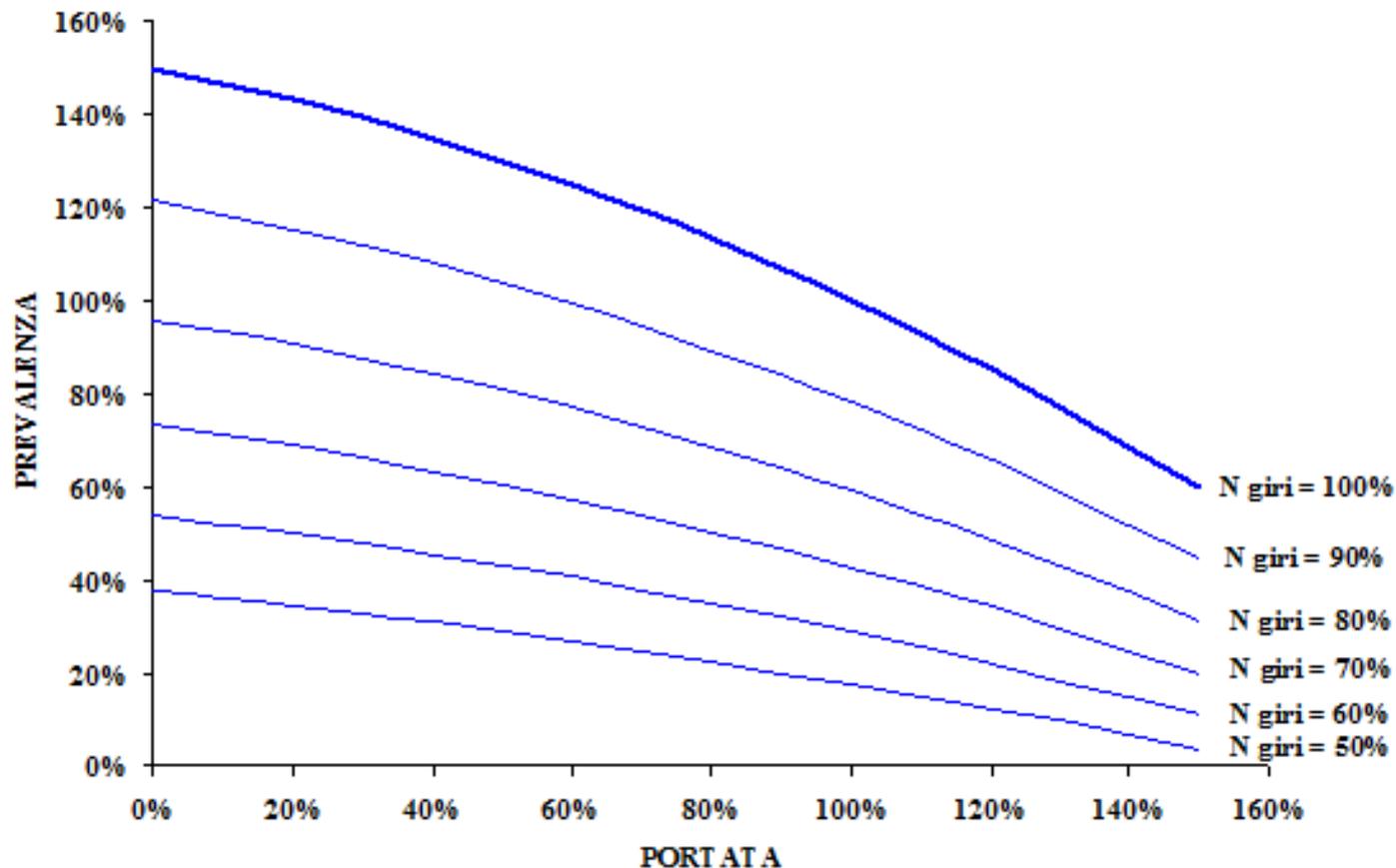
$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta} = \frac{\rho g kn yn^2}{\eta} = \frac{\rho g ky}{\eta} n^3$$

Vista così, la fisica sembrerebbe confermare la leggenda: la portata di una pompa varia linearmente con il numero di giri n , mentre la prevalenza varia con il quadrato. Quindi, la potenza di pompaggio non può che variare con il cubo del numero di giri.

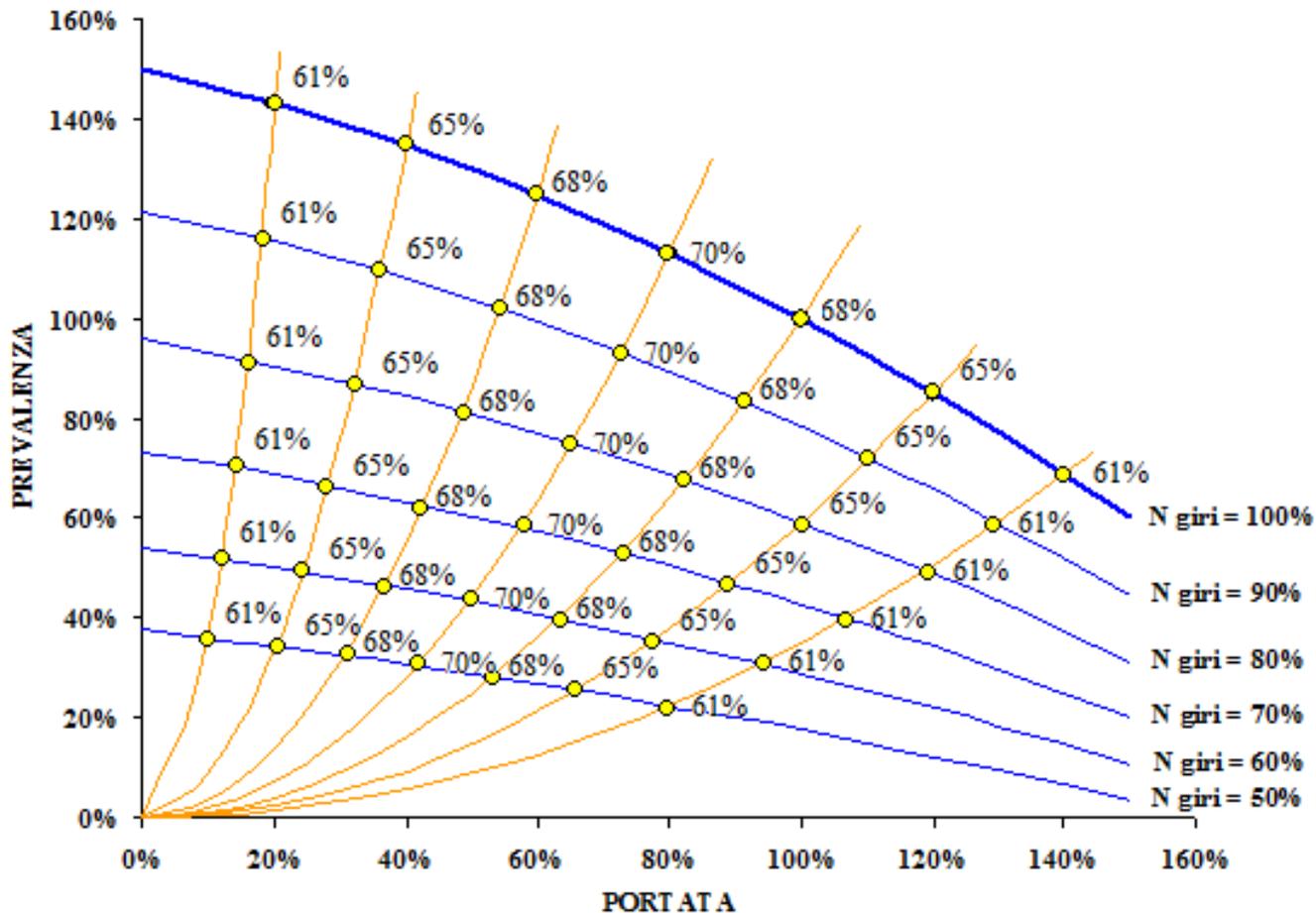
Allora, perché la leggenda è, appunto, una leggenda?



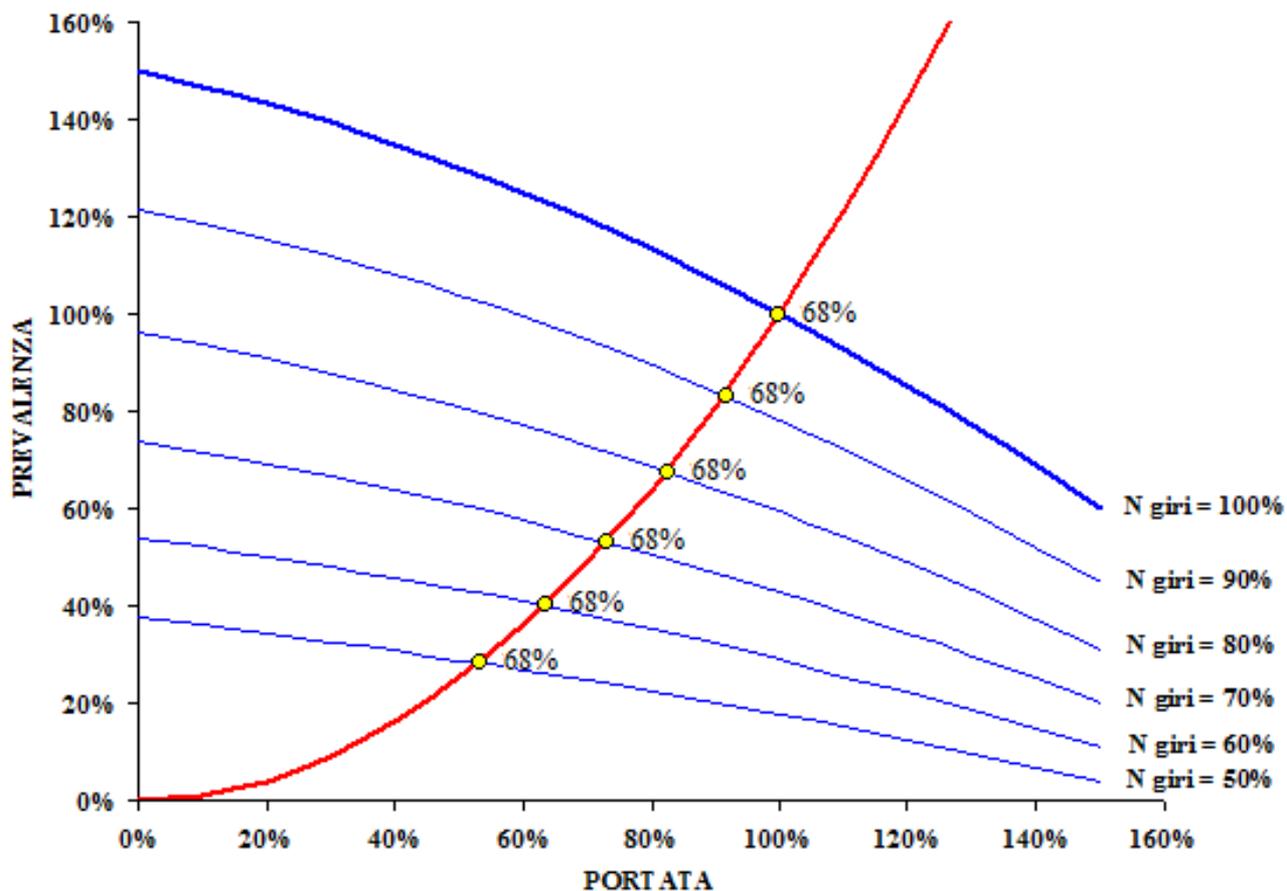
Come prima cosa bisogna valutare il rendimento il rendimento della pompa al variare della portata d'acqua al 100% de numero di giri (punti gialli). Il rendimento è massimo in un determinato punto e si riduce tanto più quanto ci si allontana da questo.



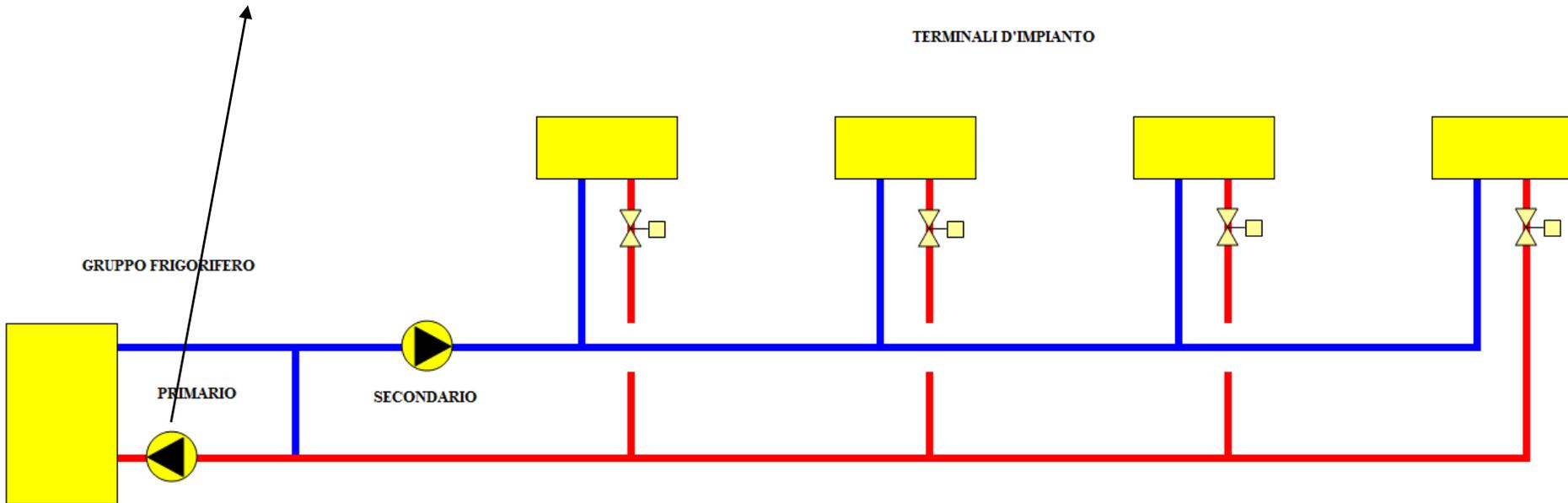
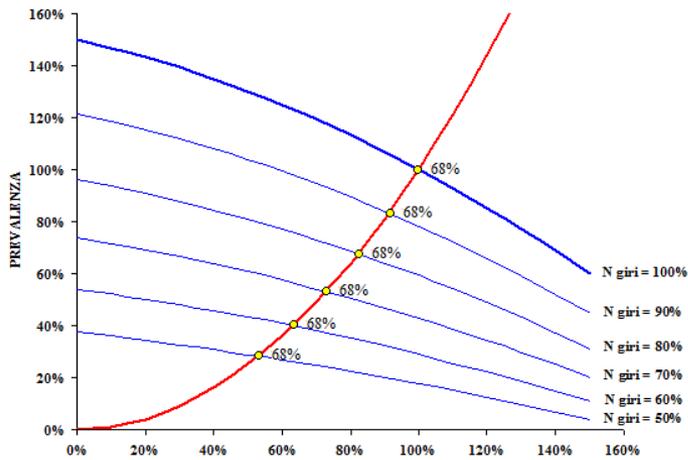
Al variare del numero di giri, le curve della pompa si appiattiscono, proprio perché la portata varia linearmente con la portata e la prevalenza con il quadrato.



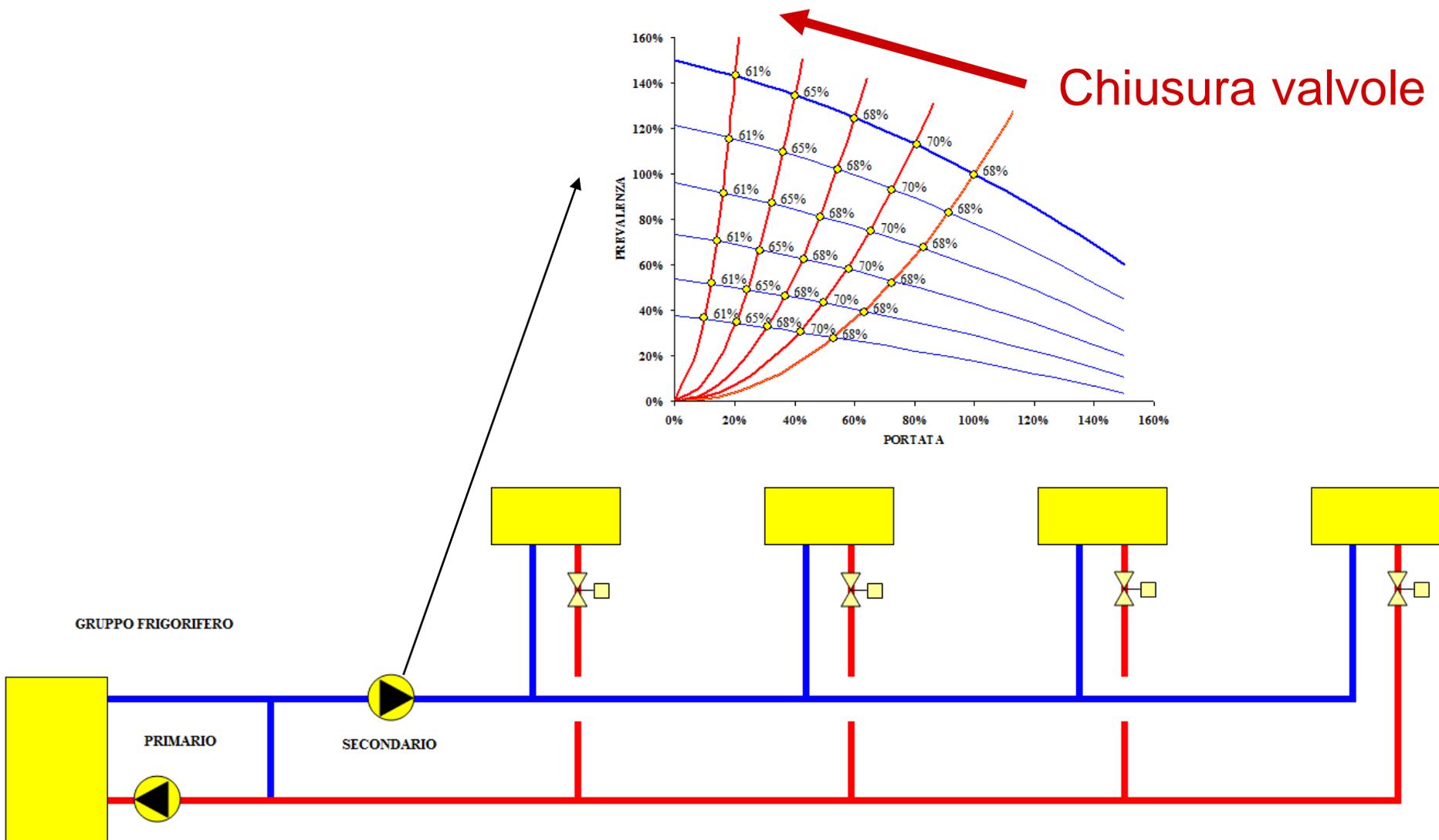
Il rendimento rimane costante lungo delle curve, funzione del quadrato della portata.



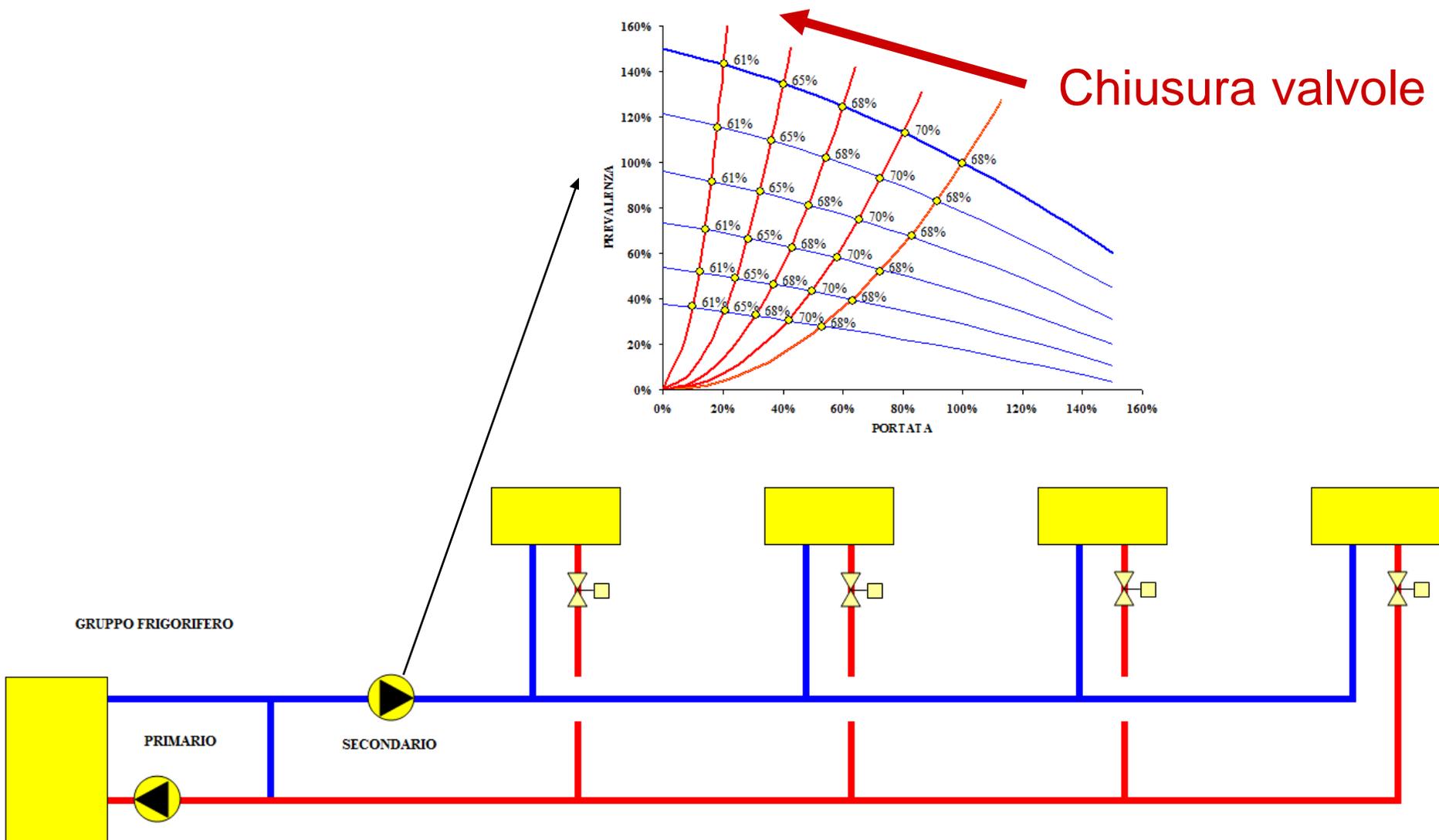
Anche la curva resistente del circuito varia con il quadrato della portata. Quindi, se la portata d'acqua varia e la geometria del circuito rimane inalterata, **la potenza della pompa varia esattamente con il cubo della portata d'acqua**



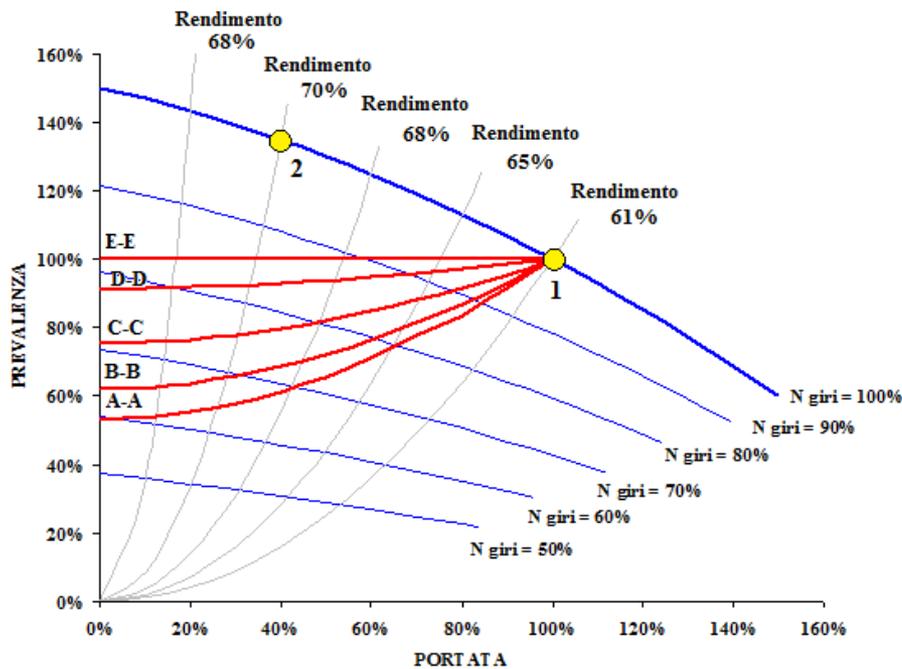
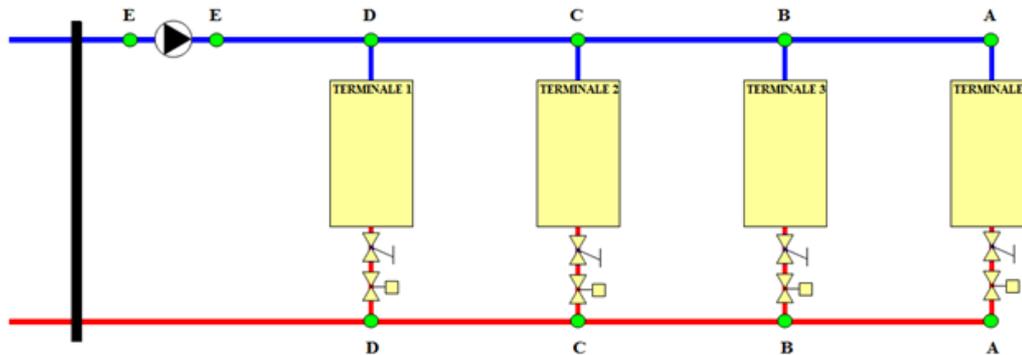
E' una situazione reale solo nel circuito primario, se la portata viene fatta variare regolando il numero di giri della pompa, perché la geometria del circuito non varia.



