



Efficienza e redditività degli impianti termofrigoriferi

Modena, 23.05.18





Come migliorare l'efficienza energetica attraverso l'impiantistica

Ing Lorenzo Strauss
T.E.S.I. Engineering s.r.l.





0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI

idronica

multisplit



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●
Semplicità installazione	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●
Semplicità installazione	●	●
Precisione regolazione	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●
Semplicità installazione	●	●
Precisione regolazione	●	●
Flessibilità uso	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●
Semplicità installazione	●	●
Precisione regolazione	●	●
Flessibilità uso	●	●
Impatto ambientale	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●
Semplicità installazione	●	●
Precisione regolazione	●	●
Flessibilità uso	●	●
Impatto ambientale	●	●
Costo refrigerante	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●
Semplicità installazione	●	●
Precisione regolazione	●	●
Flessibilità uso	●	●
Impatto ambientale	●	●
Costo refrigerante	●	●
Pericolo gelo, tratt. termovett.	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

CRITERI COMPARATIVI	idronica	multisplit
Semplicità concettuale	●	●
Semplicità installazione	●	●
Precisione regolazione	●	●
Flessibilità uso	●	●
Impatto ambientale	●	●
Costo refrigerante	●	●
Pericolo gelo, tratt. termovett.	●	●
Numero degli scambi termici	●	●



0. Climatizzazione idronica, perché?

Le alternative:

refrigerazione d'acqua e distribuzione idronica

sistemi splittati con scambio refrigerante/aria diretto

I vantaggi del «multisplit»:

semplicità ed economicità nel mercato «potenze ridotte»

assenza di acqua, trattamenti relativi, pericolo di gelo

I vantaggi dei sistemi idronici:

semplicità installazione

flessibilità e precisione regolazione

ridotta quantità e costo del refrigerante

ridotto impatto distributivo, anche in caso di perdita



0. Climatizzazione idronica, perché?

Caratteristiche alle varie potenzialità:

sistemi idronici: efficienze crescenti, costi «men-che-proporzionali»

sistemi splittati: efficienze costanti, costi proporzionali

Gli orientamenti di mercato:

«presidio» dei sistemi split del mercato di ridotta potenzialità

prevalenza dei sistemi idronici nel mercato di elevata potenzialità

sistemi split vocati a impianti «modulari»

sistemi idronici indispensabili per centralizzazioni spinte

tradizioni e «culture tecniche» diverse, in evoluzione



L'interfaccia macchina-impianto

...il mondo dei frigoristi ...

??

??

??

«ritorno» del lubrificante
congelamento dell'evaporatore
intermittenza dei compressori
controllo della temperatura

??

??

??

...il modo dei progettisti ...

!!!

!!!

!!!

temperatura «fluido caldo»
circolazione «fluido freddo»
inerzia termica del sistema
termoregolazione dell'acqua

!!!

!!!

!!!



L'interfaccia macchina-impianto

...il mondo dei frigoristi ...

??

??

??

«ritorno» del lubrificante
congelamento dell'evaporatore
intermittenza dei compressori
controllo della temperatura

??

??

??

...il modo dei progettisti ...

!!!

!!!

!!!

temperatura «ridotti»
efficienza «ridotti»
circolazione «portata»
sistemi «ideali»
accensione «circuiti»
inertialità «sistemi»
termoregolazione «regolazione»

!!!

!!!

!!!



1. Efficienza con *lift* ridotti

Il funzionamento «extra-estivo»: circostanze e opportunità lato «caldo» di funzionamento a temperatura moderata

circostanza tipica di :

- raffreddamenti di processo

- climatizzazione di edifici con elevati carichi solari o interni

opportunità di:

- abbassare la temperatura di condensazione

- ridurre il *lift* e aumentare l'efficienza energetica



1. Efficienza con *lift* ridotti

Il funzionamento «extra-estivo»: le criticità

i limiti tecnologici nell'esercizio a *lift* ridotti:

→ ridotte differenze di pressione

→ scarsa circolazione del lubrificante

salvaguardia della lubrificazione

limitazione delle portate aria di raffreddamento (aria-acqua)

limitazione inferiore temp. acqua raffreddamento (acqua-acqua)