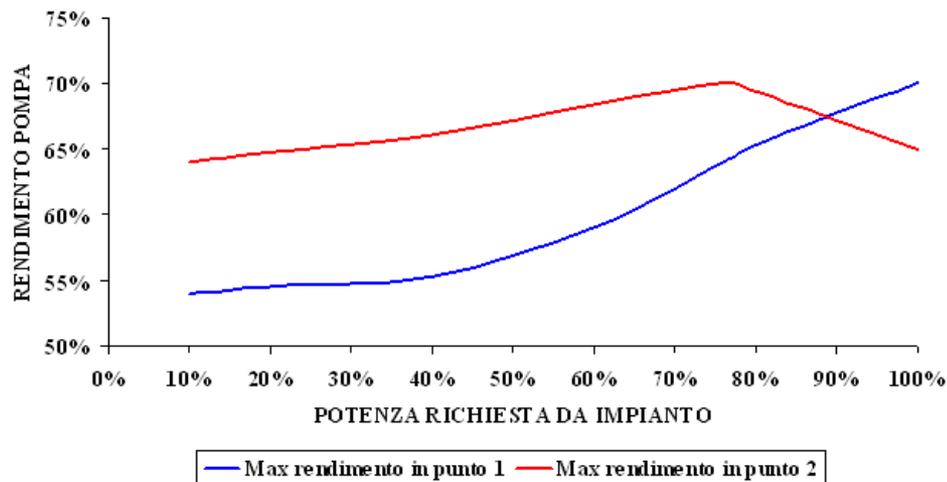
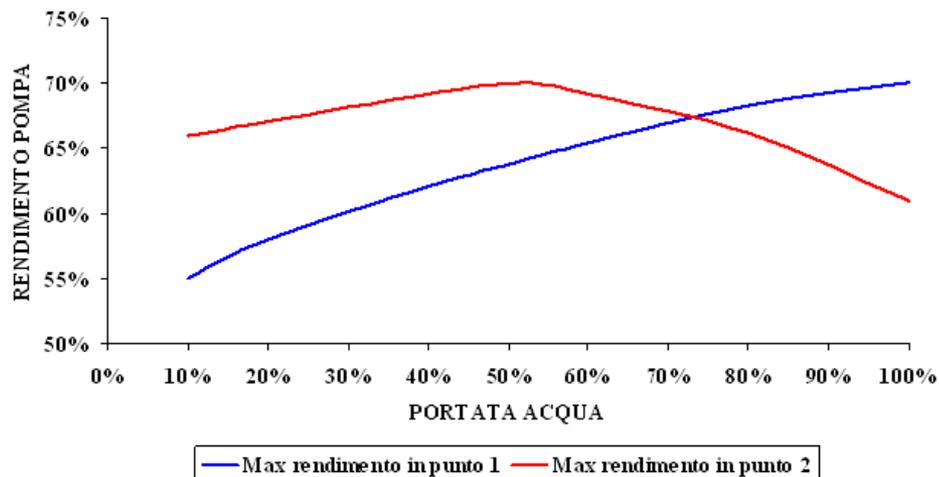
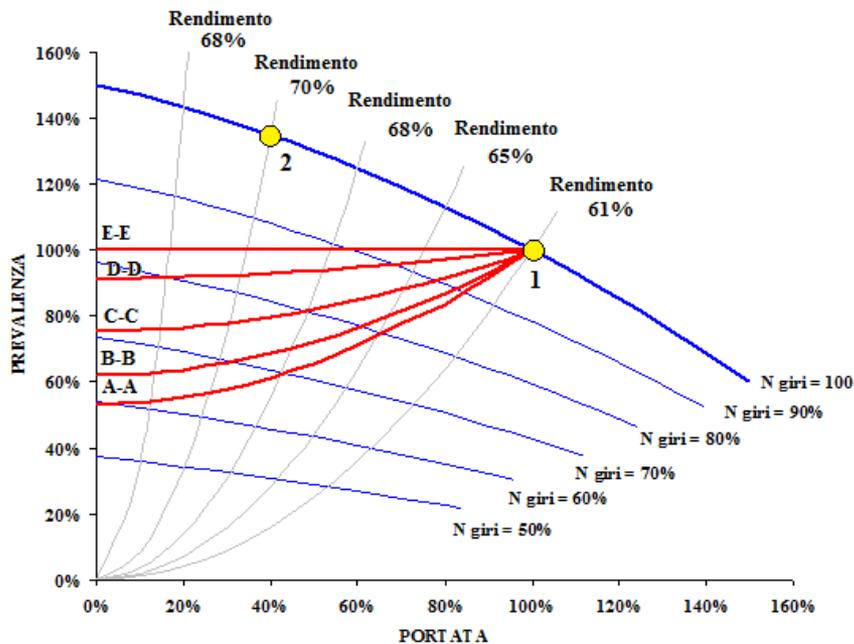
Nel circuito secondario, invece, per ridurre la portata d'acqua, le valvole chiudono, la geometria del circuito si modifica e la curva resistente si sposta verso sinistra.



Di conseguenza, al ridursi della portata varia sia la prevalenza che il rendimento. In funzione di cosa si capisce nelle prossime diapositive.



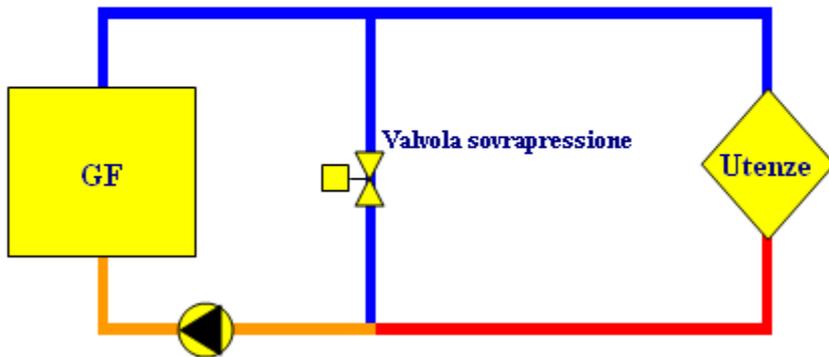
L'andamento reale della potenza dipende da come controllo il numero di giri della pompa e da come la scelgo



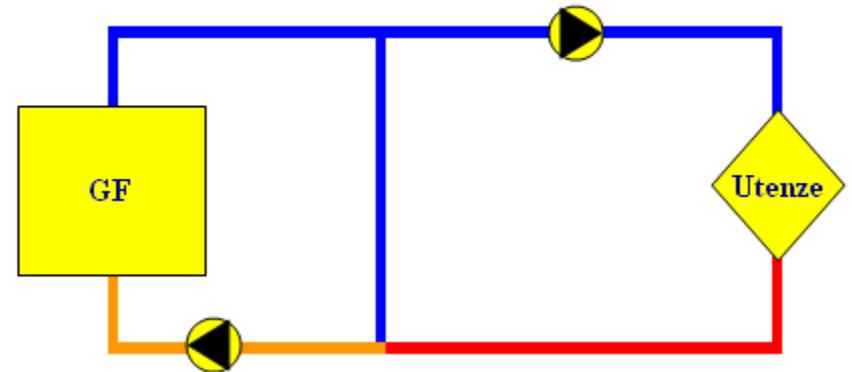
L'andamento del rendimento reale dipende da dove ho scelto il punto massimo rendimento della pompa. Le figure a destra mostrano il rendimento con controllo in A-A

Ci sono due modi per ottenere un circuito primario a portata variabile
con 1 pompa + valvole di sovrappressione
con 2 pompe
Il secondo è sempre il migliore sia dal punto di vista energetico che della
sicurezza

1 pompa con valvola di sovrappressione



2 pompe, entrambe a portata variabile

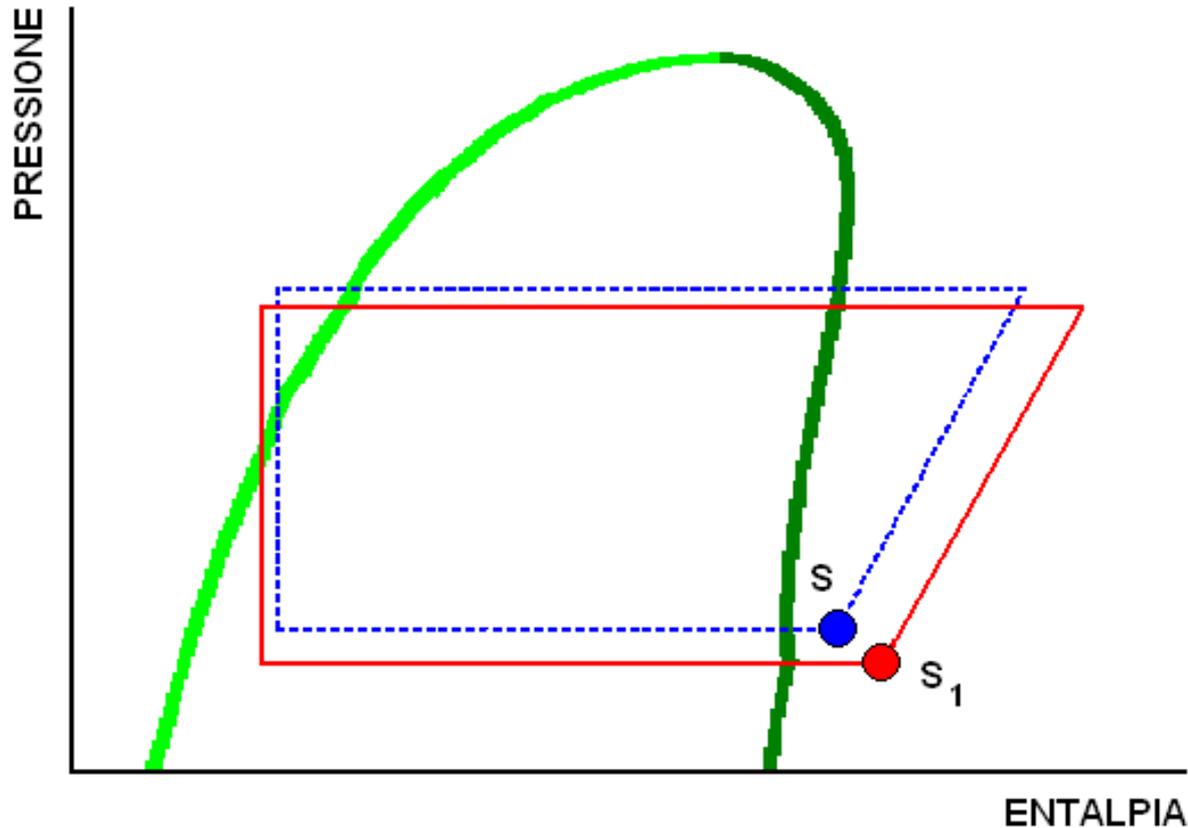


Si può variare la portata nel gruppo frigorifero?

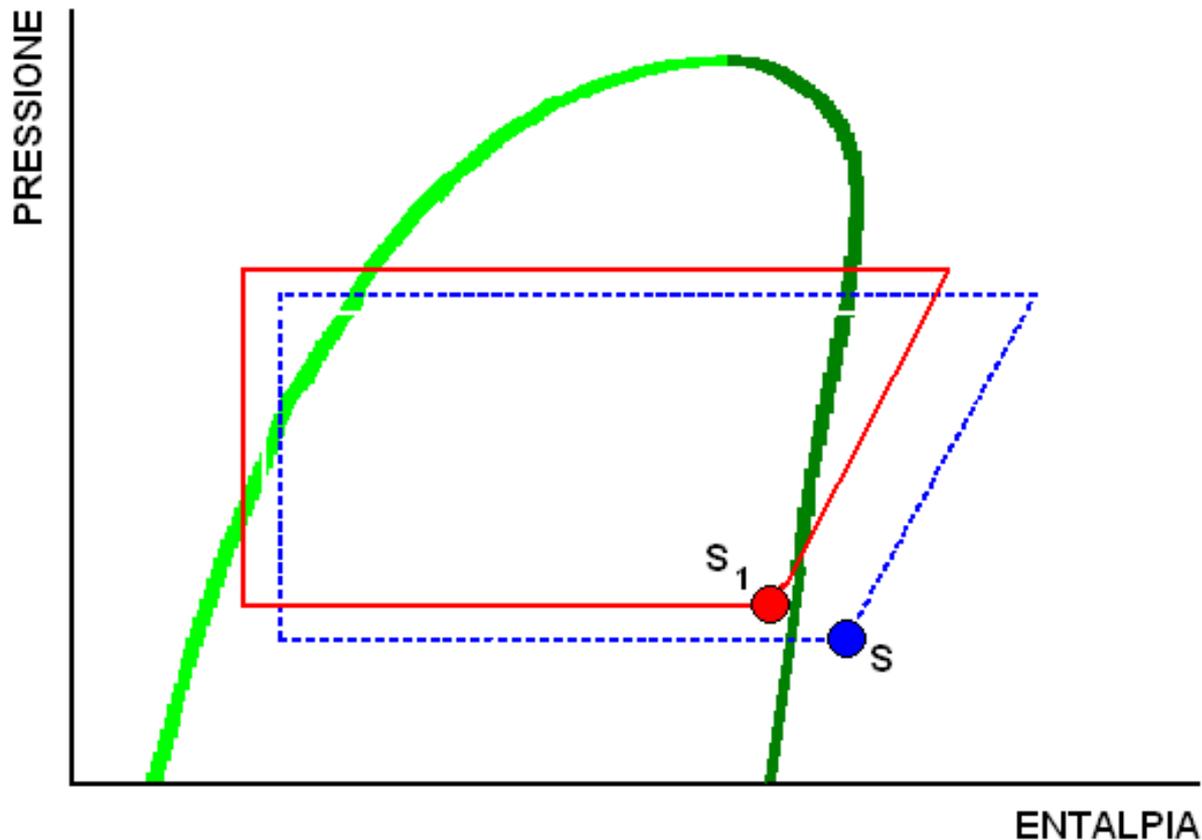
Sempre, se il gruppo frigorifero è fermo, almeno entro un certo campo (definito meglio dopo).

Il problema è farlo con macchina in funzione perché si rischia di far tornare liquido al compressore.

La variazione di portata può essere in aumento o in diminuzione



Una variazione di portata d'acqua in aumento è poco pericolosa: l'evaporatore aumenta lo scambio per cui istantaneamente il ciclo frigorifero passa dal diagramma blu a quello rosso. Il surriscaldamento aumenta (il punto S_1 è più distante dalla campana rispetto al punto S).



Una variazione di portata d'acqua in diminuzione è molto più pericolosa: l'evaporatore diminuisce lo scambio per cui istantaneamente il ciclo frigorifero passa dal diagramma blu a quello rosso. Il surriscaldamento diminuisce e il punto S_1 può finire all'interno della campana, generando ritorni di liquido.

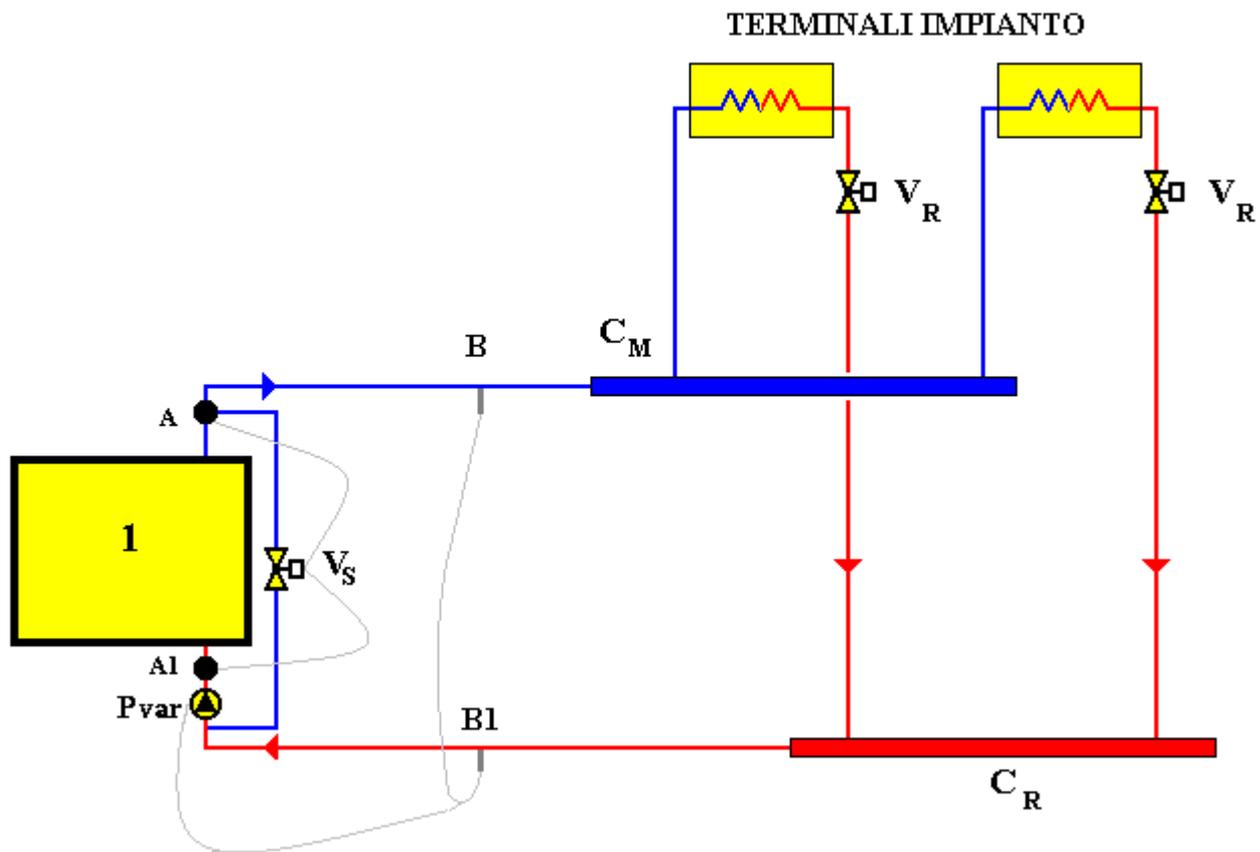
Come si varia la portata ad un gruppo frigorifero in funzione?

Si devono rispettare alcune regole

- 1) La portata non deve mai scendere sotto un valore limite (40% - 50% della nominale)
- 2) La variazione deve essere sufficientemente lenta per consentire alla valvola termostatica di agire

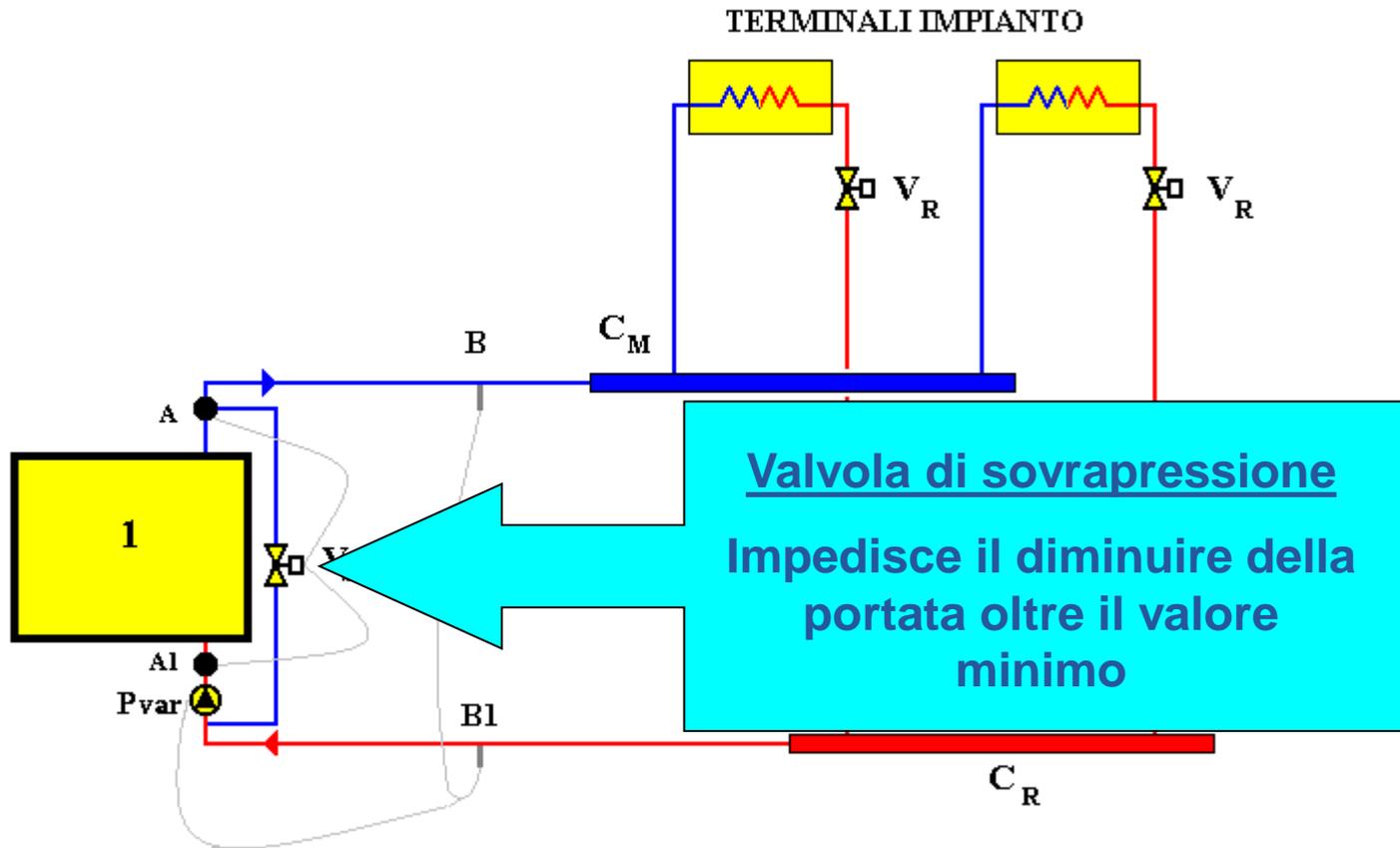
Bisogna ricordare che:

- 1) La variazione di portata del 50% si ha già in corrispondenza del 75-80% della potenza richiesta dall'impianto
- 2) La variazione di portata comporta una variazione del salto termico ΔT nell'evaporatore. Vanno reimpostati automaticamente i parametri della regolazione



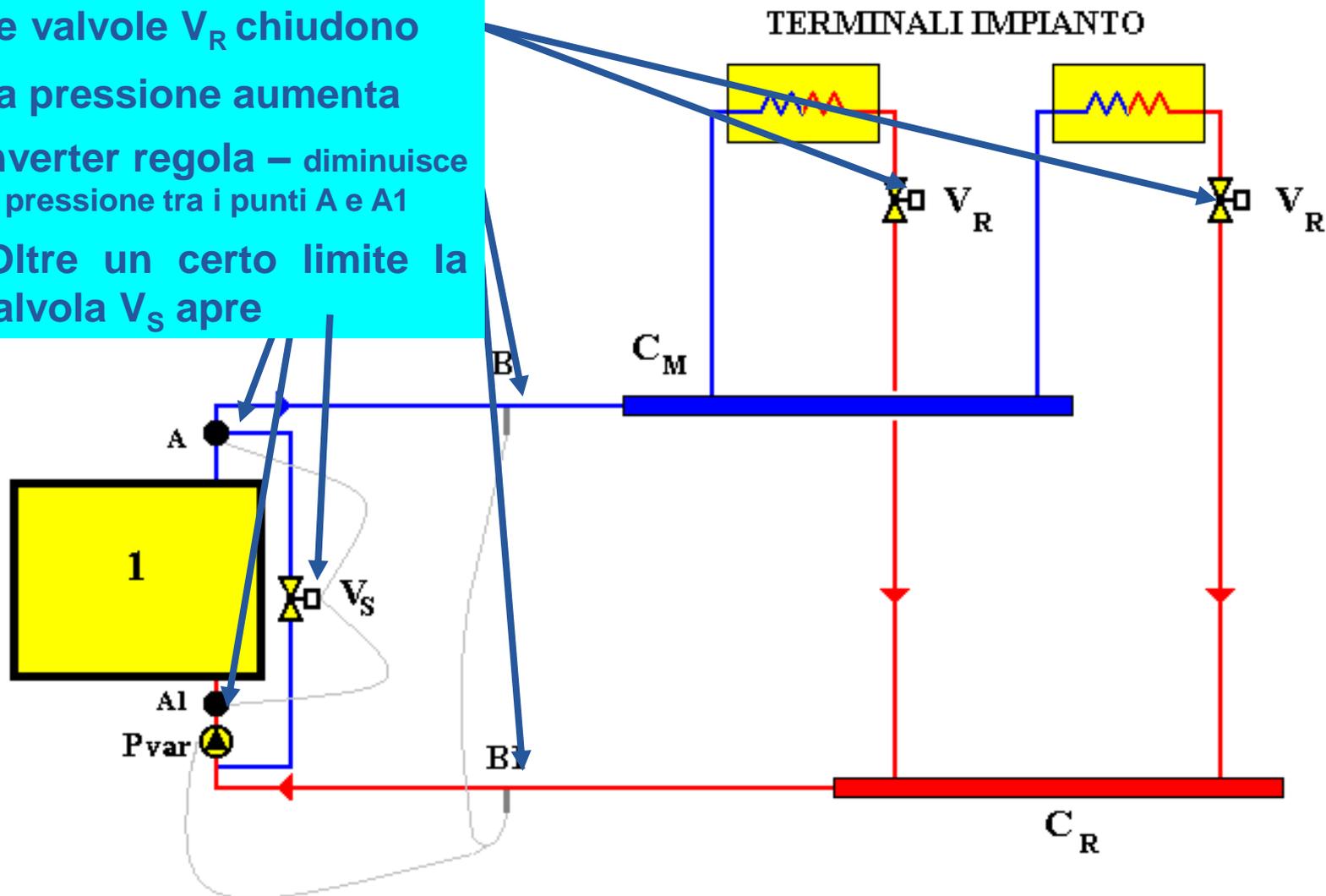
Nelle soluzioni con una sola pompa la variazione di portata sul circuito primario si ottiene inserendo una valvola di sovrappressione.

1 gruppo frigorifero



SEQUENZA REGOLAZIONE

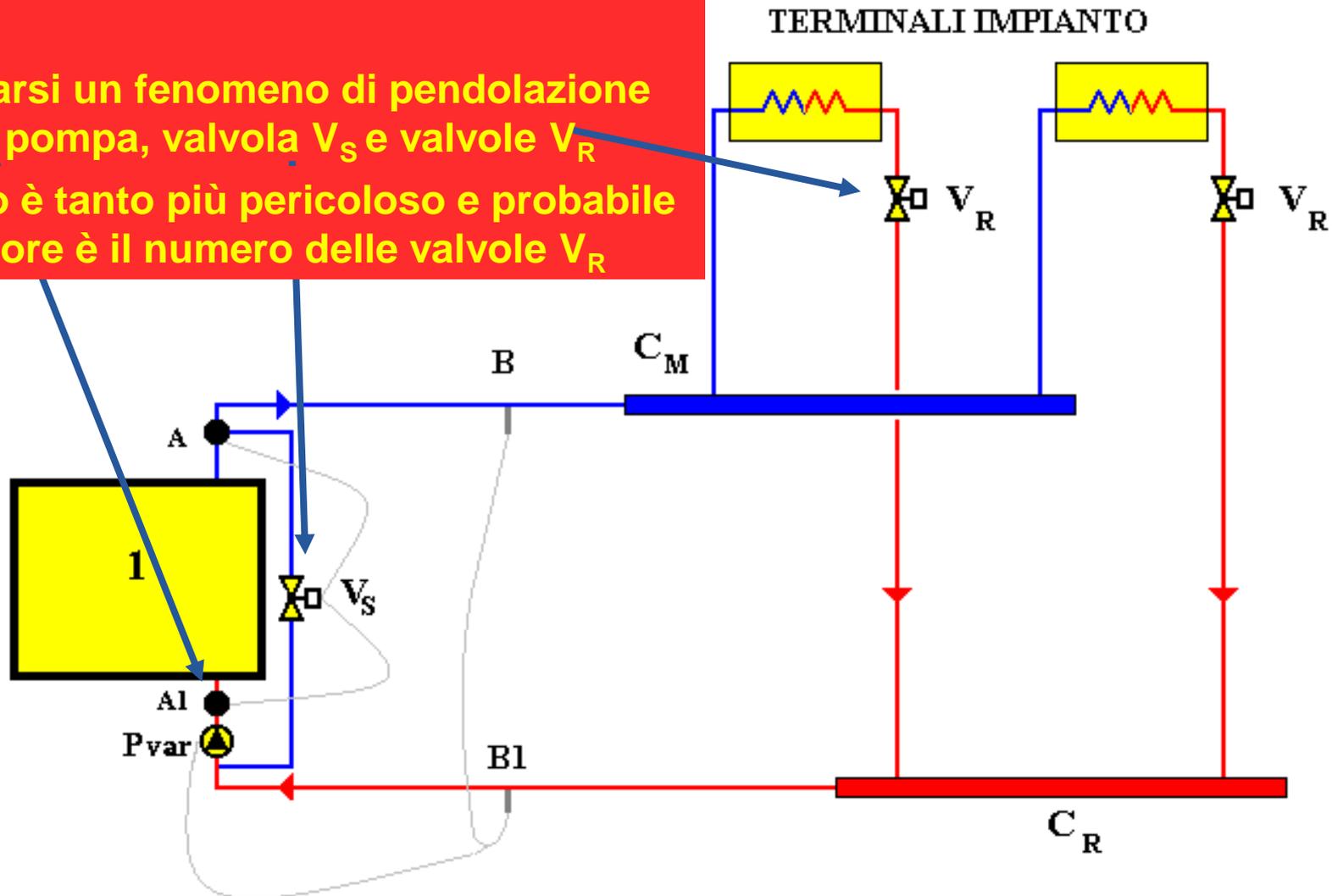
- 1) Le valvole V_R chiudono
- 2) La pressione aumenta
- 3) Inverter regola – diminuisce la pressione tra i punti A e A1
- 4) Oltre un certo limite la valvola V_S apre



SEQUENZA REGOLAZIONE

PERICOLO

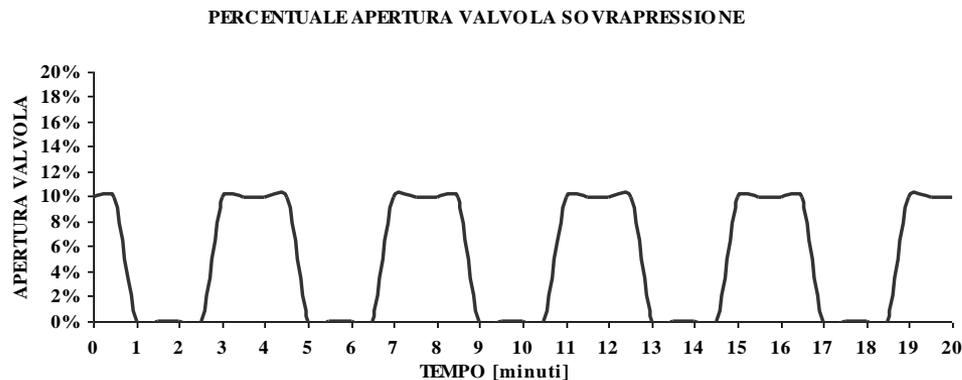
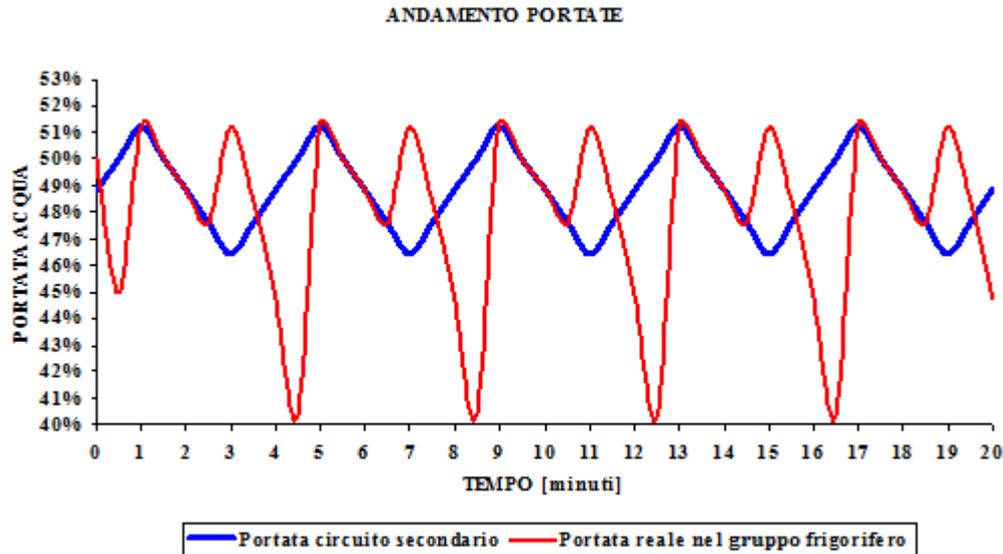
Può innestarsi un fenomeno di pendolazione tra inverter pompa, valvola V_S e valvole V_R
Il fenomeno è tanto più pericoloso e probabile quanto minore è il numero delle valvole V_R



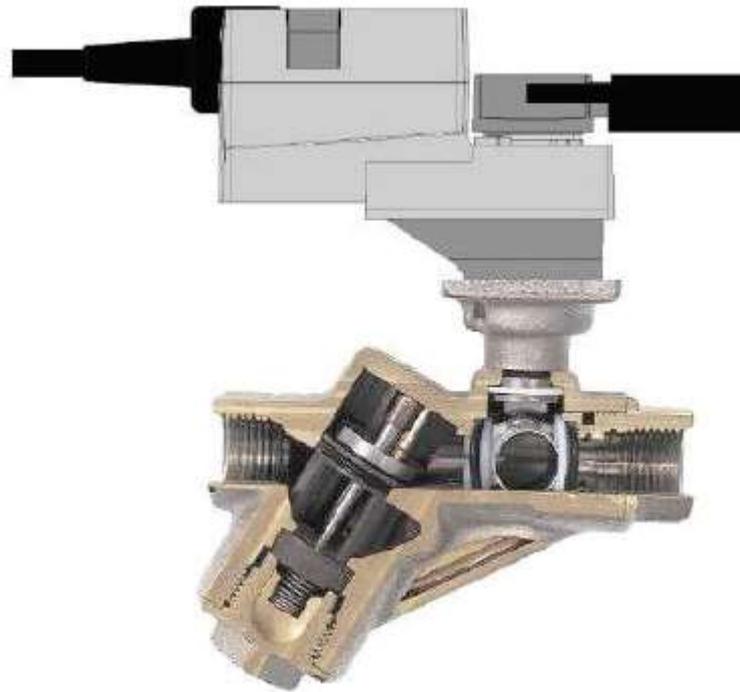
L'oscillazione di portata in un impianto è fisiologica

VISUALIZZAZIONE ATTRAVERSO SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Gli effetti sono quelli mostrati di una perdita di controllo della portata nel gruppo frigorifero



E' importante usare valvole pressure independent



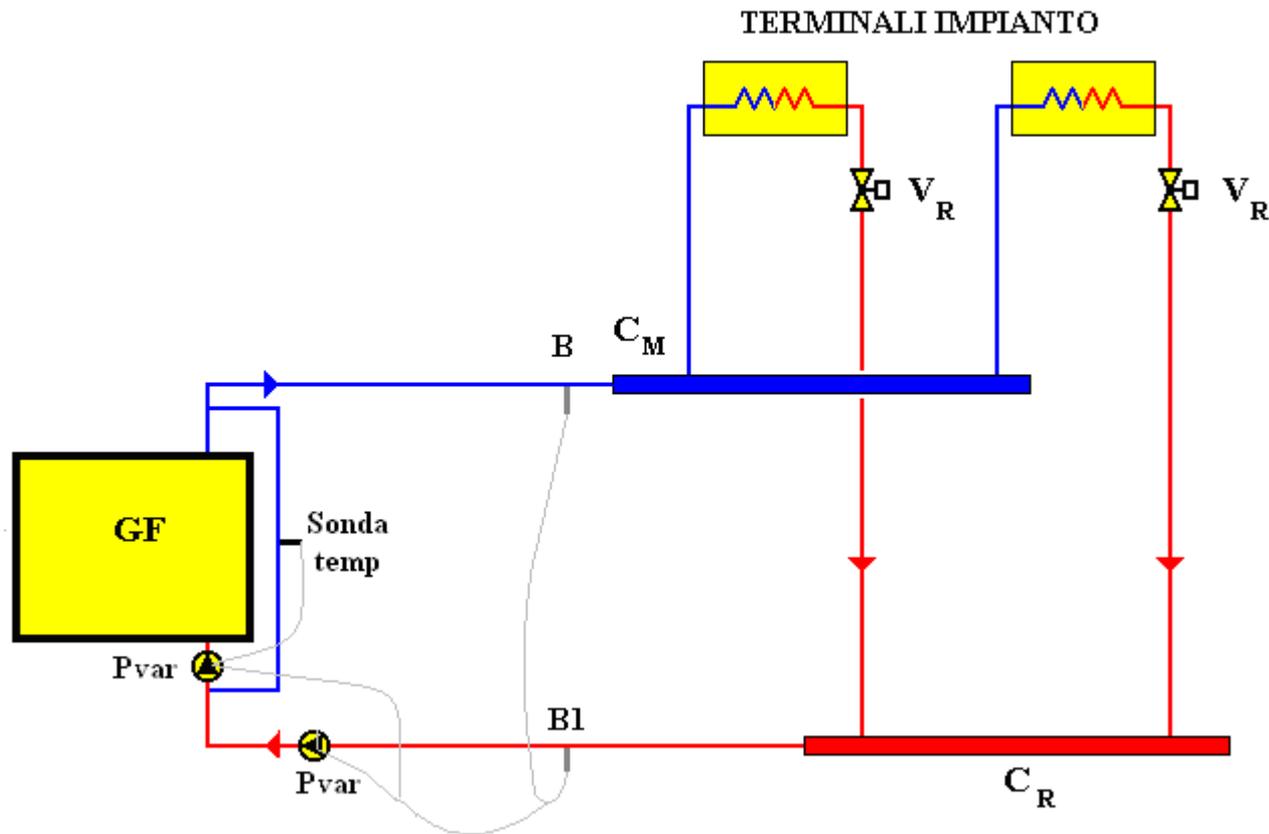
**VISUALIZZAZIONE ATTRAVERSO SOFTWARE DI
SIMULAZIONE**

E' fondamentale l'autorità della valvola e dove e come si controlla la temperatura

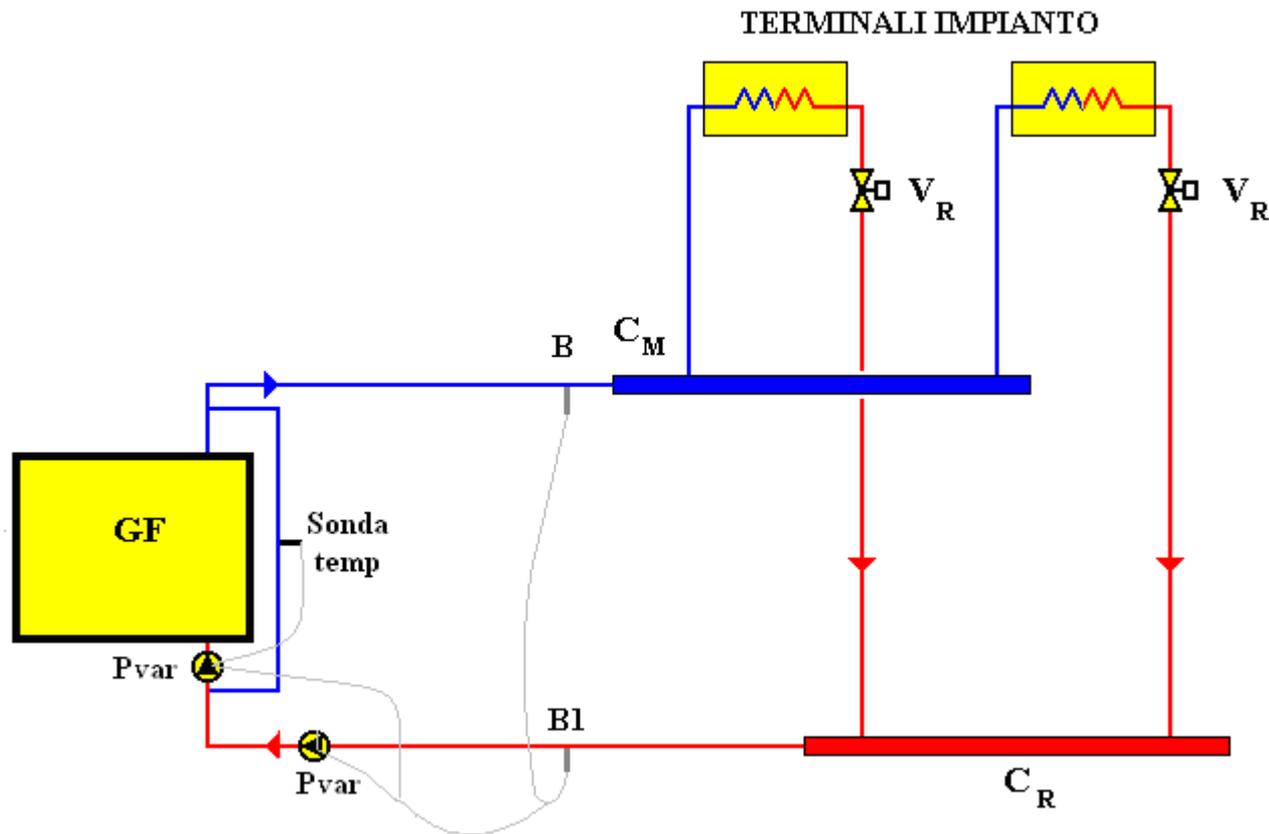
VISUALIZZAZIONE ATTRAVERSO SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Per questo motivo con una sola pompa bisogna limitare la riduzione di portata al 50%, anche perché, come si vedrà, al variare della portata non varia nello stesso modo il numero di giri.

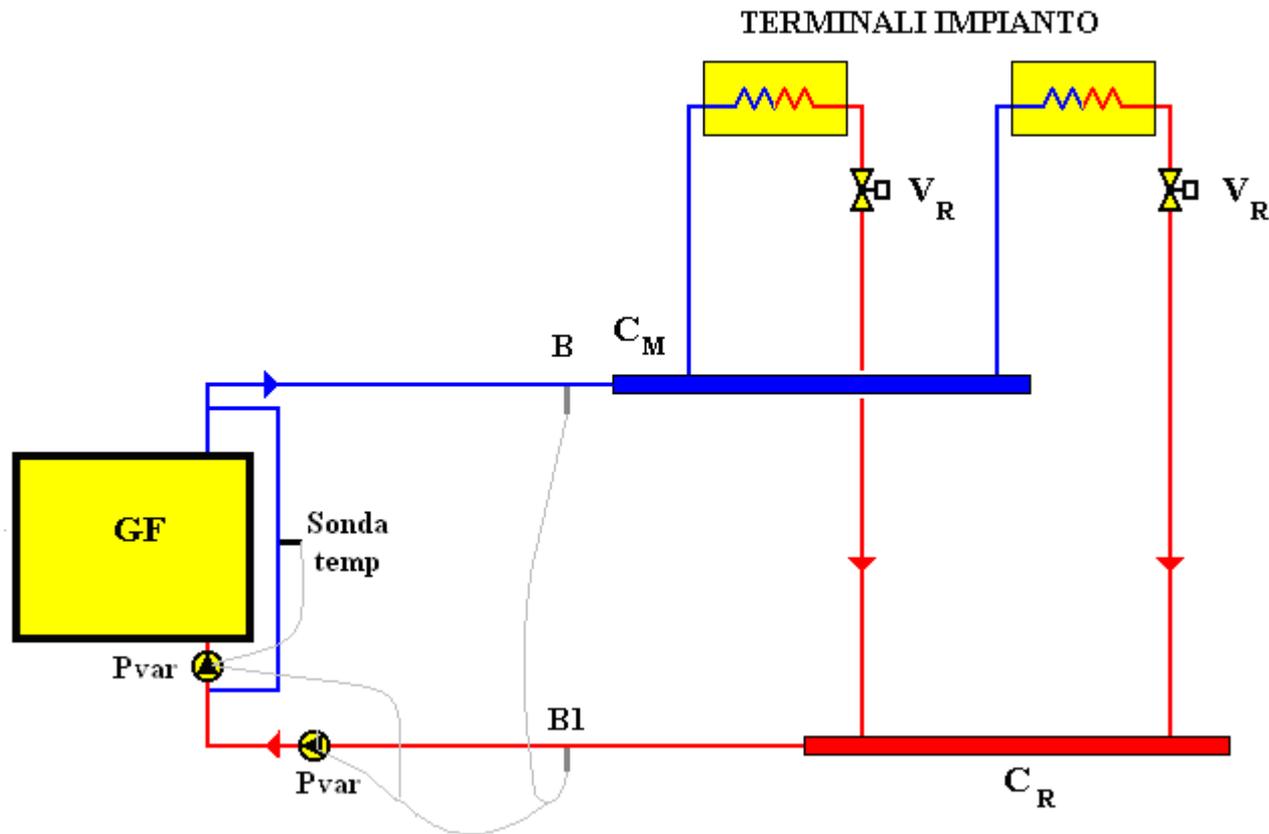
Con il sistema a doppia pompa non c'è alcun problema, perché in mezzo c'è un disconnettore idraulico.



La soluzione Rhoss prevede due pompe a portata variabile, uno per il primario e una per il secondario. Entrambe le pompe sono montate a bordo della macchina, così come il circuito primario è montato a bordo della macchina.



Le sonde di pressione comandano entrambe le pompe. Una volta arrivati alla portata minima, la pompa del primario si stabilizza e non scende più di portata. La sonda di temperatura serve a verificare che non vi sia mai una portata di acqua nel disconnettore dal ritorno alla mandata (portata del primario inferiore a quella del secondario).

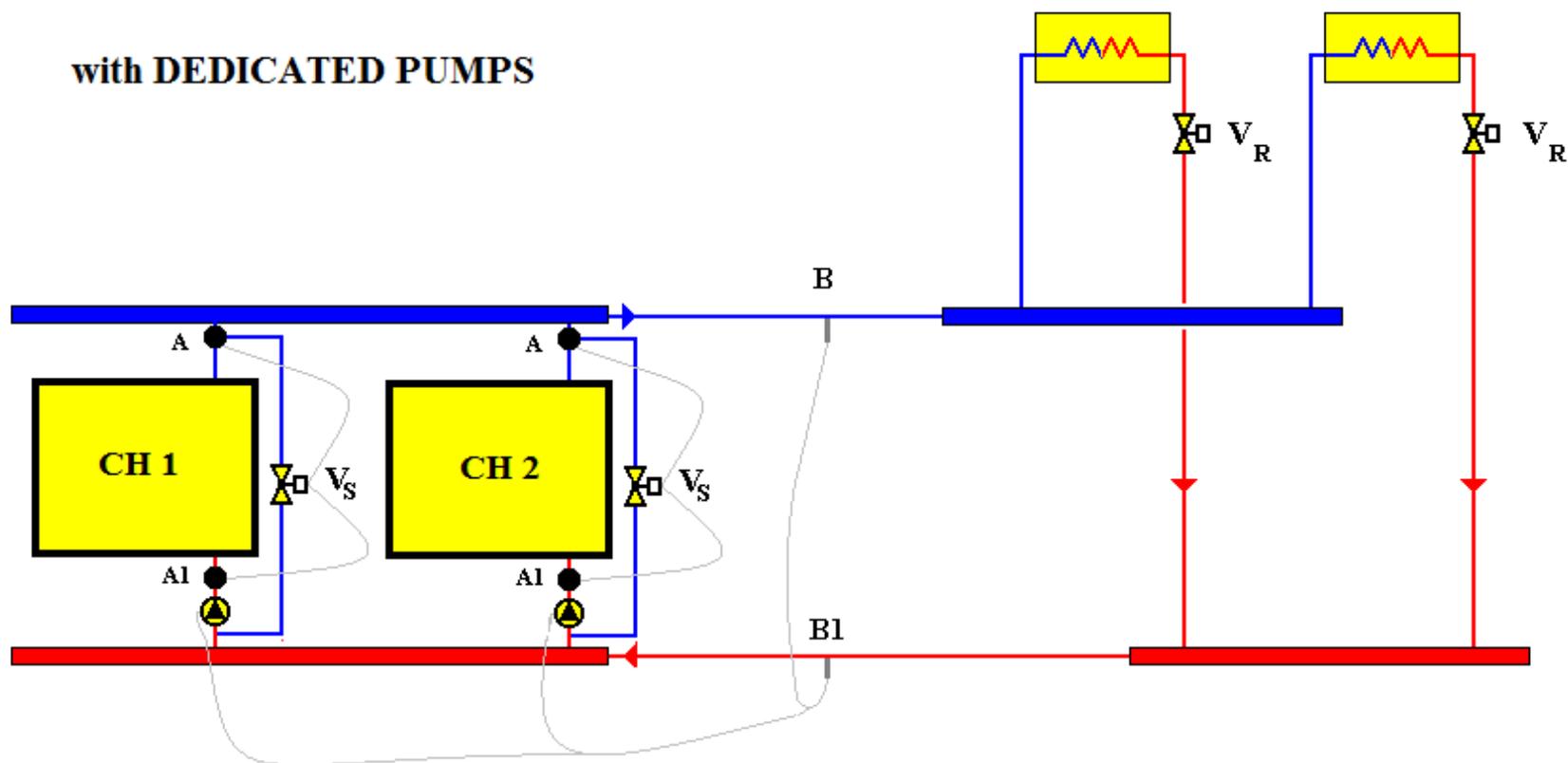


Il primo vantaggio è energetico: la pompa del circuito primario varia la portata in un circuito che non cambia geometria. Quindi, la sua potenza si riduce davvero con il cubo della portata. Negli impianti tradizionali questo non avviene.

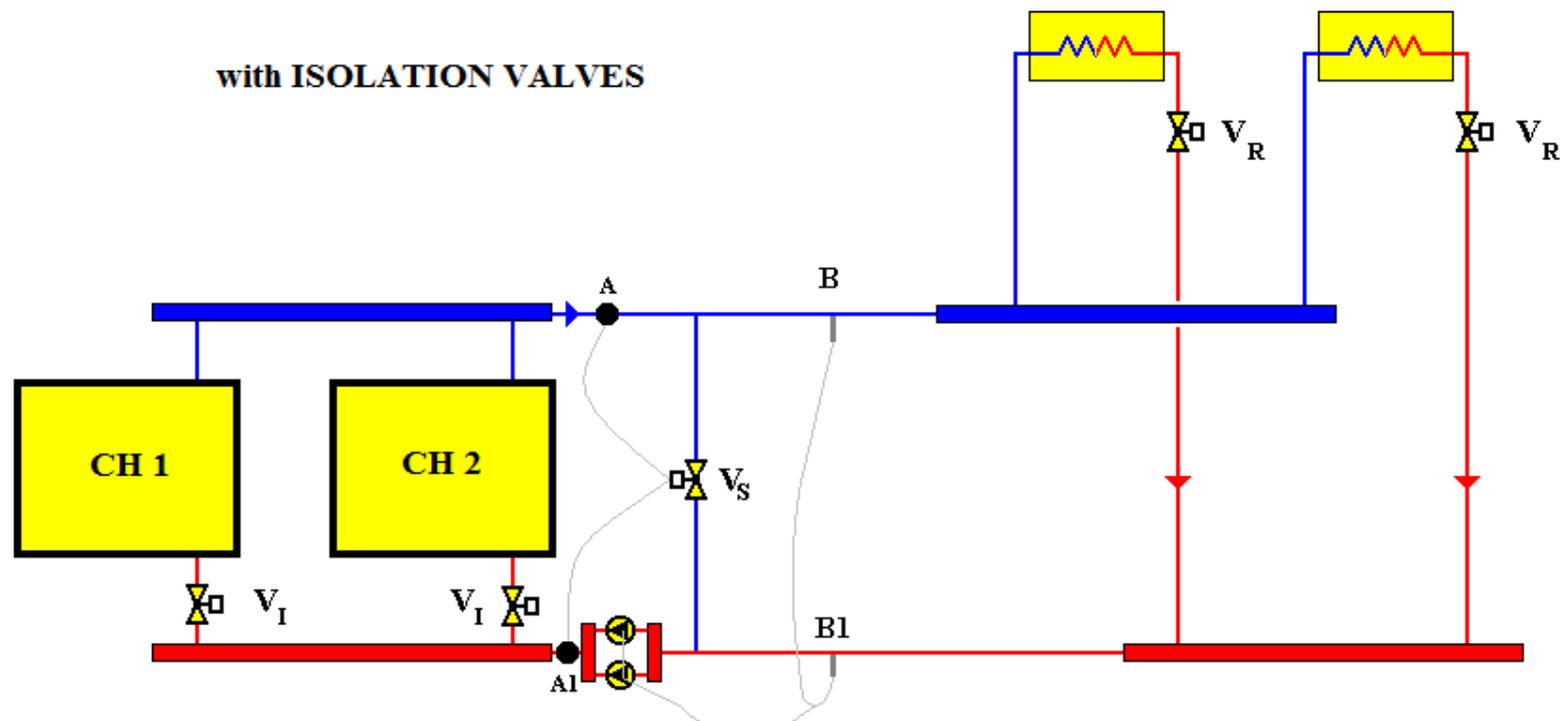
VISUALIZZAZIONE ATTRAVERSO SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Schemi idraulici

with DEDICATED PUMPS



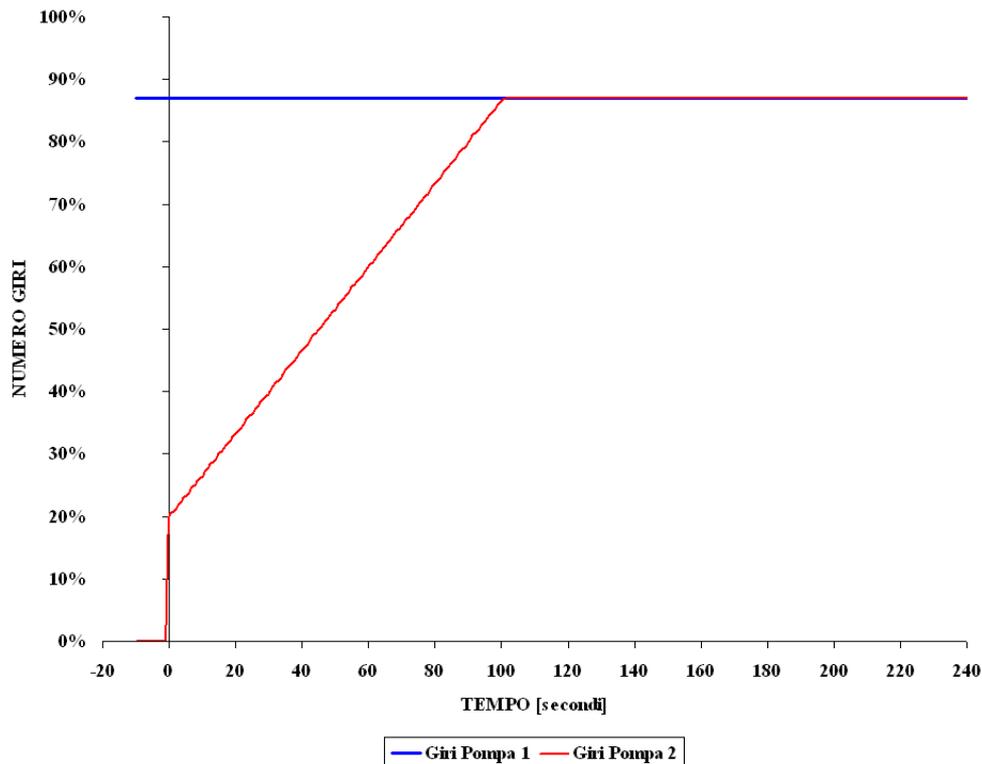
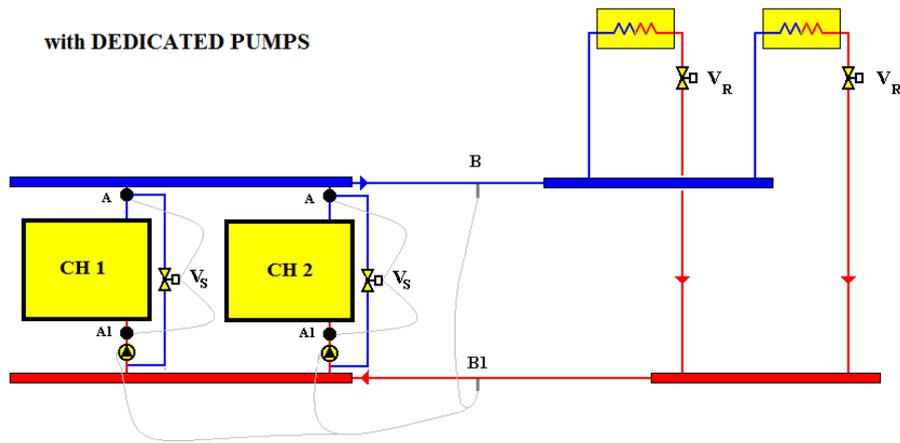
Schemi idraulici