1. Efficienza con *lift* ridotti

Il funzionamento «extra-estivo»: rimedi e risultati

ricorso a sistemi alternativi

circolazione dell'olio con pompa dedicata

ricorso a compressori «oil free» (centrifughi)

temperature minime «pratiche» ritorno acqua lato caldo:

compressori volumetrici lubrificati (vite, orbitali): 21-23°C

compressori centrifughi: 12-14°C

effetti sull'efficienza energetica:

riduzione del lift: da $24-6 = 18 \text{ K}$ a $15-6 = 9 \text{ K}$

raddoppio teorico efficienza termodinamica (nelle condizioni indicate)



2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Il «totem» della *portata costante*

«requisito indispensabile per assicurare prestazioni e affidabilità»

$Q \text{ cost} \rightarrow v \text{ cost} \rightarrow Re \text{ cost} \rightarrow \alpha \text{ cost} \rightarrow K \text{ cost} \rightarrow t_{ev} \text{ cost}$

→ lift costanti, efficienze costanti

→ assenza pericolo di gelo



2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Portata variabile, perché?

Attenzione crescente ai consumi ausiliari

Valore «primario» dell'energia elettrica

La «lezione» del teleriscaldamento

«Trasportiamo il termovettore strettamente necessario...»

Incidenza della circolazione sulla generazione di freddo

$$F_c = 100 \%$$

$$P_f = 1000 \text{ kW}$$

$$\text{EER} = 4$$

$$P_{\text{comp}} = 250 \text{ kW}$$

$$\Delta t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 172 \text{ mc/h}$$

$$h = 20 \text{ m}$$

$$\eta = 0,6$$

$$P_{\text{circ}} = 16 \text{ kW}$$

$$P_{\text{circ}} / P_{\text{comp}} = 6 \%$$



2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Portata variabile, perché?

$F_c = 100 \%$	$P_f = 1000 \text{ kW}$	$EER = 4$	$P_{\text{comp}} = 250 \text{ kW}$	
$\Delta t = 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$	$Q = 172 \text{ mc/h}$	$h = 20 \text{ m}$	$\eta = 0,6$	$P_{\text{circ}} = 16 \text{ kW}$
$P_{\text{circ}} / P_{\text{comp}} = 6 \%$				

$F_c = 50 \%$	$P_f = 500 \text{ kW}$	$EER = 4$	$P_{\text{comp}} = 125 \text{ kW}$	
$\Delta t = 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$Q = 172 \text{ mc/h}$	$h = 20 \text{ m}$	$\eta = 0,6$	$P_{\text{circ}} = 16 \text{ kW}$
$P_{\text{circ}} / P_{\text{comp}} = 12 \%$				

$F_c = 50 \%$	$P_f = 500 \text{ kW}$	$EER = 4$	$P_{\text{comp}} = 125 \text{ kW}$	
$\Delta t = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$	$Q = 107 \text{ mc/h}$	$h = 8 \text{ m}$	$\eta = 0,6$	$P_{\text{circ}} = 4 \text{ kW}$
$P_{\text{circ}} / P_{\text{comp}} = 3 \%$				