SI CREA UN MOMENTO CRITICO ALL'AVVIAMENTO

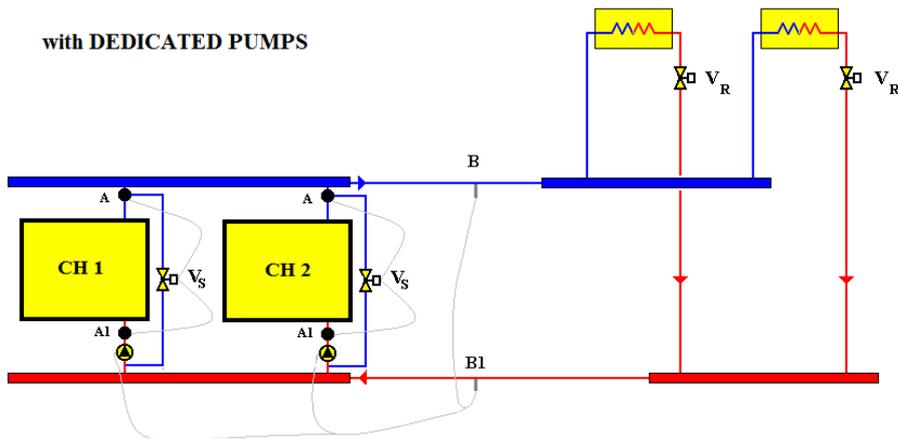
Perché le pompe si avviano istantaneamente mentre la valvola di sovrappressione ci mette 2 minuti ad aprirsi

Quando i gruppi si avviano e si fermano si crea un transitorio molto pericoloso



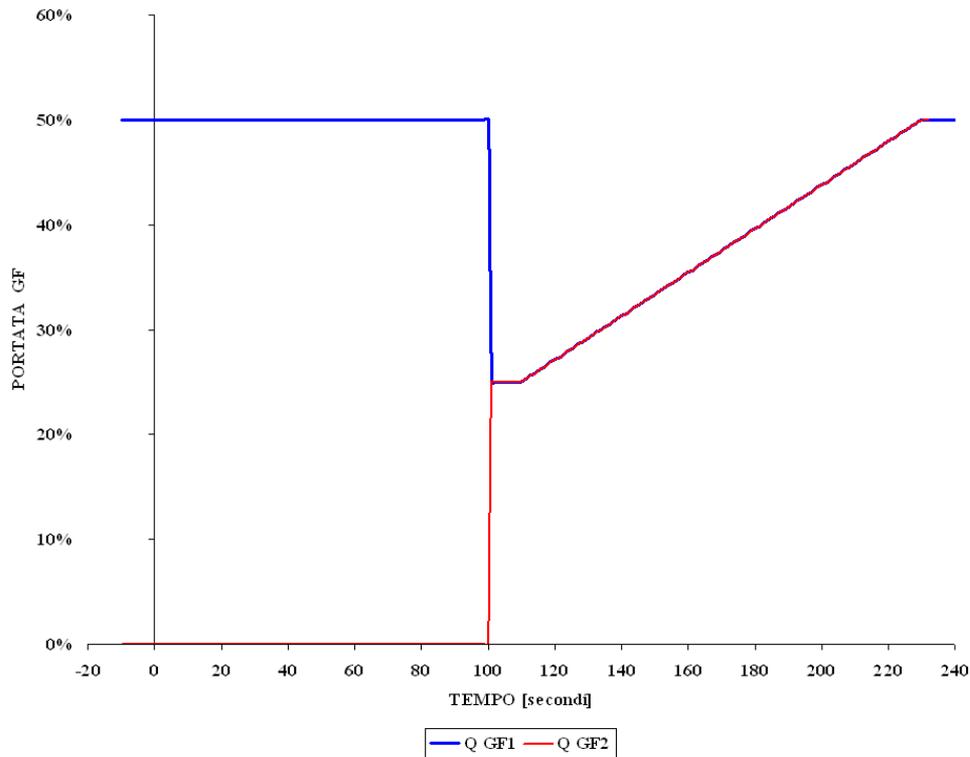
Fino a quando le due pompe non hanno lo stesso numero di giri, non ci può essere portata dal chiller CH2 in avviamento.

Lo impedisce la valvola di non ritorno

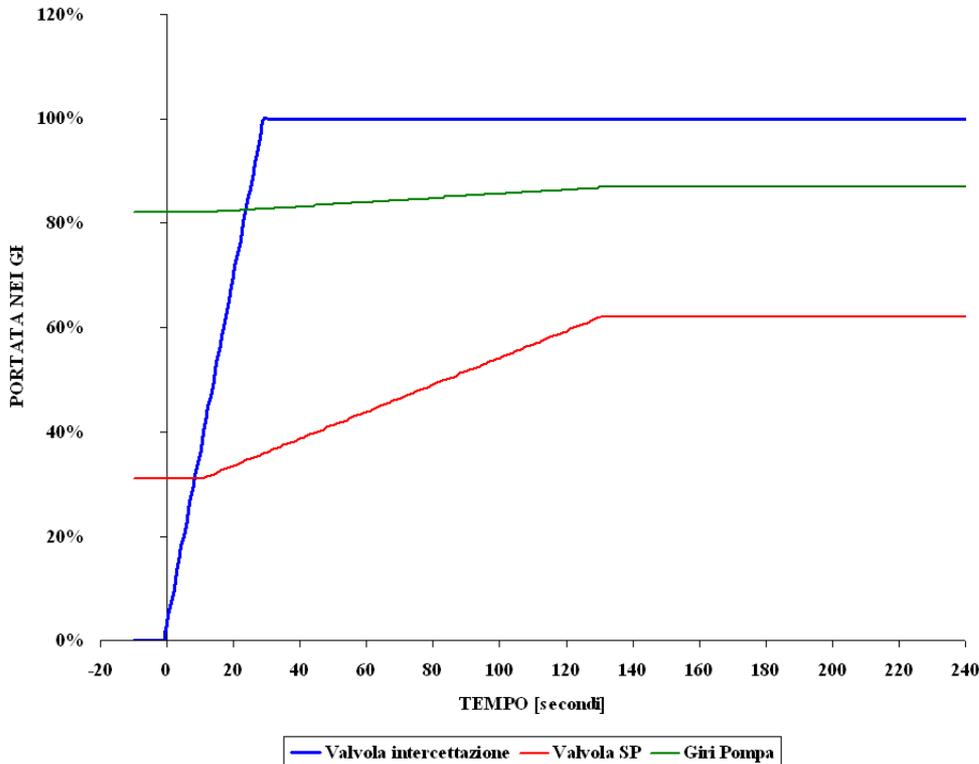
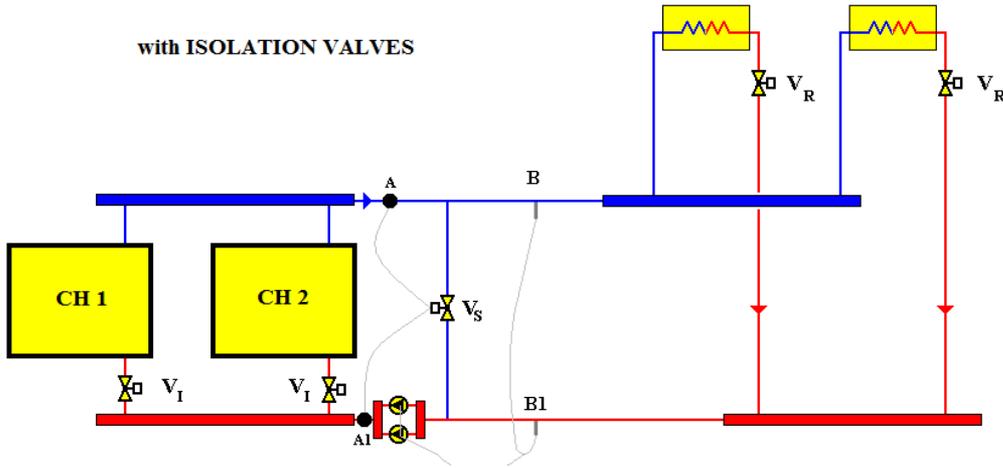


Appena c'è portata nel GF2, la portata nel GF 1 si dimezza.

E' una condizione molto pericolosa

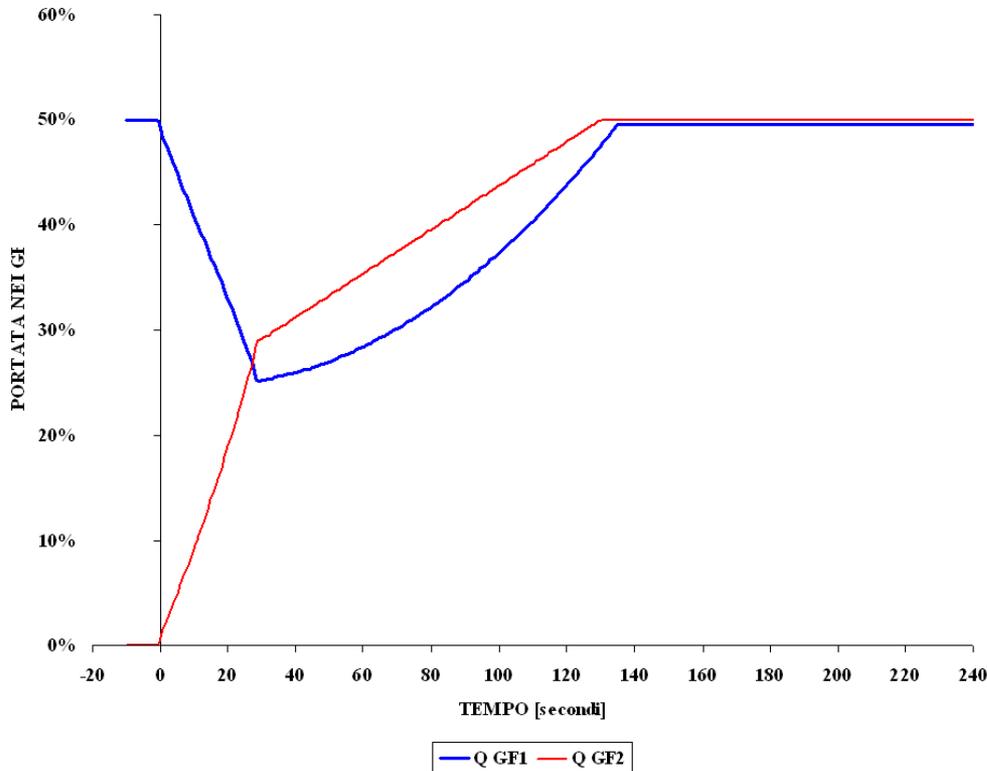
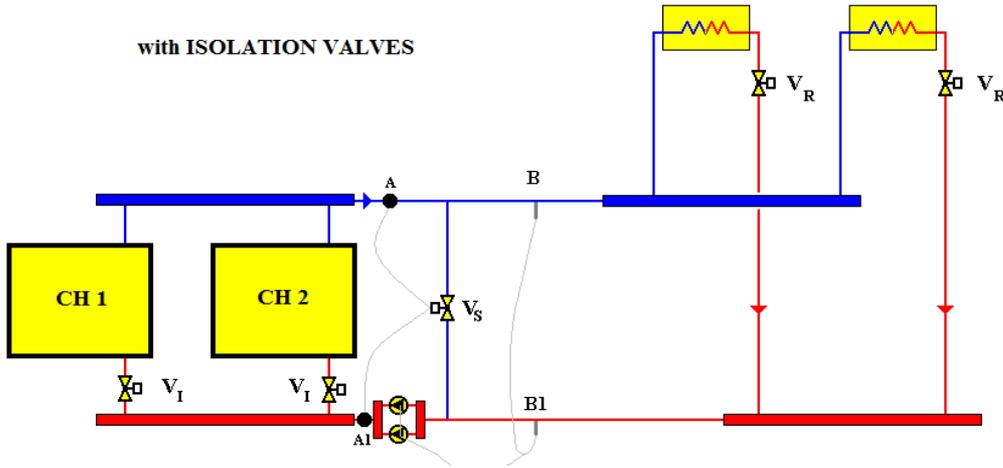


with ISOLATION VALVES



Va meglio con lo schema con le valvole di intercettazione, ma bisogna mettere assieme tre regolazioni:

with ISOLATION VALVES

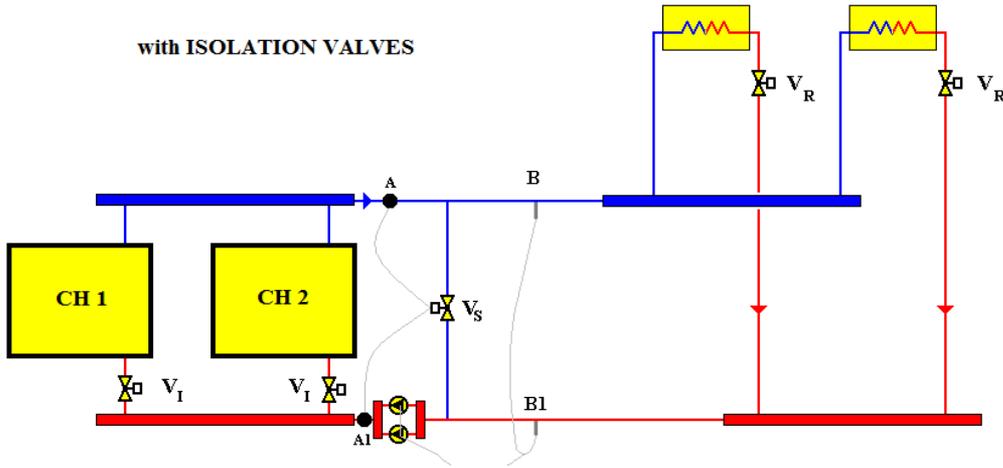


Se tutto va bene e non ci sono oscillazioni, questo è il risultato finale.

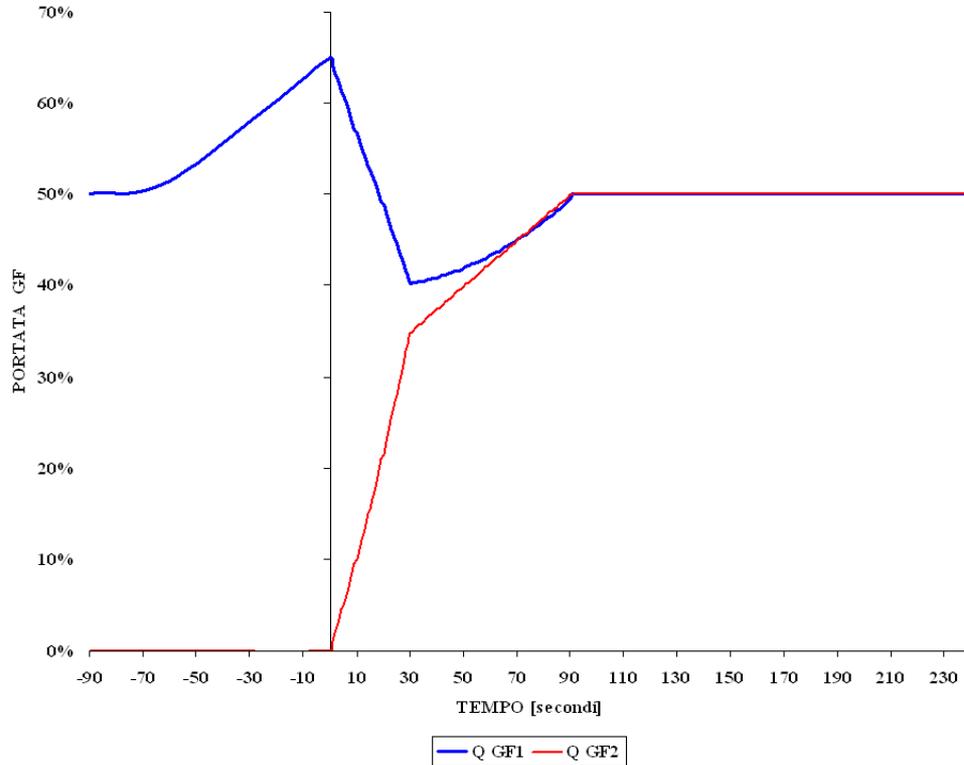
Non va bene, perché la portata scende troppo.

Quindi si deve aumentarla per poi farla scendere

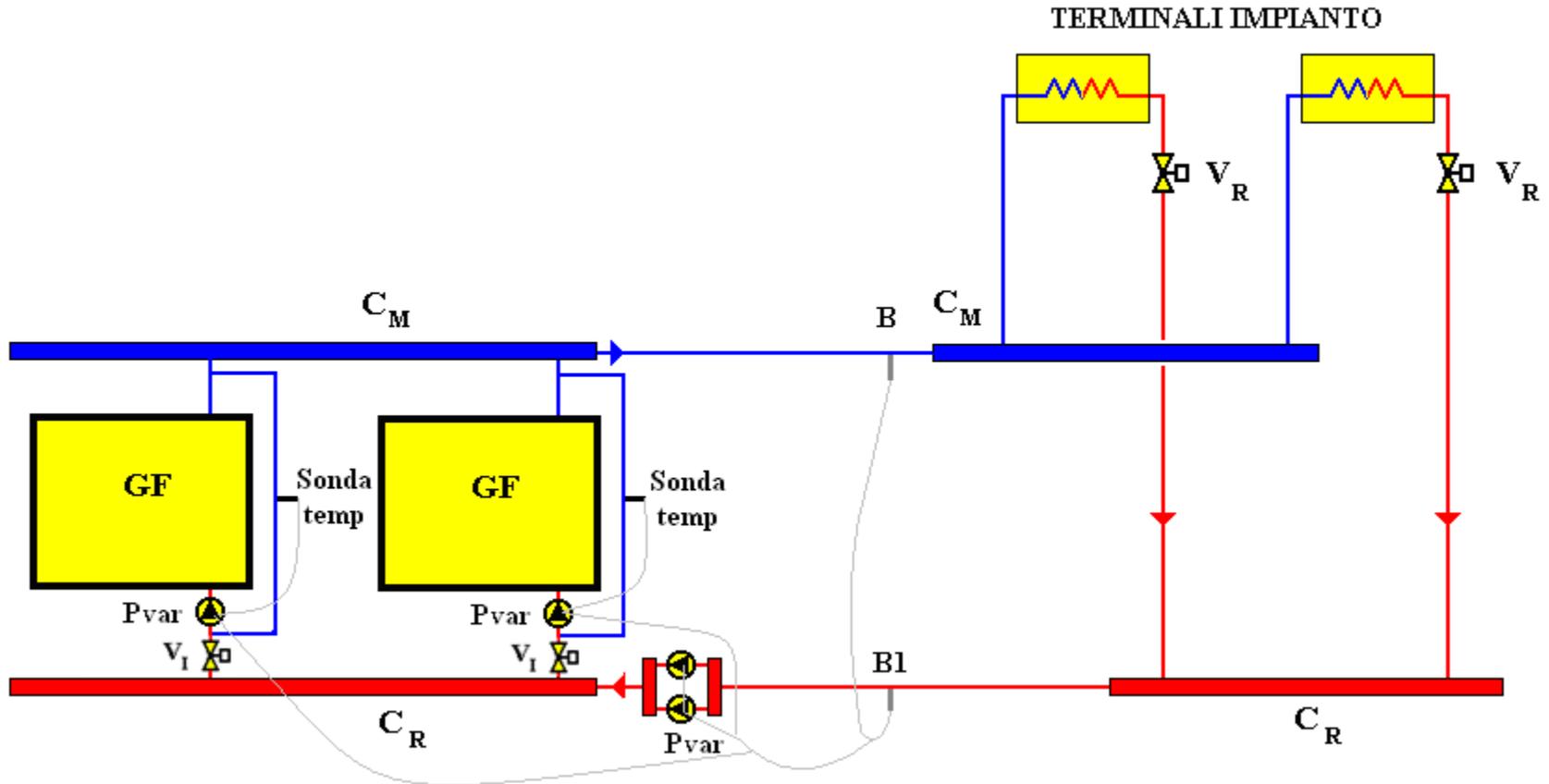
with ISOLATION VALVES



Questa è la regolazione.
Ne vale la pena?



Schema a doppia pompa



Nel caso di due gruppi frigoriferi in parallelo non può avvenire mai la riduzione di portata nella macchina in funzione, al riavviamento dell'altro gruppo perché la portata della pompa del primario viene bloccata un attimo prima dell'apertura della valvola di intercettazione (grazie al primario la portata rimane costante).