2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

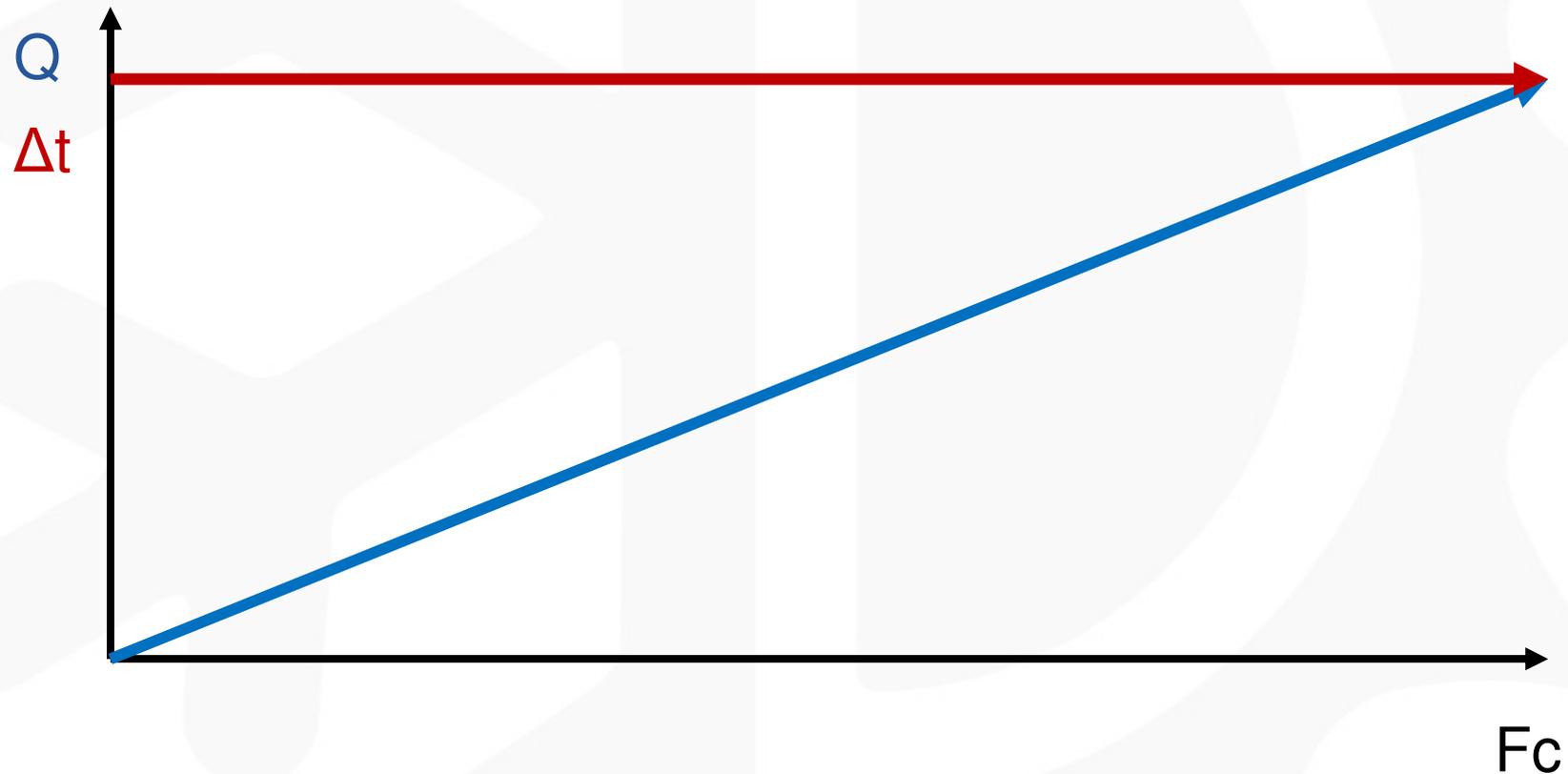
Portata variabile: quali limiti?