Il terzo gradino

Variazione della temperatura di produzione

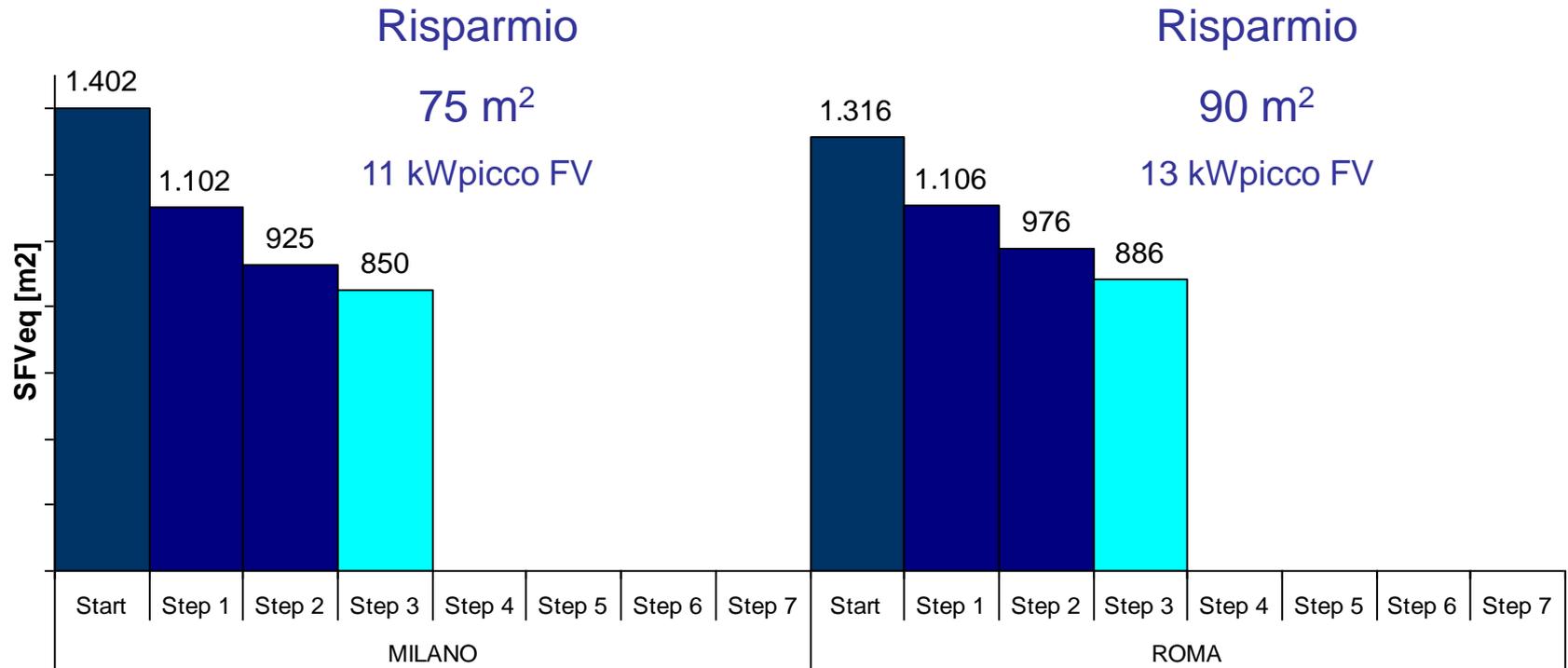
Diminuisce E_G perché migliora gli indici energetici stagionali del polivalente e i fan coil deumidificano di meno, ma aumenta leggermente E_V (solo per i fan coil) che E_P perché i fan coil rendono di meno al variare della temperatura

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Come ulteriore vantaggio dà stabilità alla portata perché le valvole lavorano più aperte

VISUALIZZAZIONE ATTRAVERSO SOFTWARE DI SIMULAZIONE

La variazione temperatura prodotta - uffici

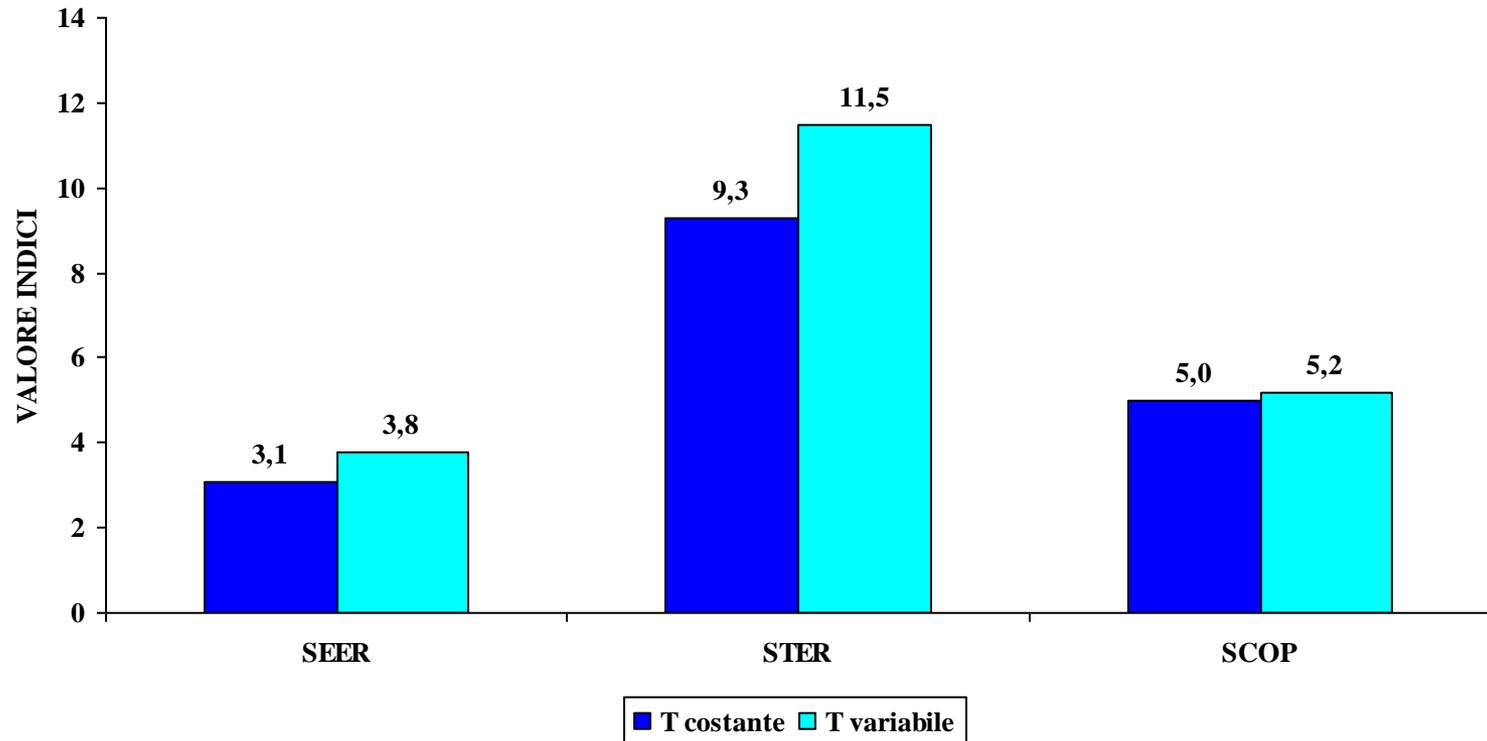


Risparmio economico: Milano 2.250 € Roma 3.000

Costo EE = 0,20 €/kWh

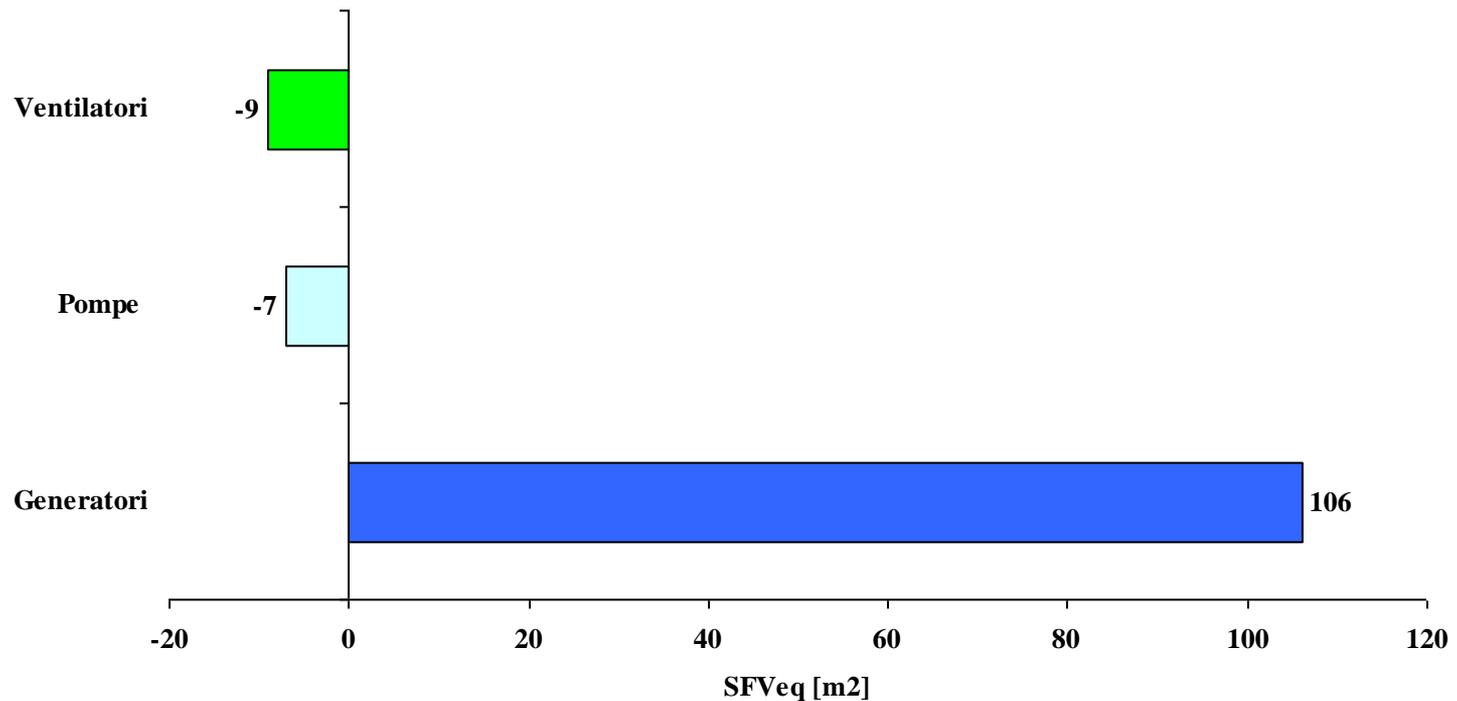
La variazione temperatura prodotta - uffici

Variazione degli indici stagionali (Roma)

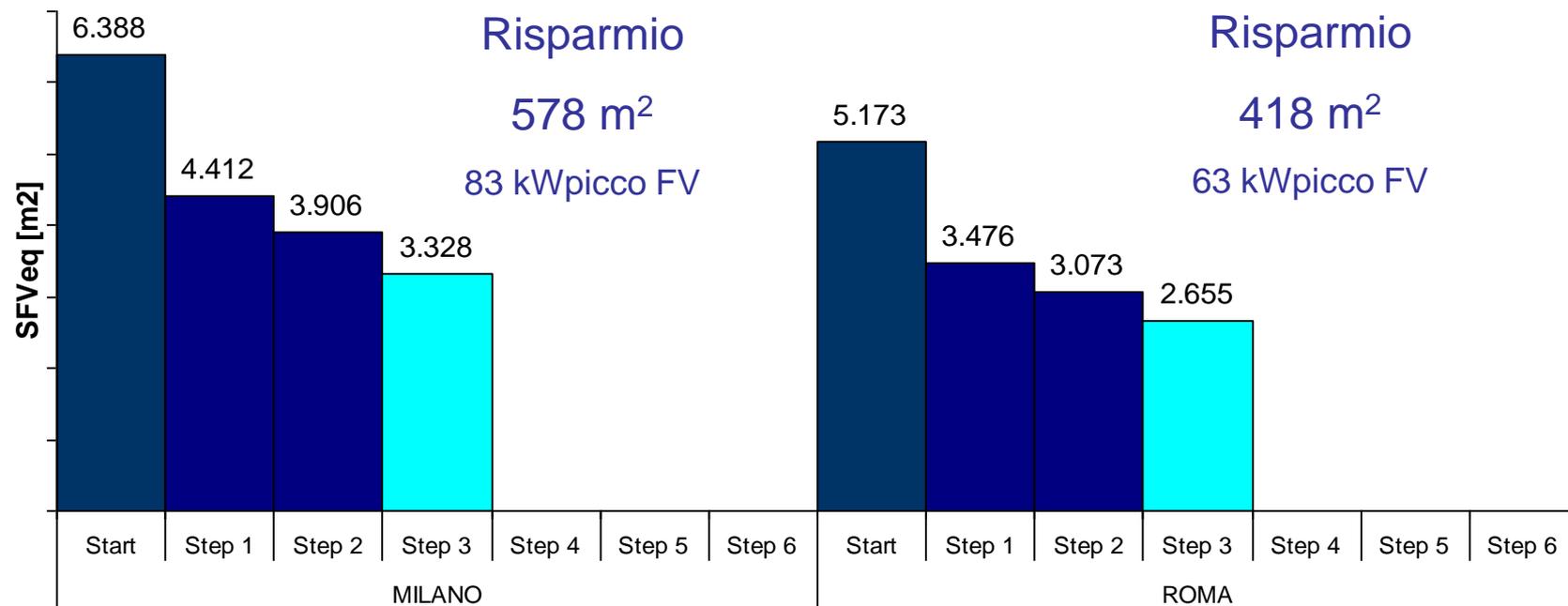


La variazione temperatura prodotta - uffici

Ripartizione guadagni consumi (Roma)



La variazione temperatura prodotta - alberghi



Risparmio economico: Milano 14.900 € Roma 12.000

Costo EE = 0,17 €/kWh

Il quarto gradino

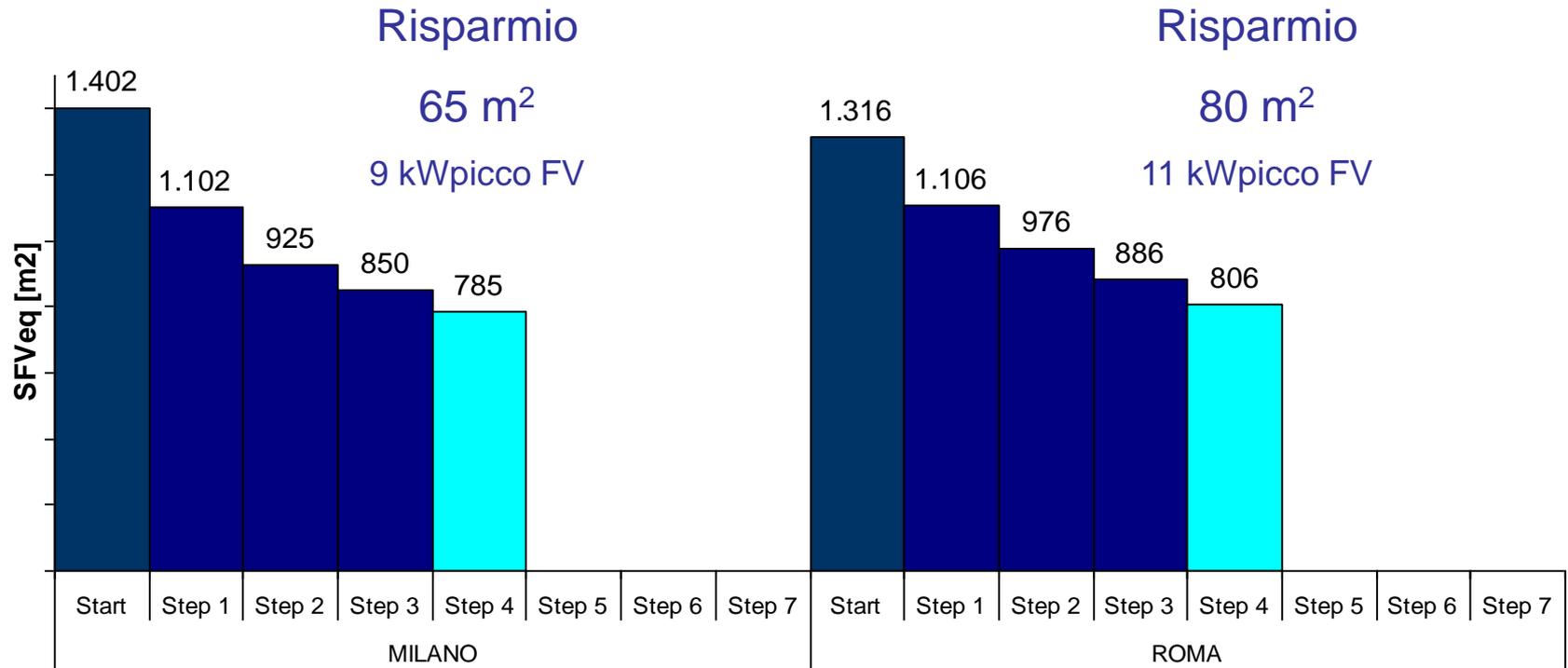
Variazione della portata d'aria con la presenza delle persone

Fa diminuire molto E_V perché i ventilatori della CTA riducono il numero di giri

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Ha un effetto anche sui generatori, perché il post-riscaldamento deve rimanere più in funzione (soprattutto negli uffici)

La variazione aria primaria - uffici

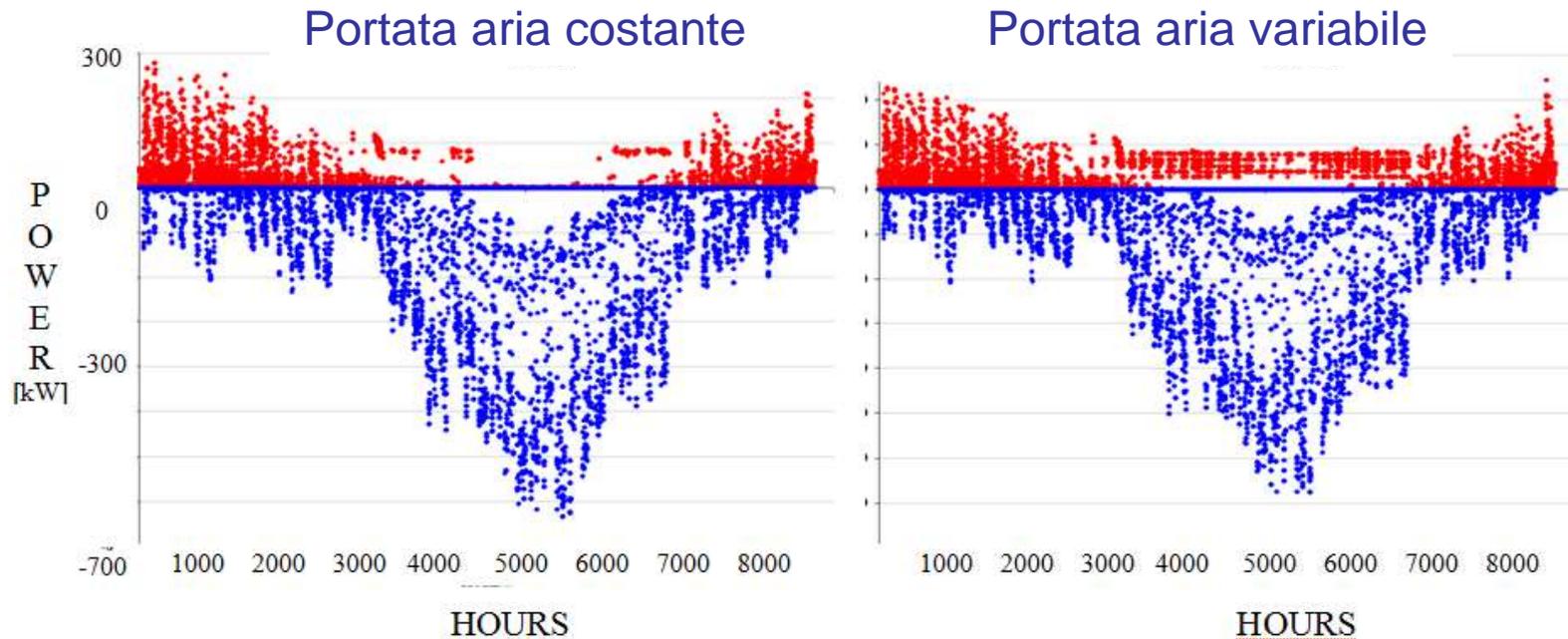


Risparmio economico: Milano 2.000 € Roma 2.700

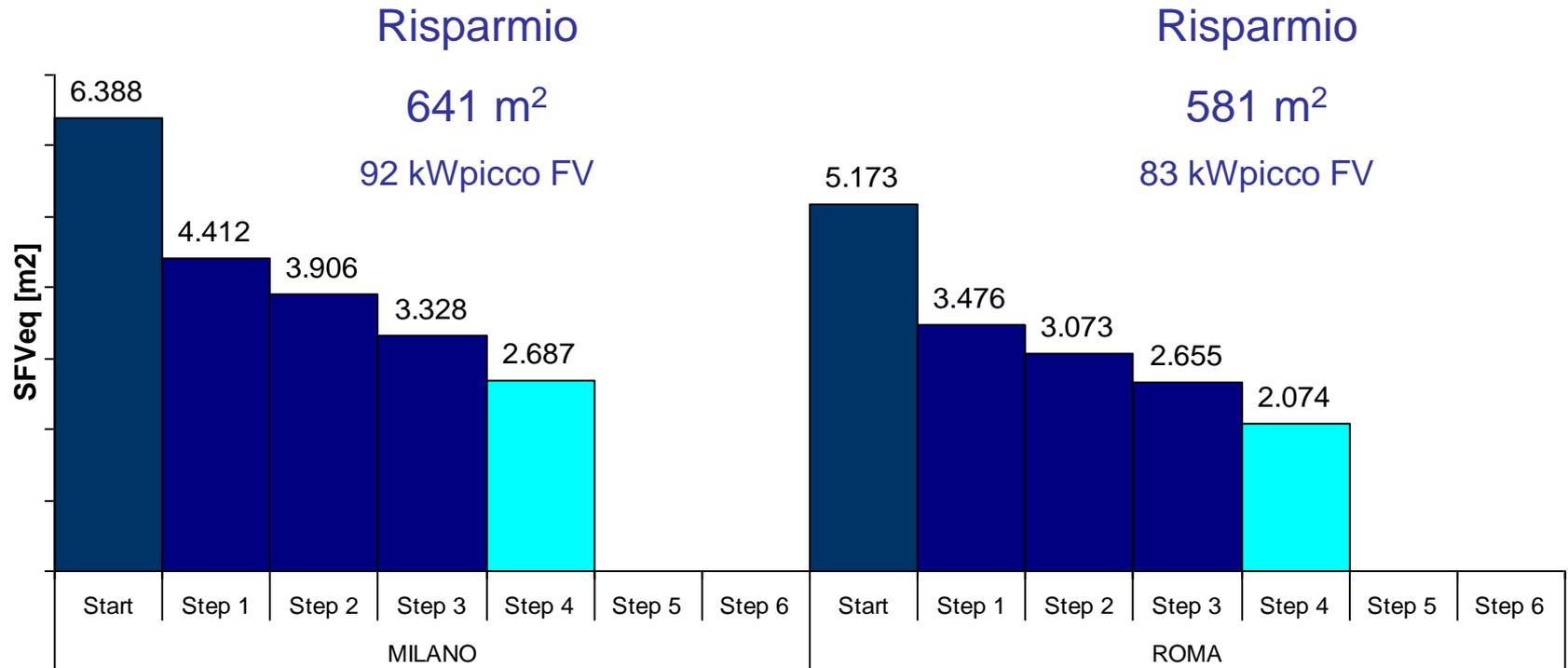
Costo EE = 0,20 €/kWh

La variazione portata aria - uffici

Profilo carichi al generatore (Roma)



La variazione portata aria - alberghi



Risparmio economico: Milano 16.500 € Roma 16.650

Costo EE = 0,17 €/kWh

Il quinto gradino

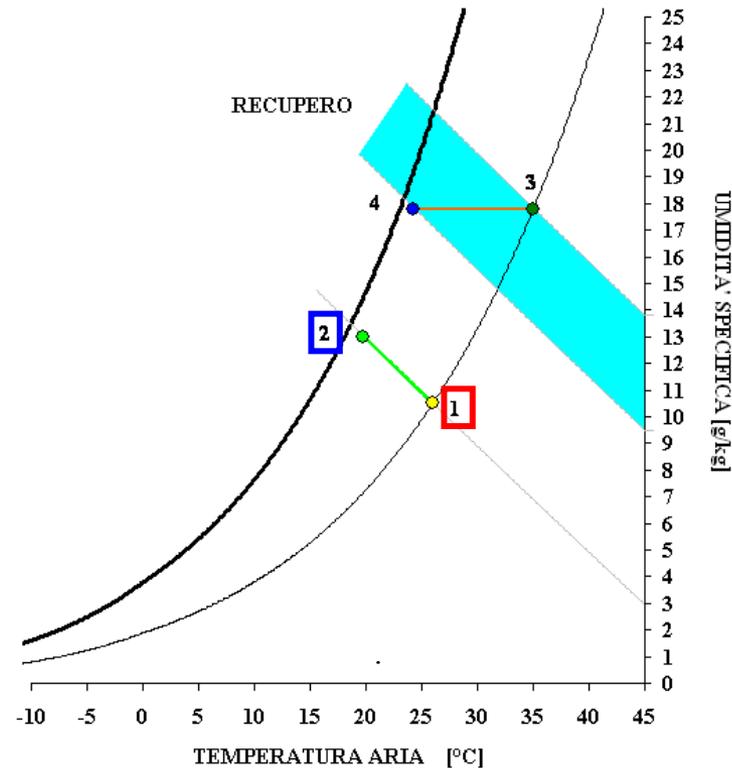
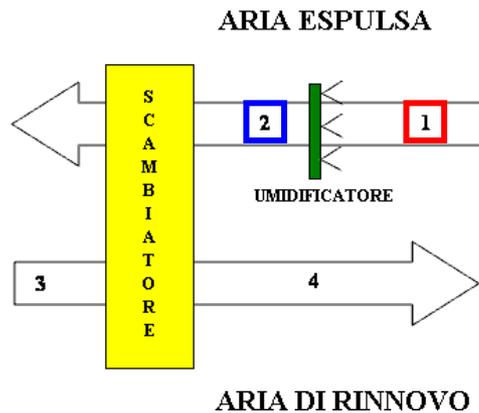
Utilizzo di recuperatori di calore dall'aria espulsa diversi dal sensibile

Fa diminuire E_T

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

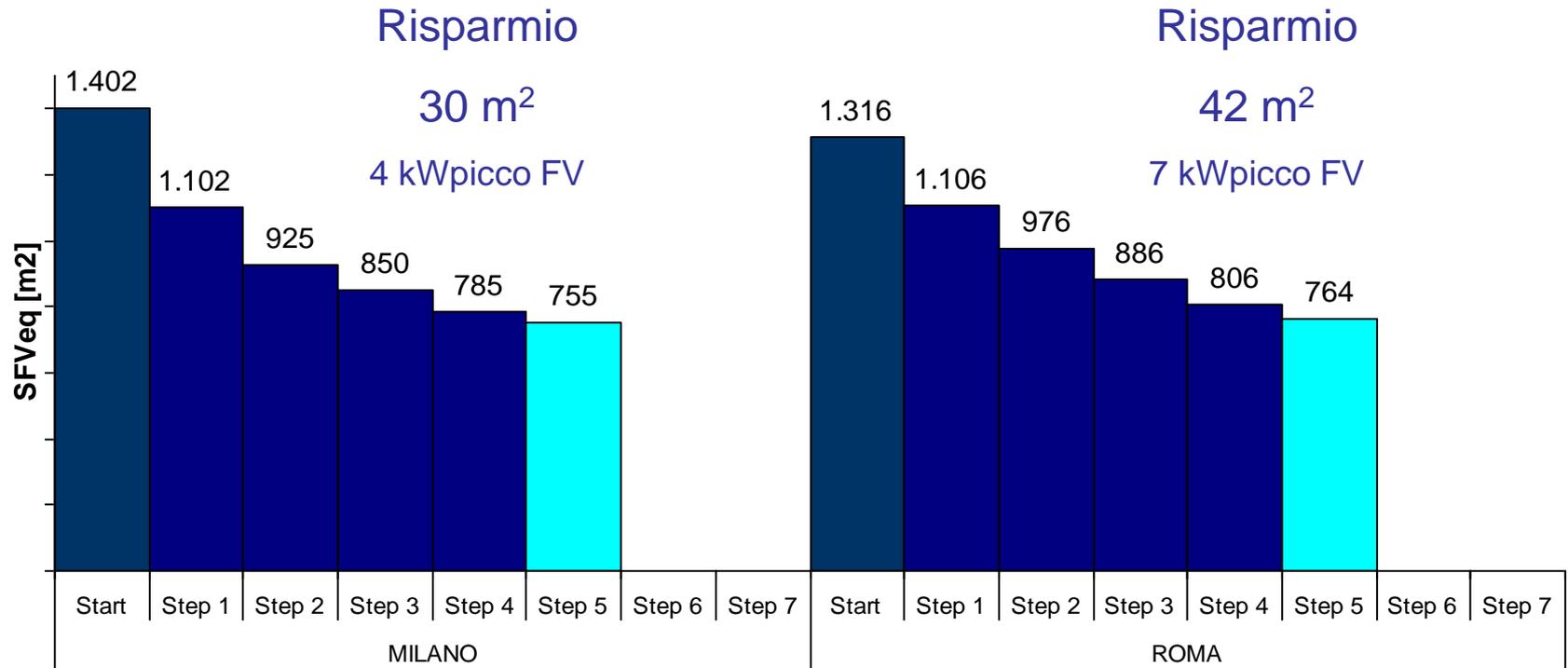
Ha un effetto secondario anche sui generatori

Raffreddamento Adiabatico Indiretto (RAI)



Se, nel raffreddamento estivo, si inserisce un sistema di umidificazione adiabatica a monte dello scambiatore di calore sul lato dell'aria espulsa, si ottiene l'effetto di raffreddare l'aria prima del suo ingresso nello scambiatore, portandola dalle condizioni del punto 1 a quelle del punto 2. Di conseguenza, **l'efficienza dello scambiatore aumenta**, perché l'aria al suo ingresso (punto 2) è più fredda rispetto all'aria espulsa (punto 1).