2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

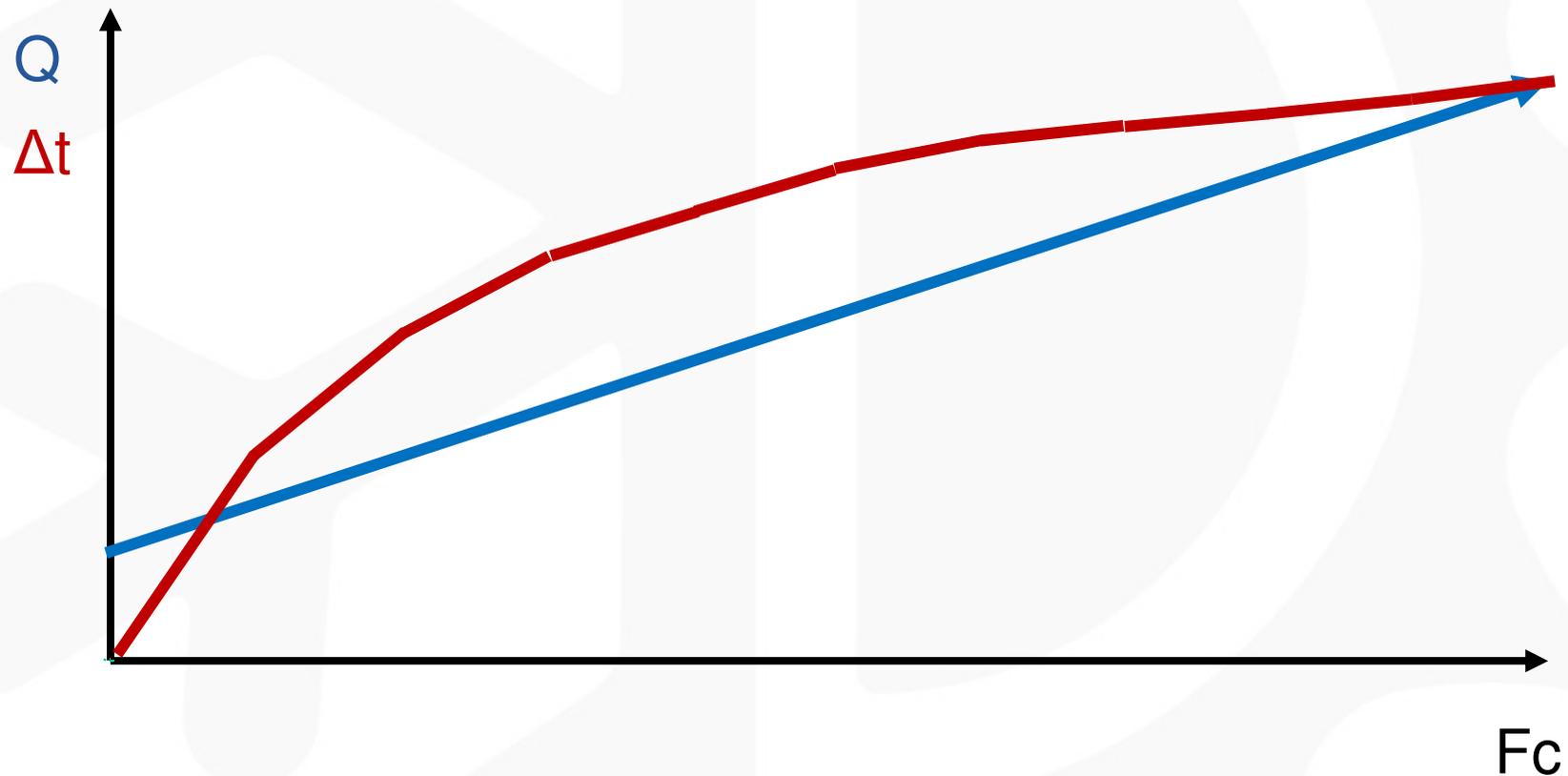
Portata variabile: quali limiti?





2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

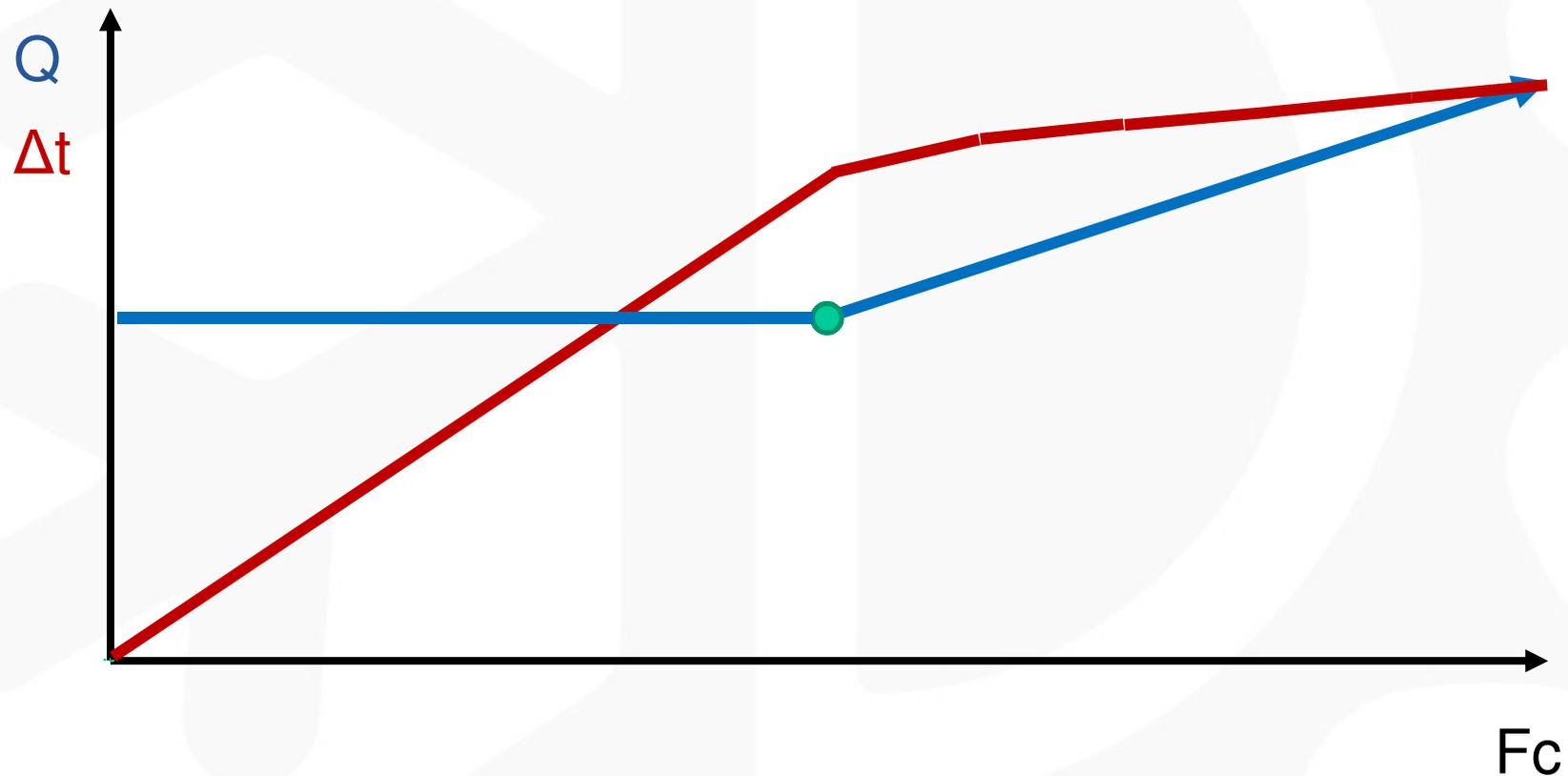
Portata variabile: quali limiti?