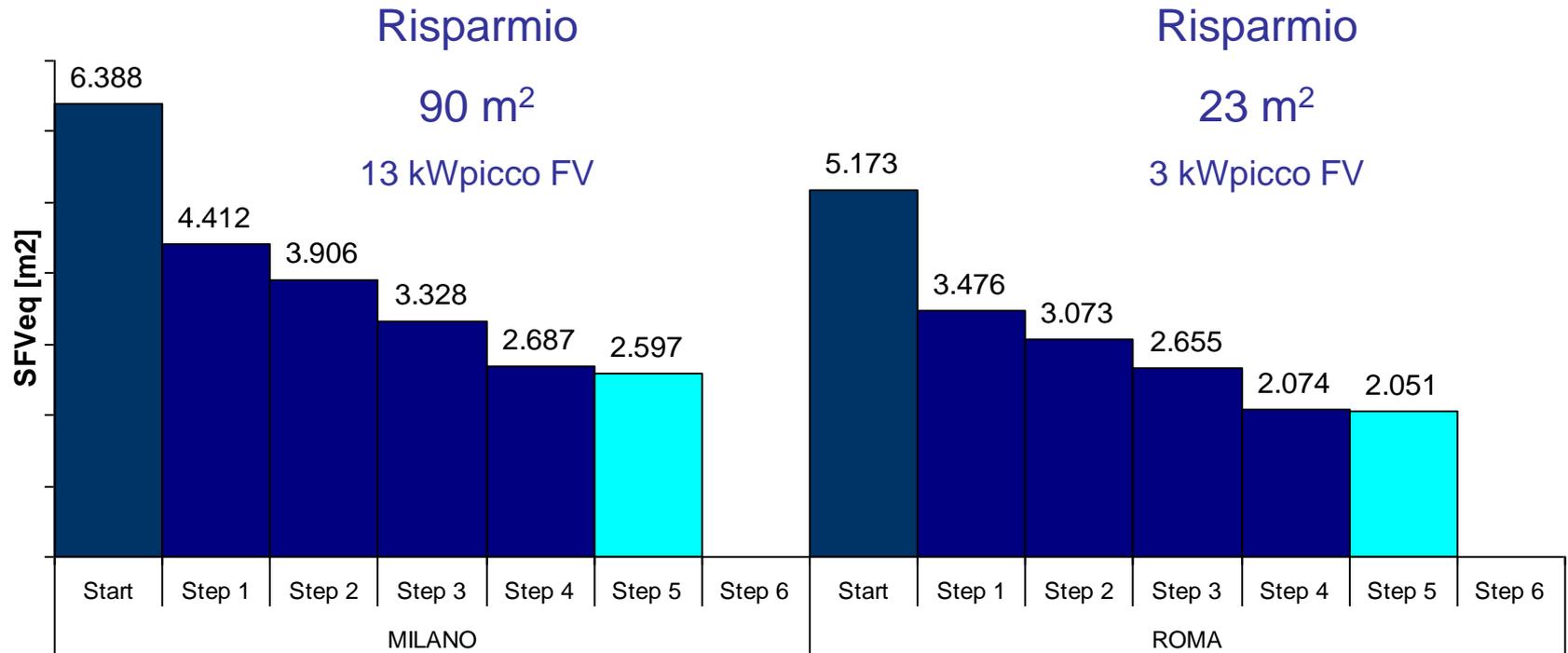
Recuperatore di calore RAI - uffici



Risparmio economico: Milano 900 € Roma 1.400

Costo EE = 0,20 €/kWh

Recuperatore di calore entalpico - alberghi

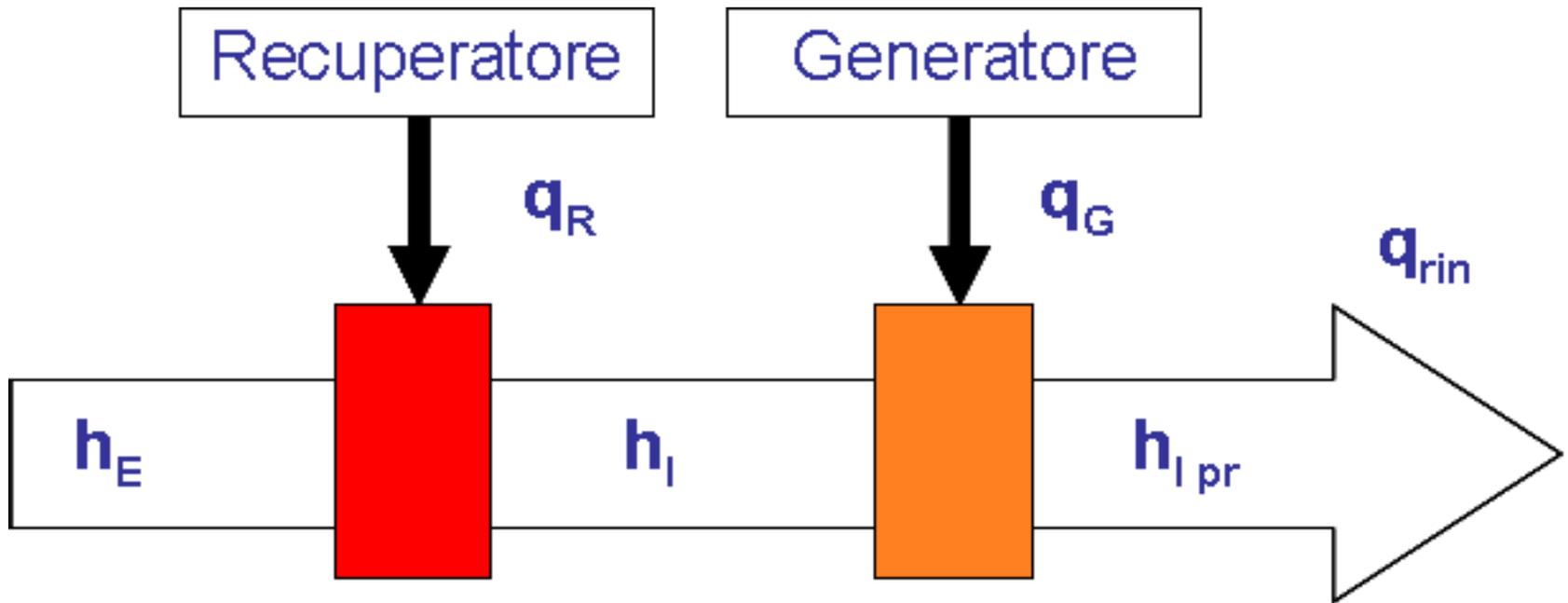


Risparmio economico: Milano 2.300 € Roma 660

Costo EE = 0,17 €/kWh

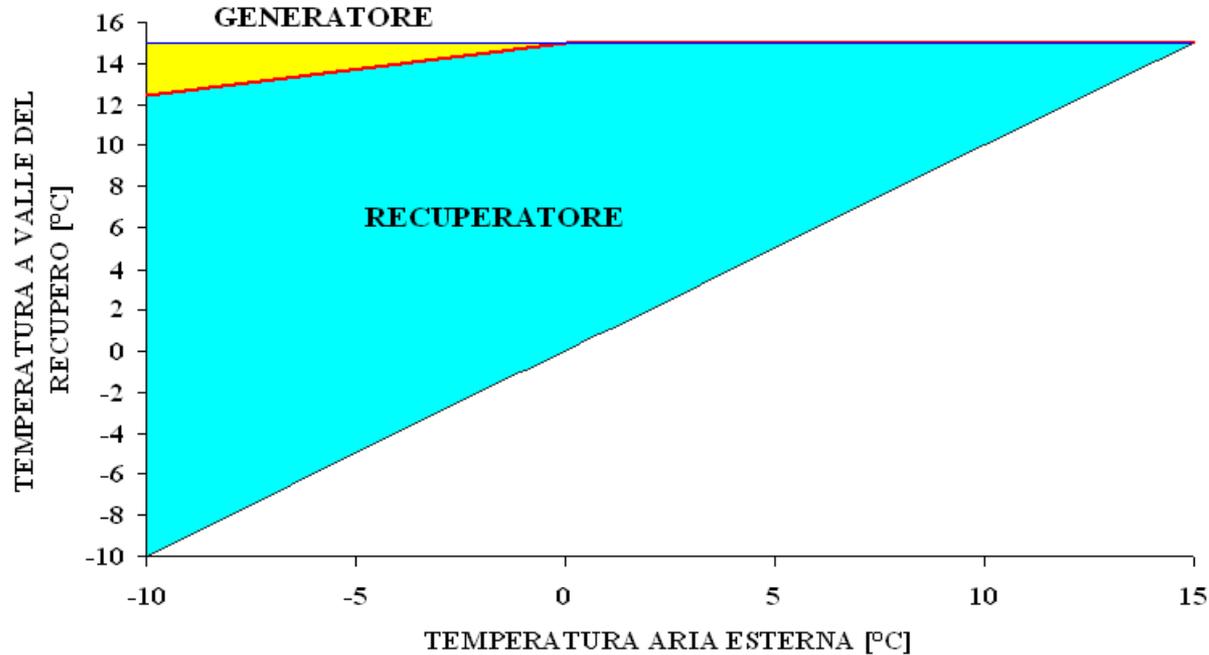
Approfondimento sul recupero di calore dall'aria espulsa

L'analisi degli effetti dei recuperatori di calore dall'aria espulsa e della tipologia di generatori deve essere condotta in parallelo. Infatti, il recuperatore di calore dall'aria espulsa non è altro che un generatore posto a monte del generatore principale e, pertanto, la scelta dell'uno non può prescindere dalla scelta dell'altro, perché il recuperatore deve essere visto come un generatore montato in serie a monte del generatore principale.



Recuperatori modulanti e recuperatori On-Off

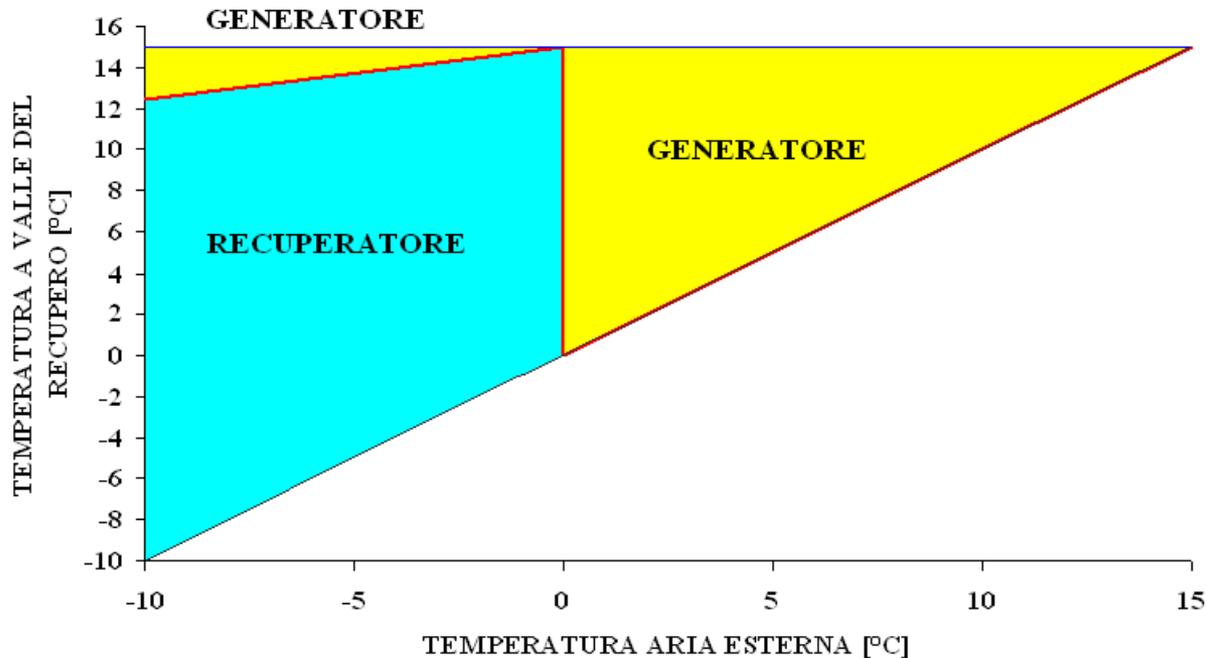
RECUPERATORE MODULANTE



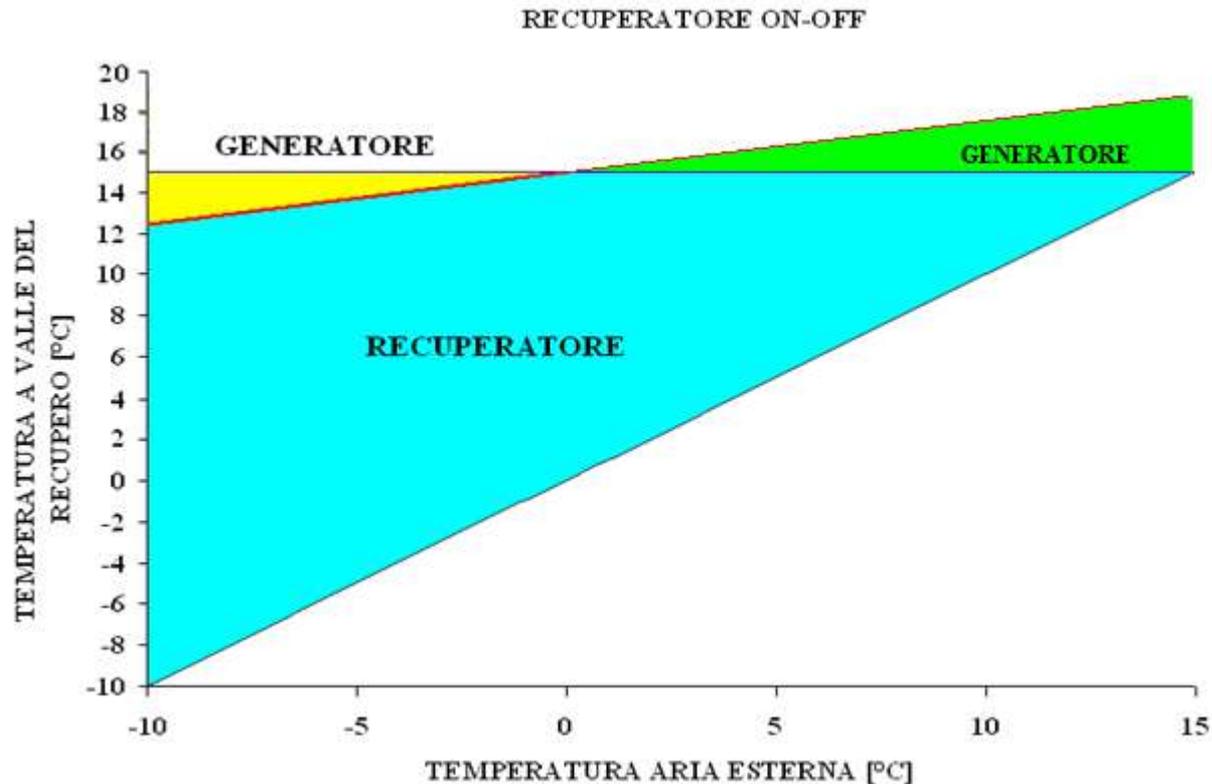
Il recuperatore innalza la temperatura dell'aria dal valore esterno fino ad un valore dipendente dalla sua efficienza e dalla temperatura ambiente.

Nel caso di **recuperatore modulante**, il generatore deve innalzare il valore della temperatura dalle condizioni a valle del recupero fino al valore desiderato. Quindi il generatore interviene solamente in proporzione all'area gialla, mentre al recuperatore spetta l'innalzamento pari a quello dell'area azzurra.

RECUPERATORE ON-OFF



Completamente diverso è il caso del **recuperatore ON-OFF**, che deve essere by-passato quando la temperatura dell'aria a valle del recuperatore stesso raggiunge il valore d'immissione. Da quel punto in poi, deve necessariamente intervenire il generatore. E' chiaro che l'energia richiesta al generatore aumenta. Un eccesso di recupero, con recuperatori non modulanti, può essere energeticamente molto negativo.

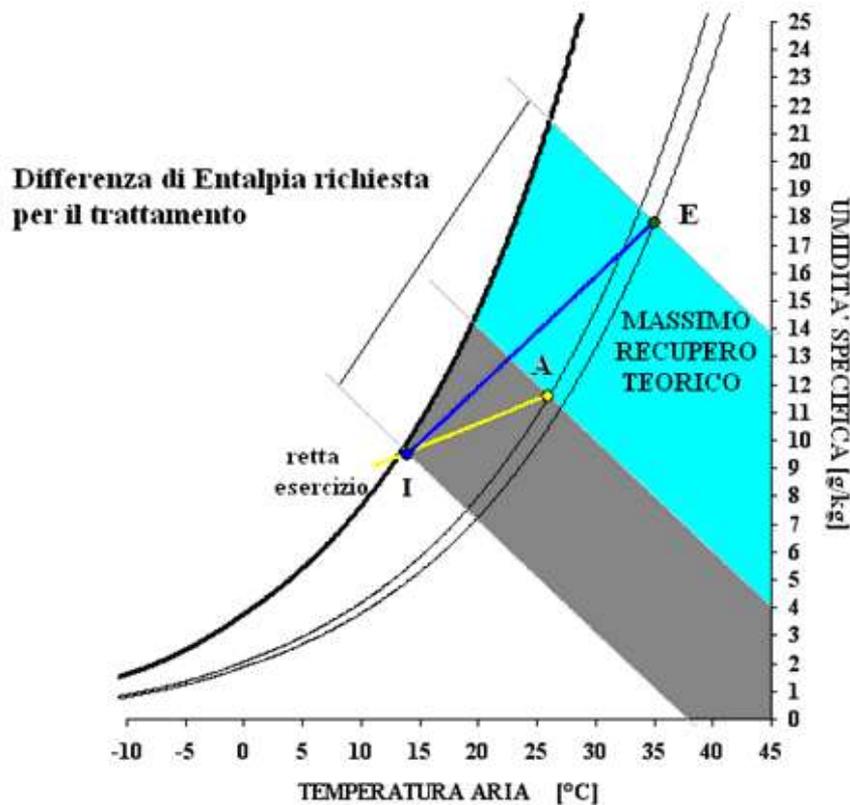


In alternativa, il recuperatore On-Off deve continuare a funzionare, ma a un certo punto la temperatura dell'aria deve essere abbassata da una batteria fredda collegata a una macchina frigorifera (area verde). Ancora una volta, si verifica uno spreco di energia perché il generatore deve fornire potenza di segno opposto a quello necessario.

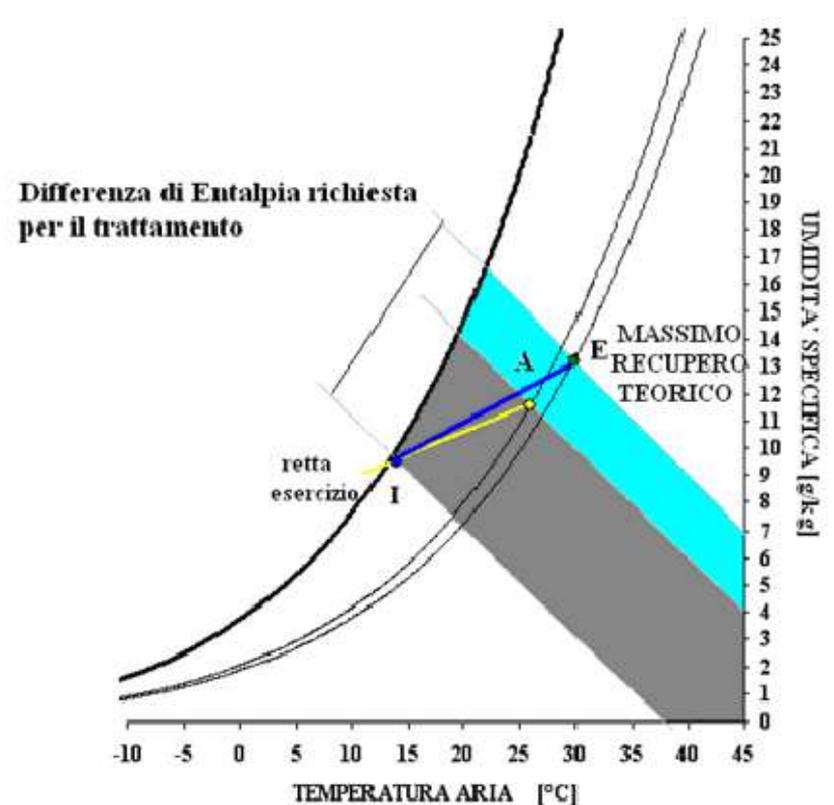
perché la scelta di un recuperatore entalpico è
spesso sbagliata nel clima italiano

Massimo recupero teorico possibile ESTATE

MASSIMA TEMPERATURA ARIA ESTERNA

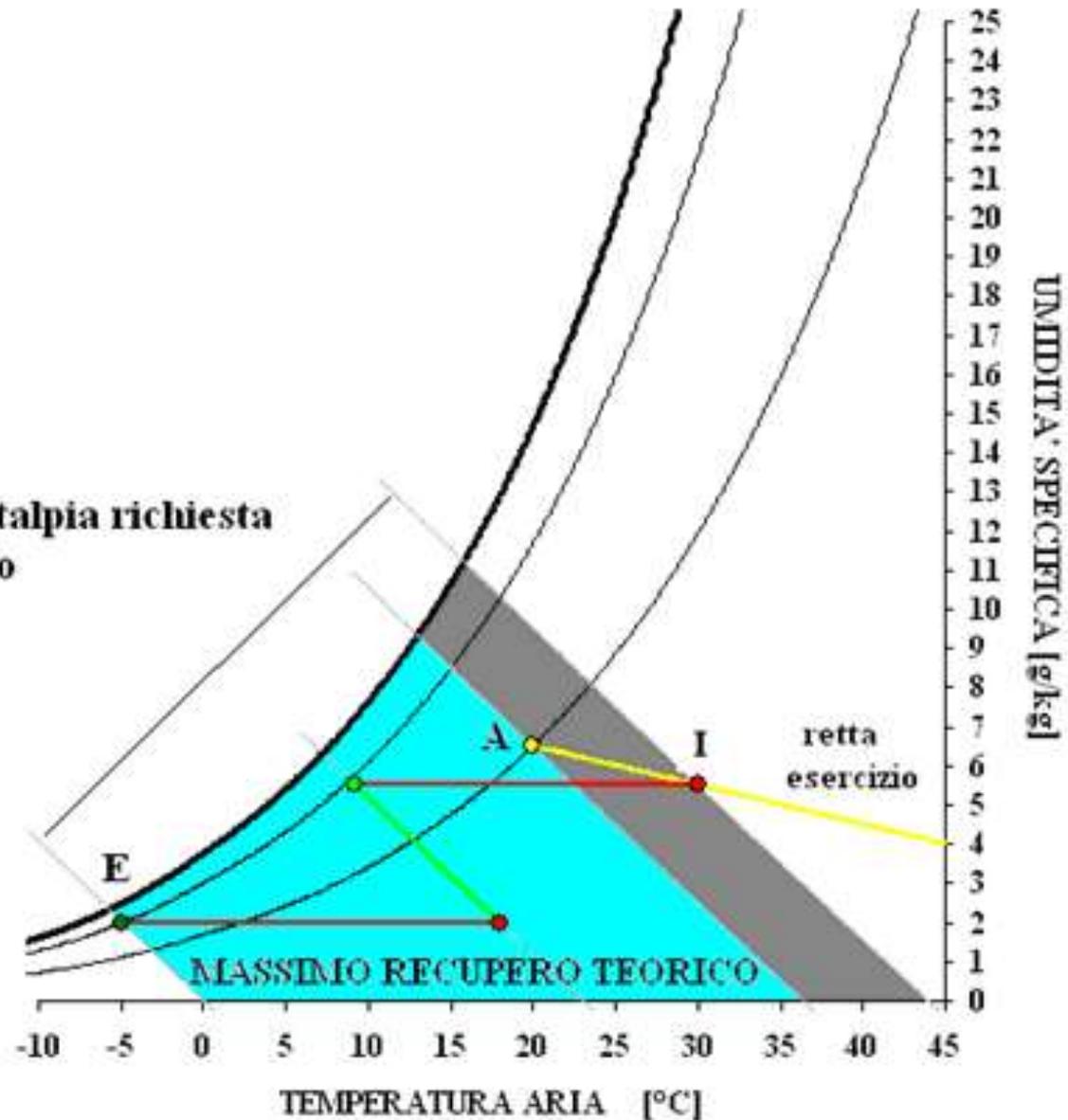


TEMPERATURA ARIA ESTERNA INFERIORE ALLA MASSIMA



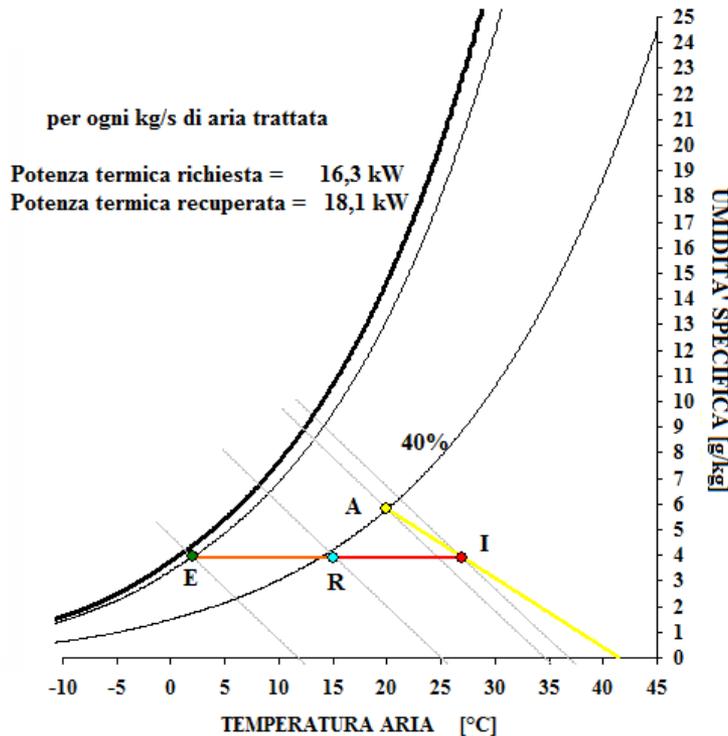
Massimo recupero teorico possibile INVERNO

Differenza di Entalpia richiesta per il trattamento

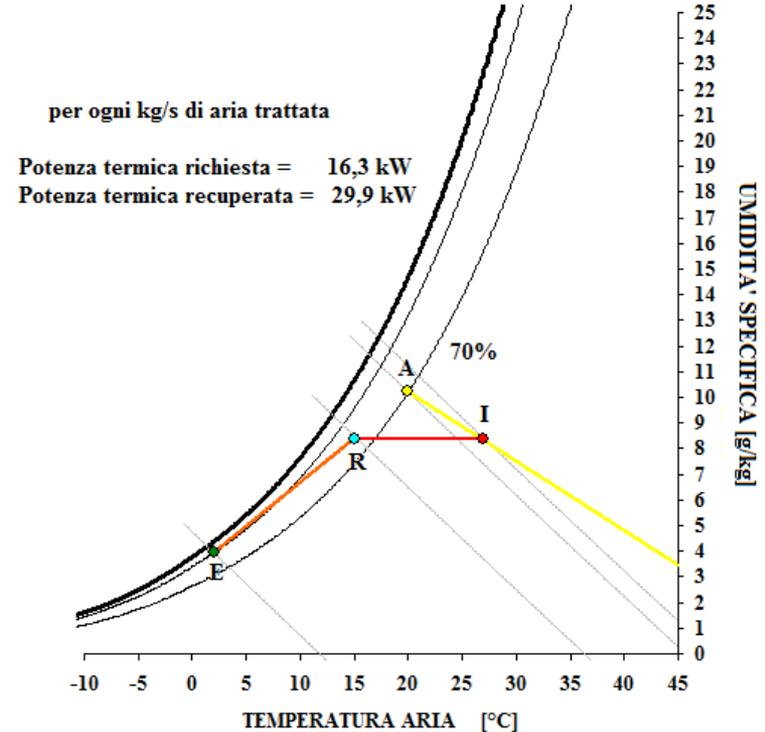


ECCESSO DI RECUPERO LATENTE IN RISCALDAMENTO

RECUPERO SOLO SENSIBILE



CON RECUPERO ENTALPICO NON PARZIALIZZATO

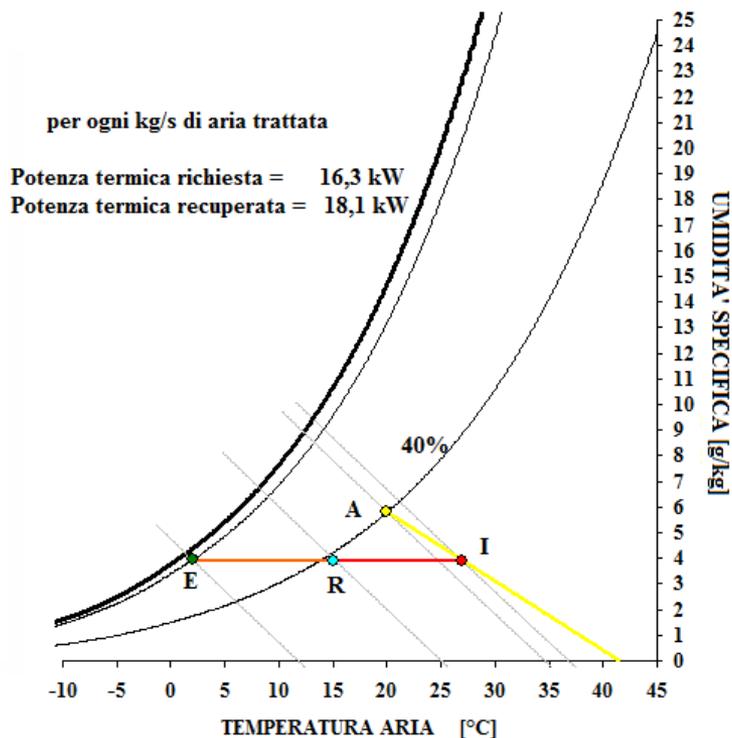


La potenza che deve fornire il generatore (dal punto R al punti I) è uguale nei due casi (16,3 kW). E' questa che determina il costo orario del sistema.