2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

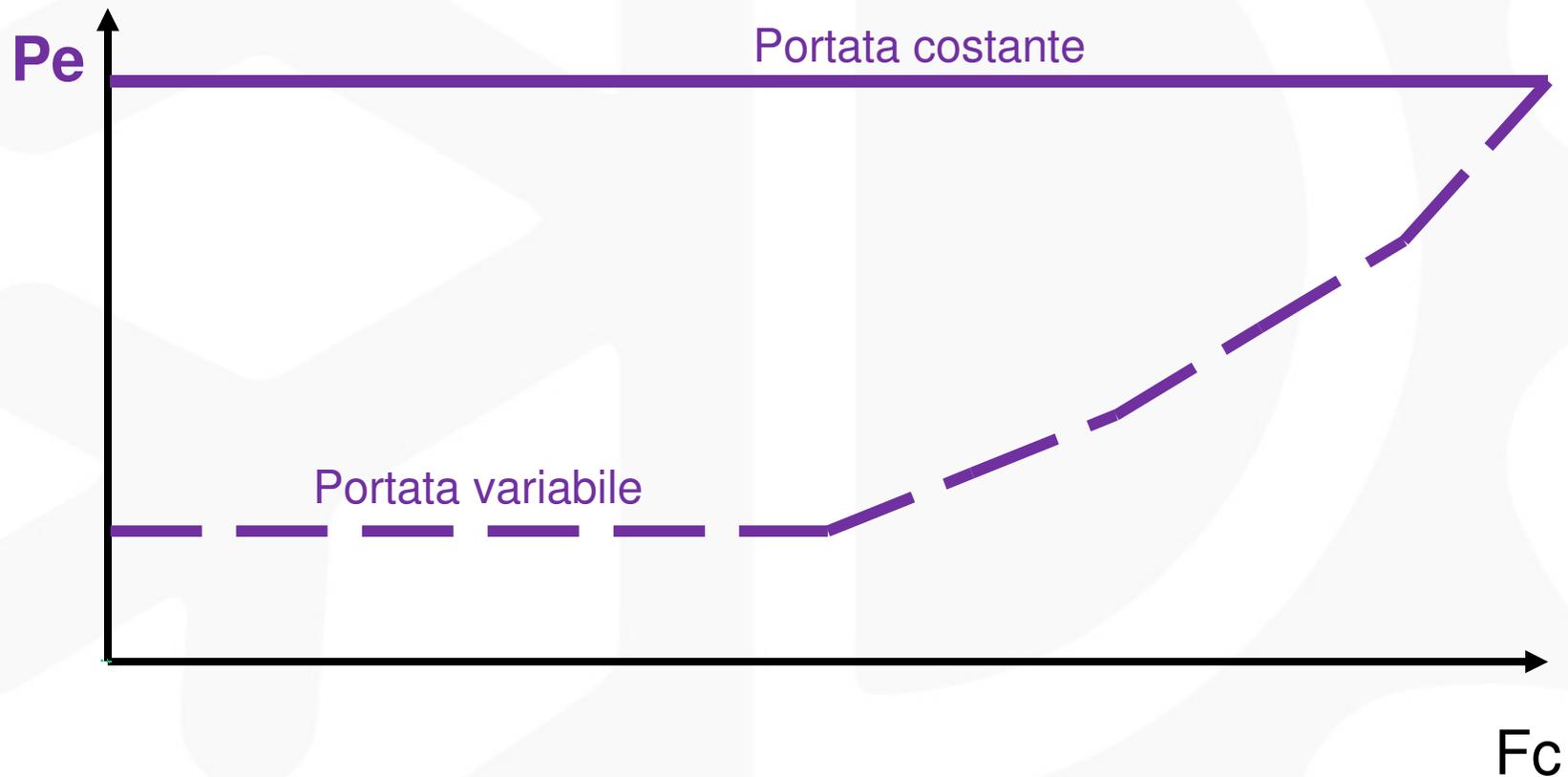
Portata variabile: quali limiti?





Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Portata variabile: quali vantaggi?





2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Circuiti utilizzatori a portata variabile

Modulazione portata terminale con valvola a 2 vie (non a 3)

Circuiti miscelati con valvola a 3 vie (non a 4)