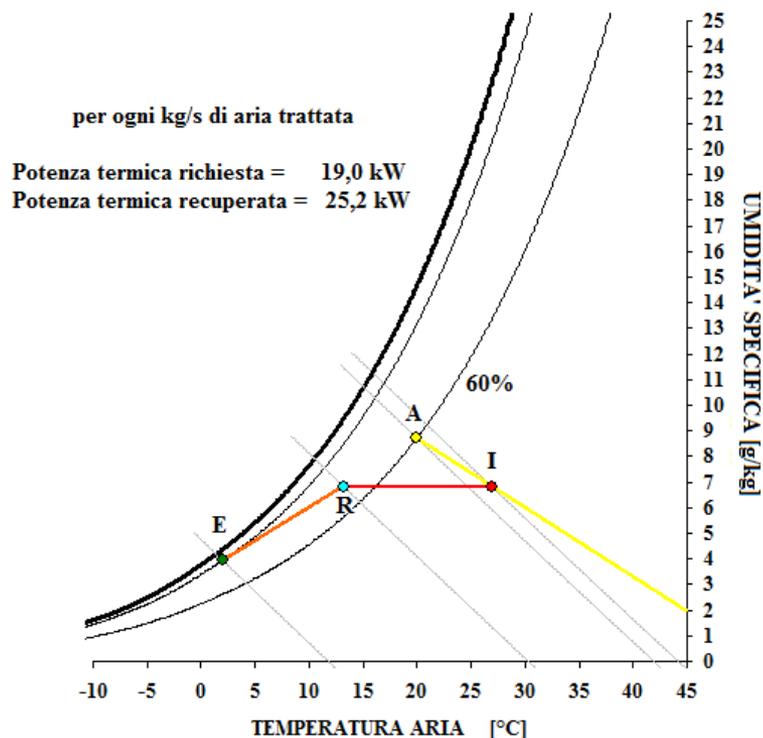
Il recuperatore entalpico aumenta solo l'UR ambiente, oltre ai valori massimi desiderati (60%). Per questo deve essere parzializzato

ECCESSO DI RECUPERO LATENTE IN RISCALDAMENTO

RECUPERO SOLO SENSIBILE



CON RECUPERO ENTALPICO PARZIALIZZATO



Se si parzializza, diminuisce anche la componente latente. La potenza che deve fornire il generatore aumenta a 19 kW da 16,3 (+16,5%). Il costo orario aumenta di conseguenza. **C'è uno spreco energetico e economico**

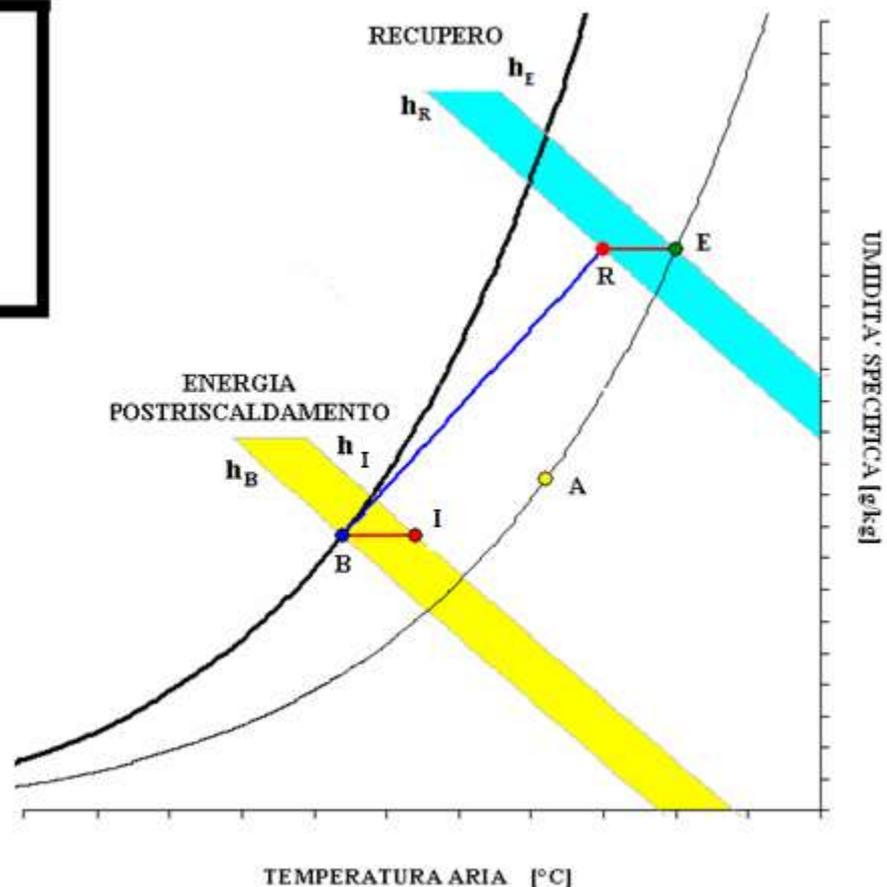
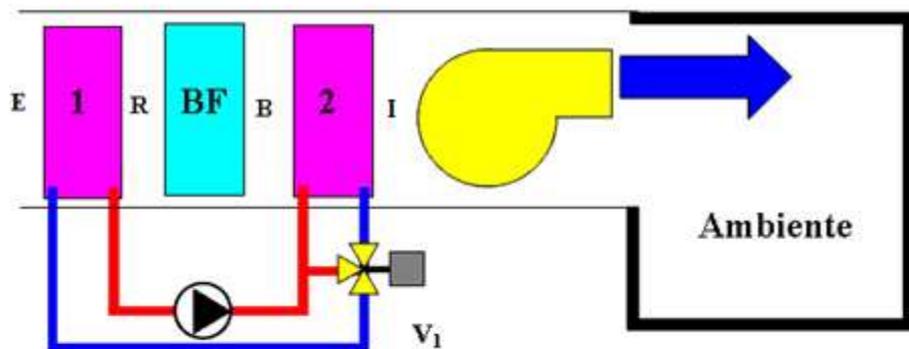
Il sesto gradino

Utilizzo di recuperatori rigenerativo

Fa diminuire E_T

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

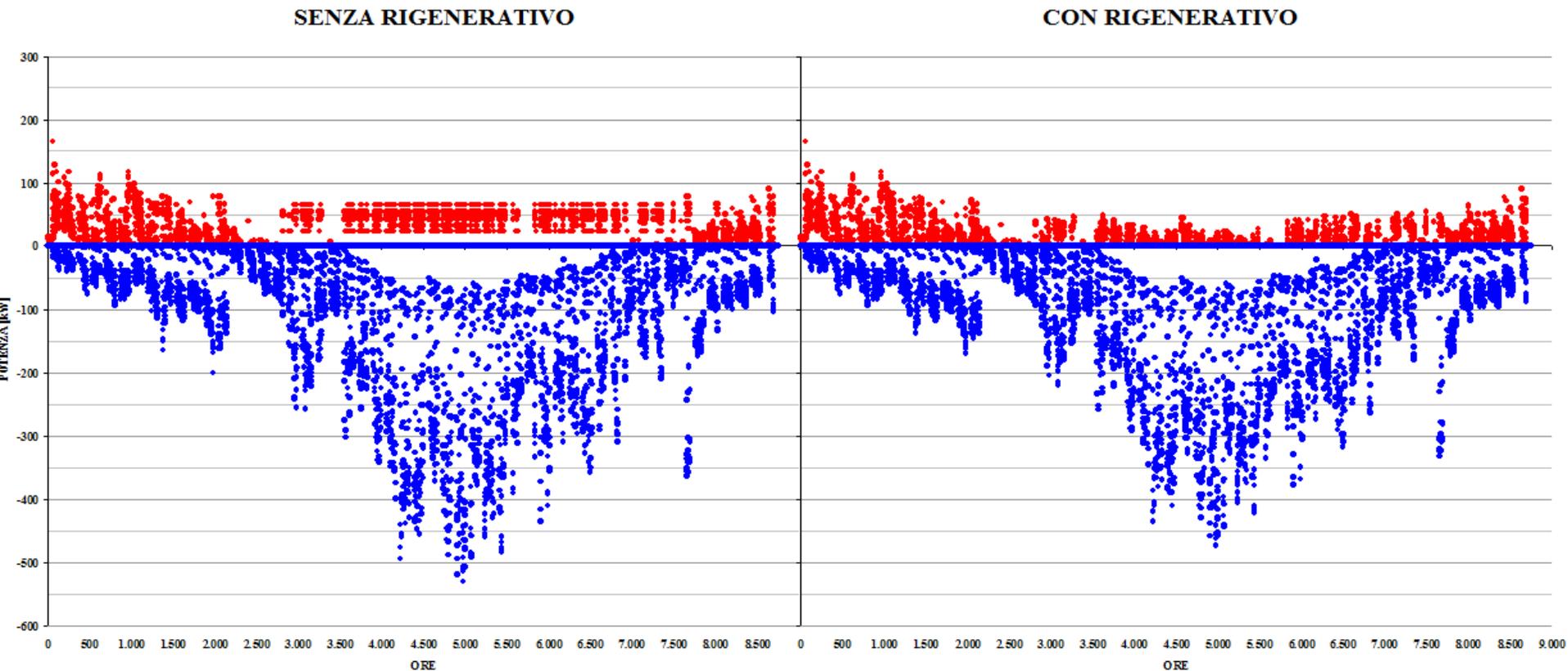
Ha un effetto secondario anche sui generatori



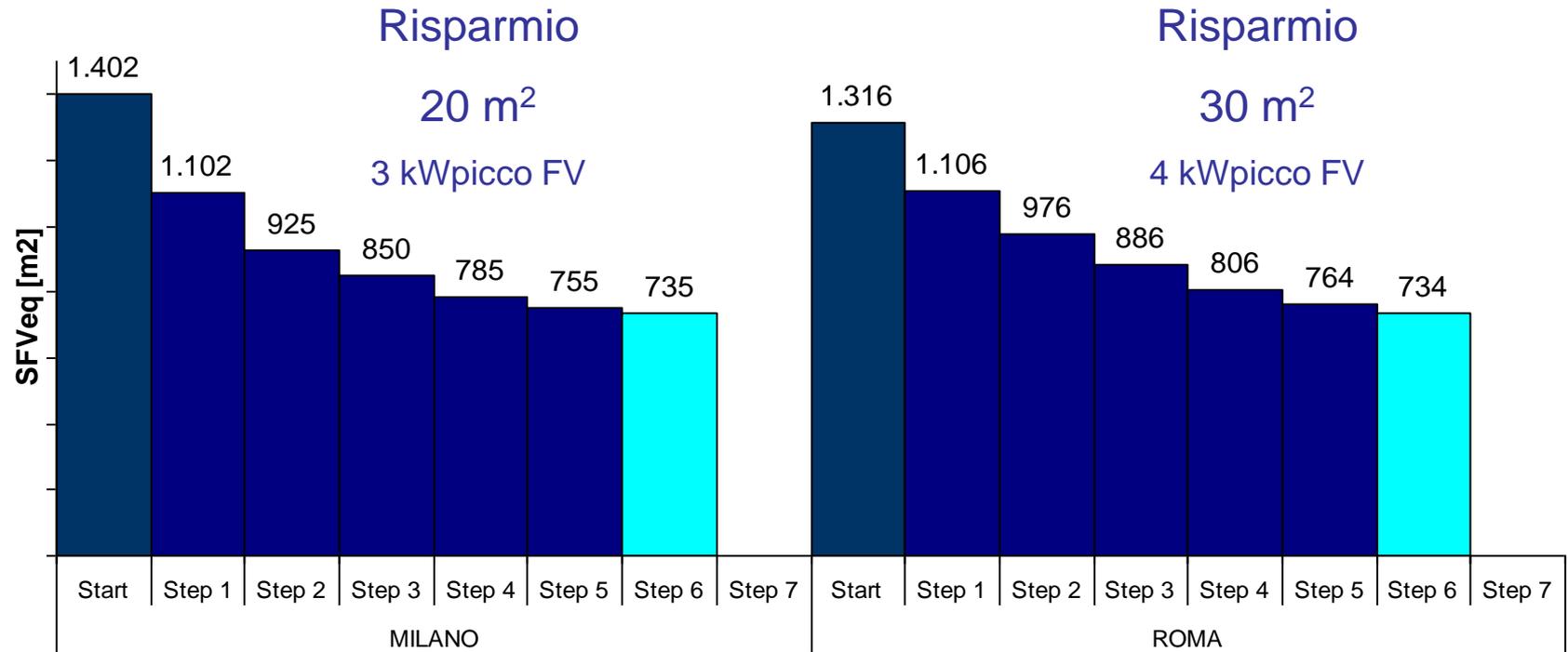
Si sfruttano in estate le batterie di pre e post-riscaldamento. Le due batterie sono collegate tra loro da un circuito idraulico con una pompa e una valvola di regolazione, V_1 , che serve a regolare la potenza della batteria 2, che lavora esattamente come quella di post-riscaldamento.

Il recupero rigenerativo conviene sempre quando si utilizza il post-riscaldamento

ROMA, potenza richiesta ai generatori per ogni ora dell'anno
Edificio Opaco di legge, Recuperatore sensibile



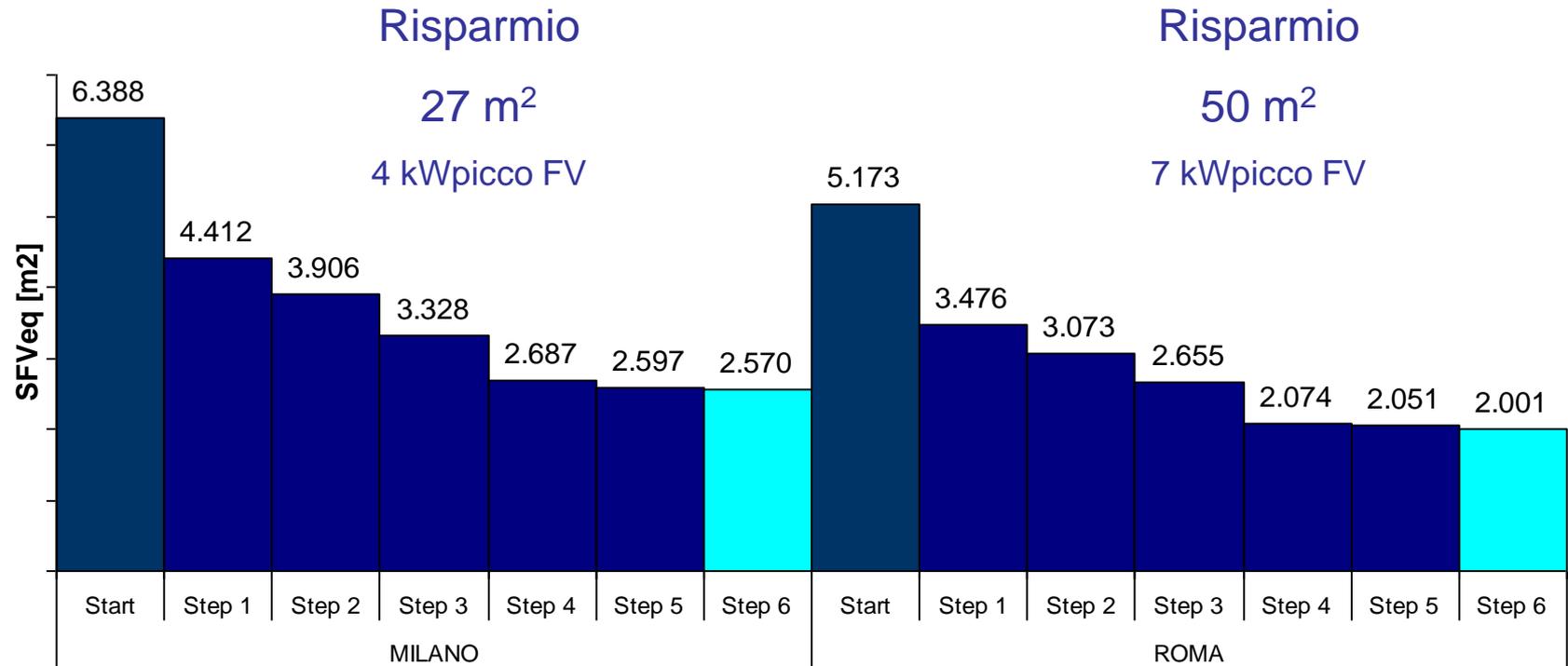
Recuperatore di calore rigenerativo - uffici



Risparmio economico: Milano 600 € Roma 1.000

Costo EE = 0,20 €/kWh

Recuperatore di calore rigenerativo - alberghi



Risparmio economico: Milano 700 € Roma 1.450

Costo EE = 0,17 €/kWh

Il settimo gradino – solo uffici

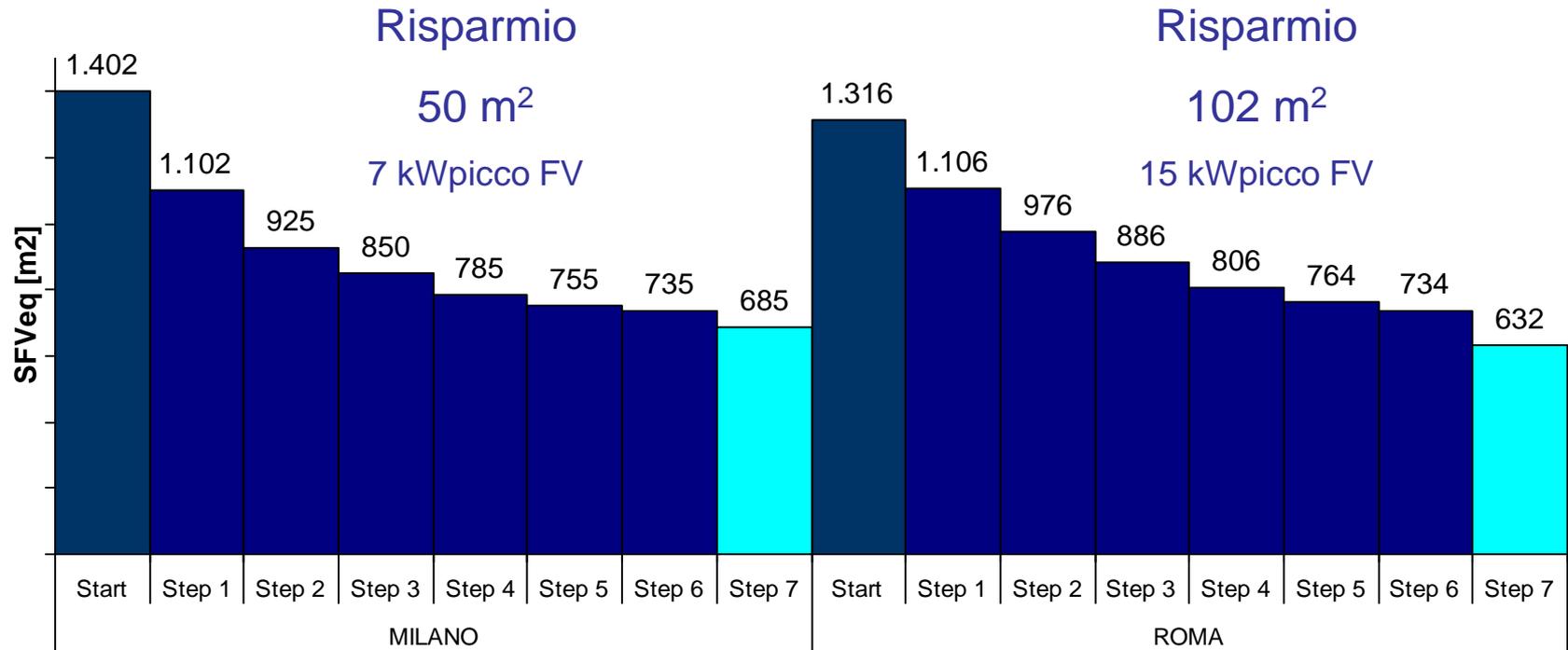
Impianto a tutta aria VAV

Fa diminuire E_T

$$COP_G = \frac{E_T}{E_G + E_V + E_P}$$

Ha un effetto secondario anche sui generatori

Impianto tutta aria VAV - uffici



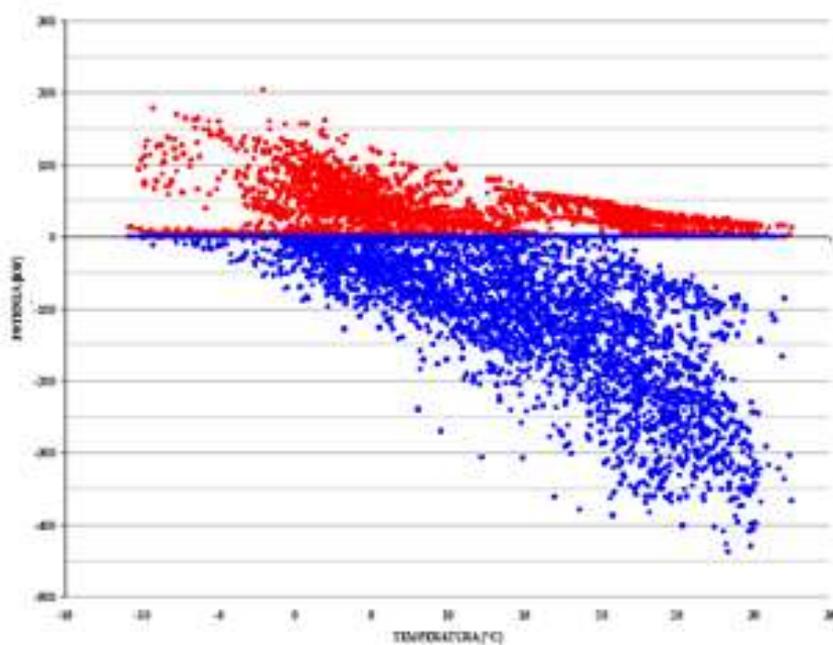
Risparmio economico: Milano 1.500 € Roma 3.500

Costo EE = 0,20 €/kWh

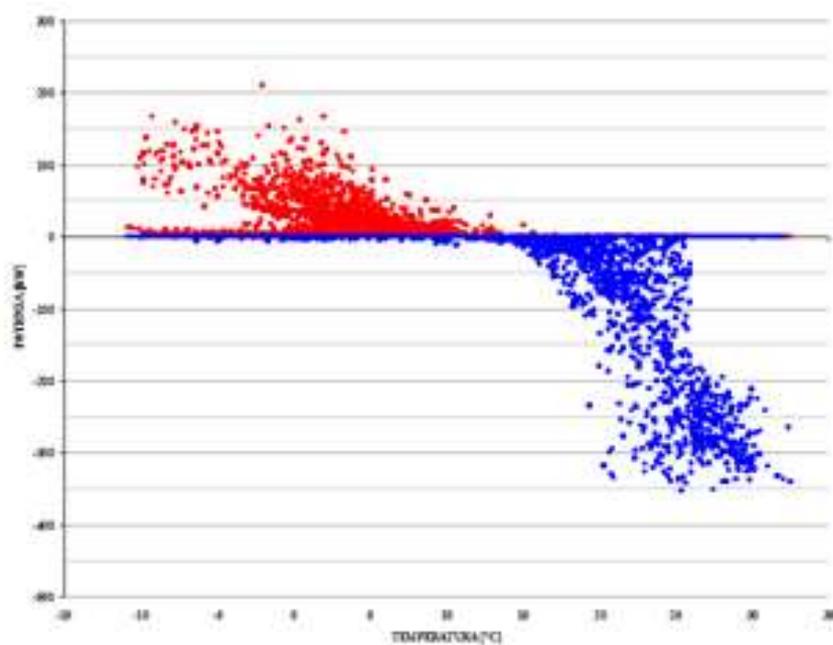
Gli impianti a tutta aria VAV sfruttano meglio il free-cooling, per cui richiedono un minor utilizzo dei gruppi frigoriferi rispetto agli impianti ad aria primaria

Qui sotto si vede il carico richiesto ai generatori dalla migliore soluzione Aria Primari e la migliore soluzione Tutta Aria a Milano, edificio di legge opaco, recuperatore solo sensibile.

Aria Primaria



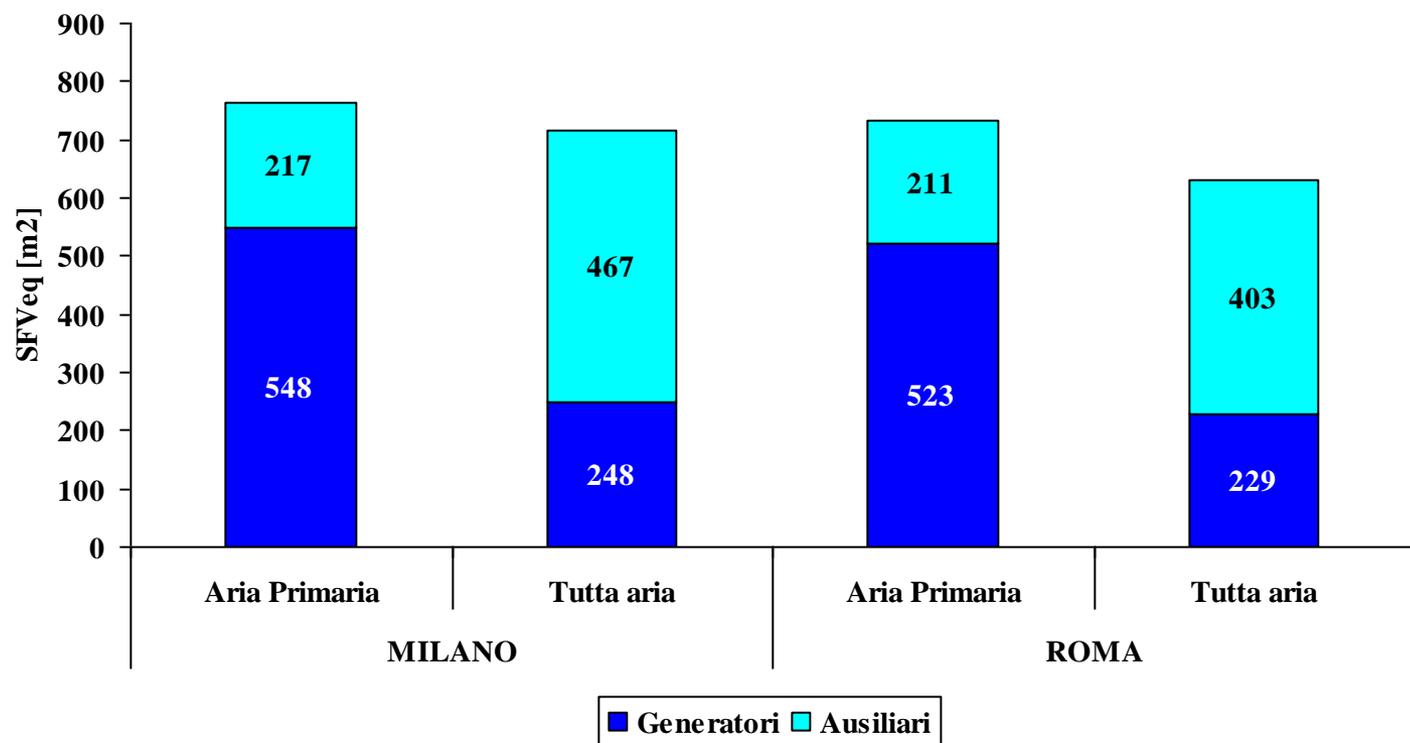
Tutta Aria



Per contro, gli impianti a tutta aria richiedono una maggiore energia per gli ausiliari (i ventilatori consumano molto di più delle pompe).

La figura mostra la ripartizione di spesa energetica tra le soluzioni migliori per un **edificio opaco con isolamento di legge**.

Quindi, bisogna far attenzione nella ristrutturazione, perché per limitare il consumo dei ventilatori, c'è bisogno di canali di grande dimensioni, quindi di spazio.



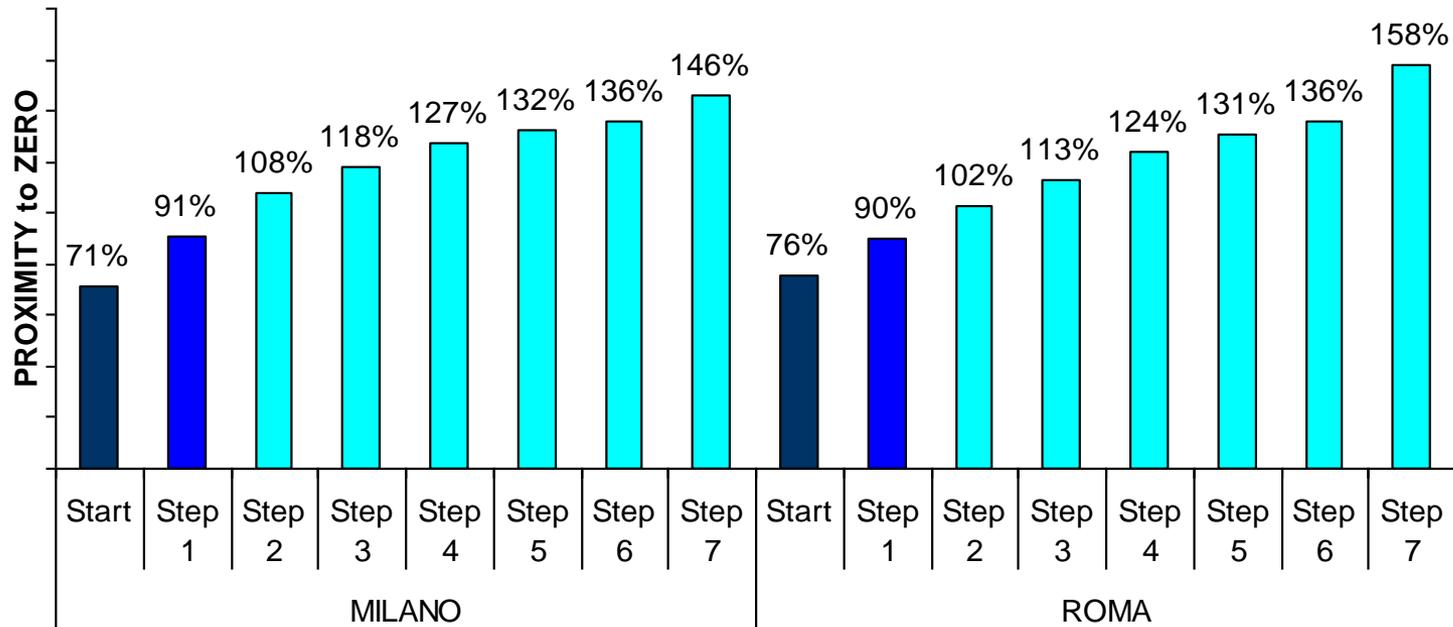
Il concetto di Proximity to Zero

Il concetto di Proximity to Zero

Finora si è ragionato solo in termini di Superficie fotovoltaica equivalente, indice che stabilisce la qualità energetica del sistema Edificio – Impianto.

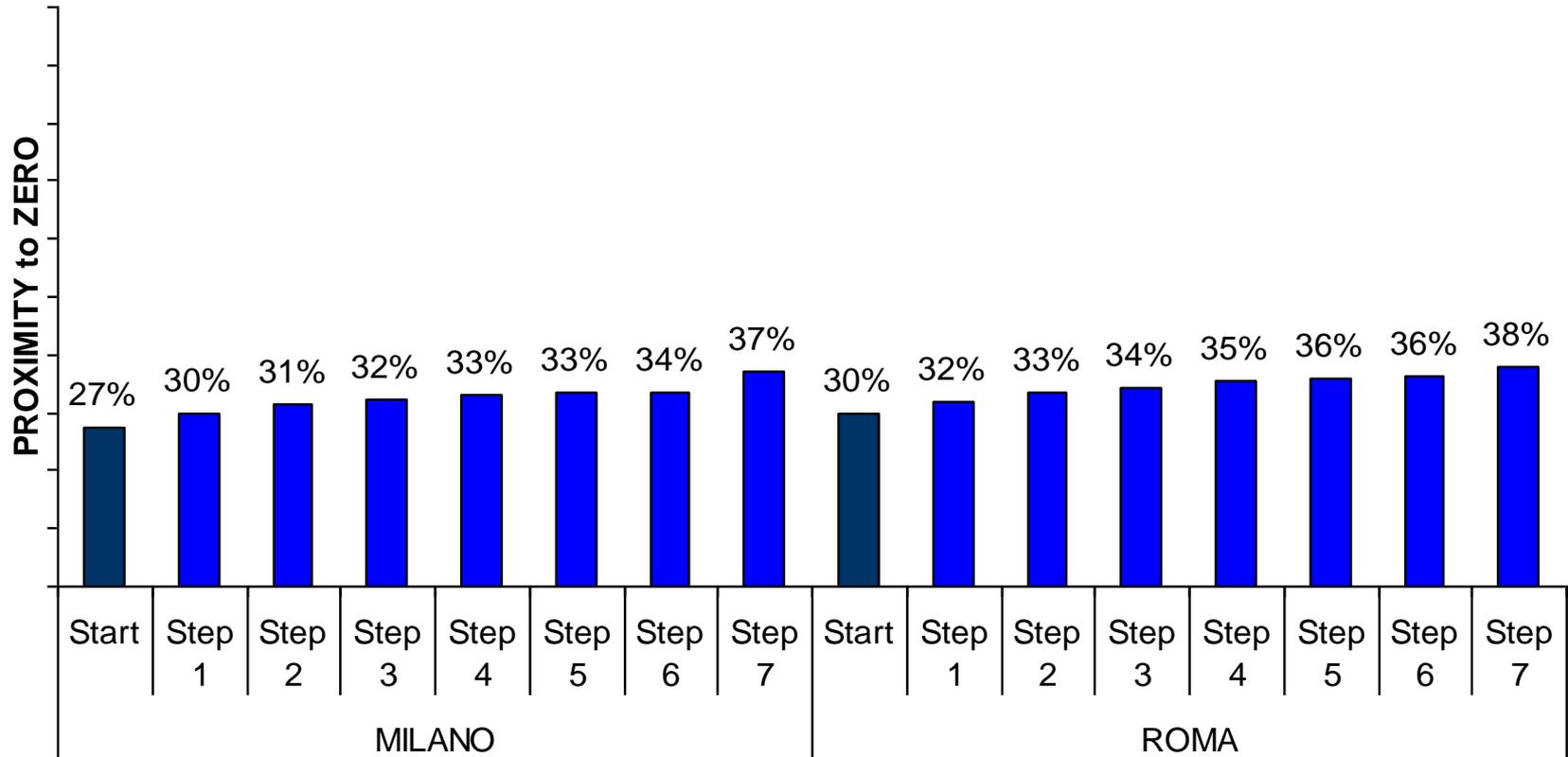
Tuttavia non sempre è possibile installare tutta la superficie necessaria: bisogna allora ragionare in termini di **Proximity to Zero**

UFFICI – SOLO IMPIANTI



La superficie massima installabile è 1000 m². Tutti le soluzioni con SFVeq minore di tale valore, hanno un **PtZ > 100%** e producono più energia di quanta ne consumi l'impianto. C'è energia disponibile anche per gli altri consumi

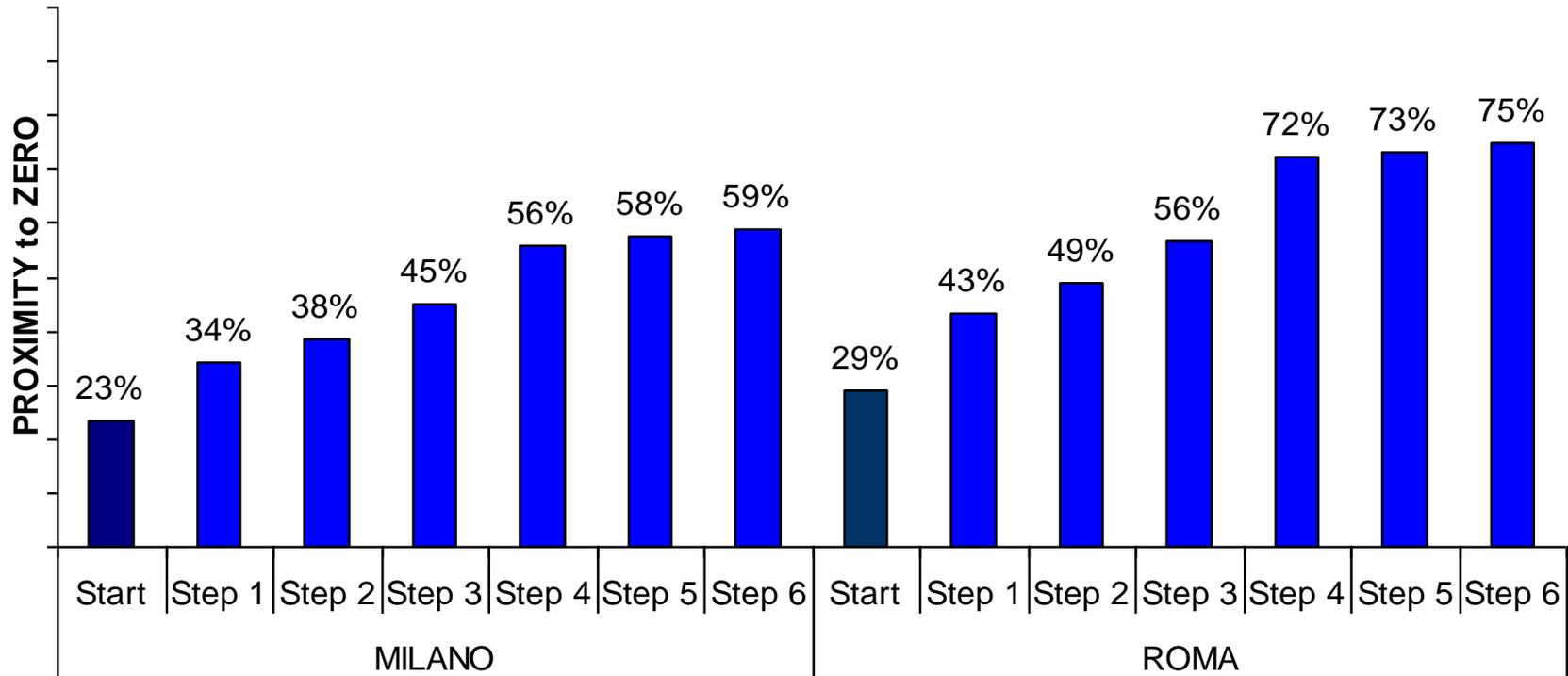
UFFICI – INTERO EDIFICIO



Il consumo dell'edificio richiede una SFVeq ulteriore di 2.250 m² a Milano e 2.020 m² a Roma (Roma ha un irraggiamento maggiore).

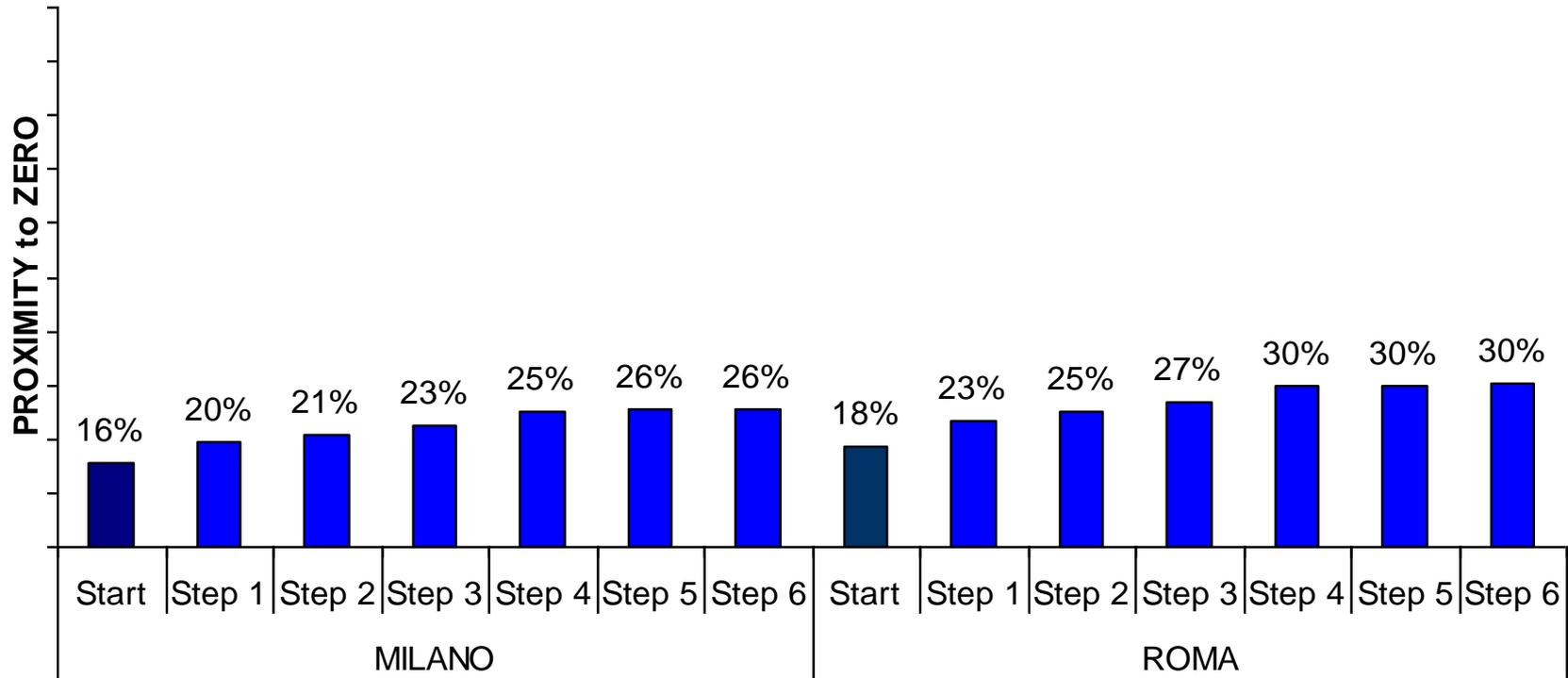
Nessun soluzione raggiunge il valore PtZ = 100%, anzi si è ben lontani.

ALBERGO – SOLO IMPIANTI



La superficie massima installabile è 1.500 m². Tutte le soluzioni sono ben distanti dal valore PtZ = 100%, anche solo per la parte impianti.

ALBERGHI – INTERO EDIFICIO



Il consumo dell'edificio richiede una SFVeq ulteriore di 3.280 m² a Milano e 2.950 m² a Roma (Roma ha un irraggiamento maggiore).

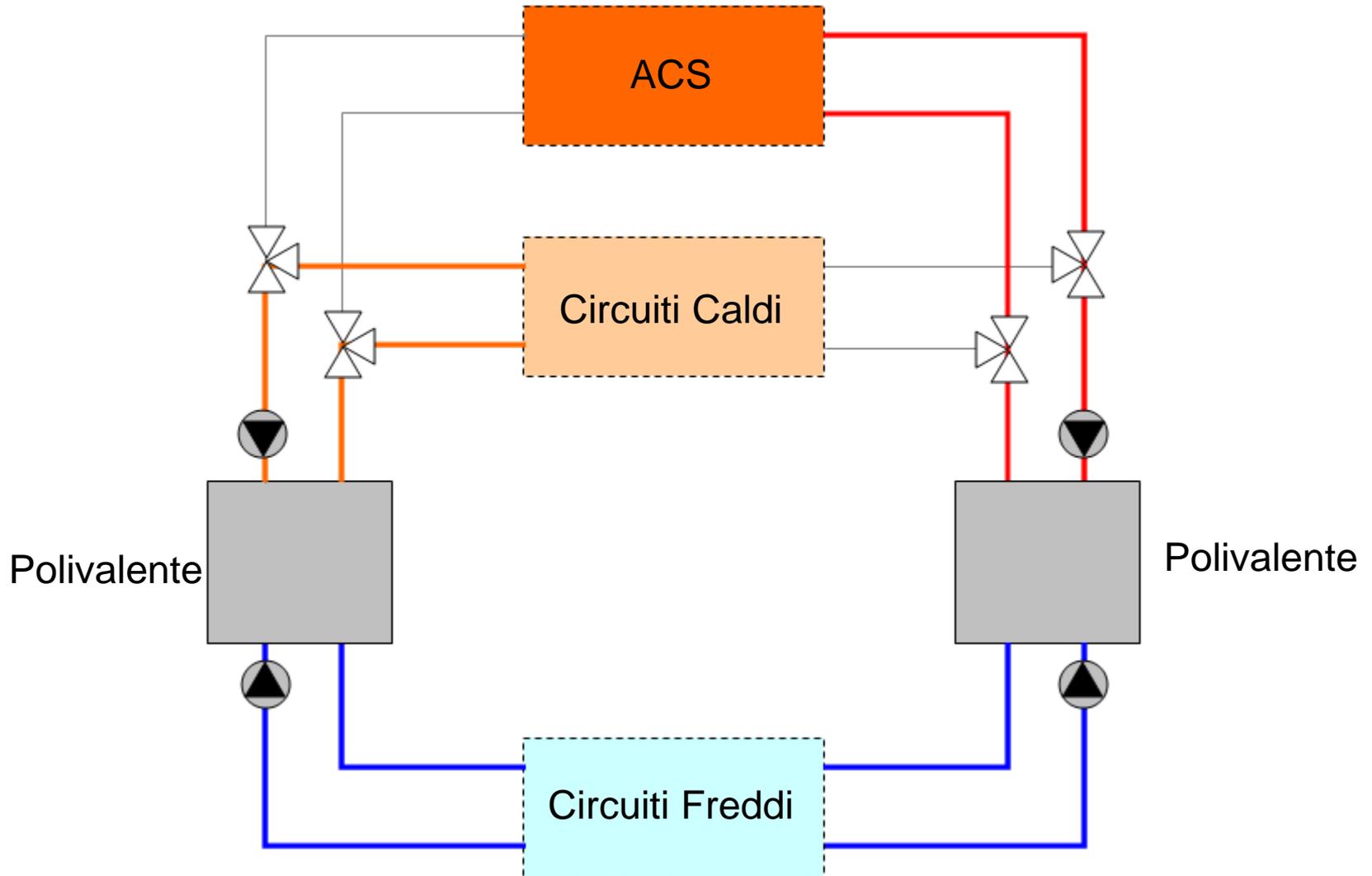
Si è molto distanti dal valore PtZ = 100%.

La produzione di acqua calda sanitaria negli Hotel

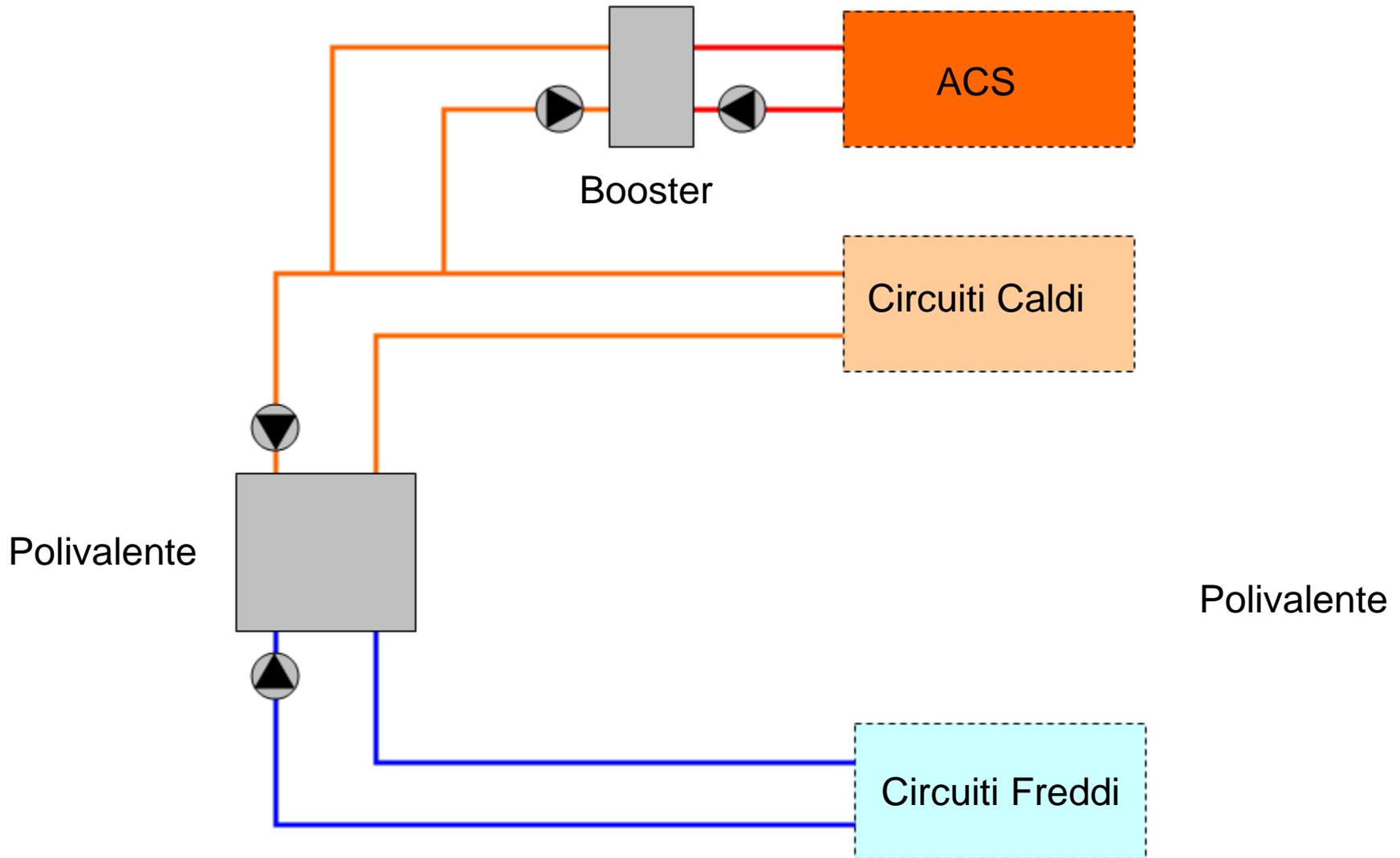
5 diversi sistemi di produzione

- 1) Caldaia
- 2) Caldaia + Gruppo Frigorifero
- 3) Solo Polivalente
- 4) Polivalente + Booster per produzione a 60°C
- 5) Polivalente (fino a 45°C) + Caldaia (fino a 60°C)

3) Solo Polivalente



4) Polivalente + Booster



5) Polivalente + Caldaia (lato caldo ACS)