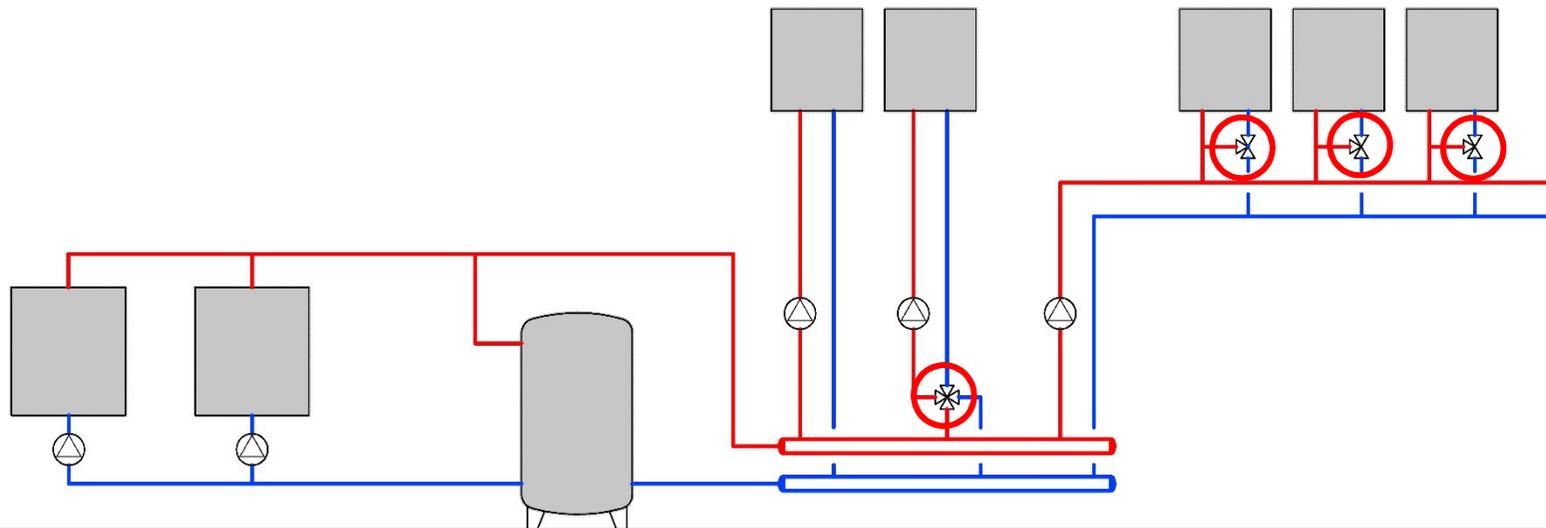


2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Circuiti utilizzatori a portata variabile

Modulazione portata terminale con valvola a 2 vie (non a 3)

Circuiti miscelati con valvola a 3 vie (non a 4)



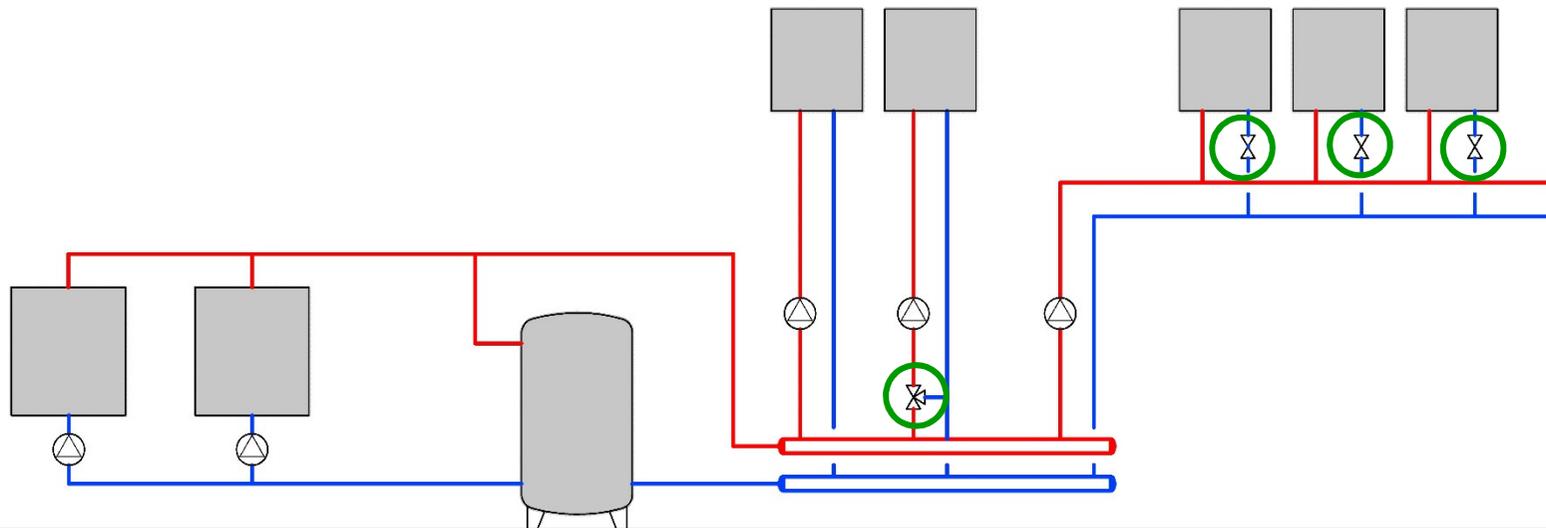


2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Circuiti utilizzatori a portata variabile

Modulazione portata terminale con valvola a 2 vie (non a 3)

Circuiti miscelati con valvola a 3 vie (non a 4)





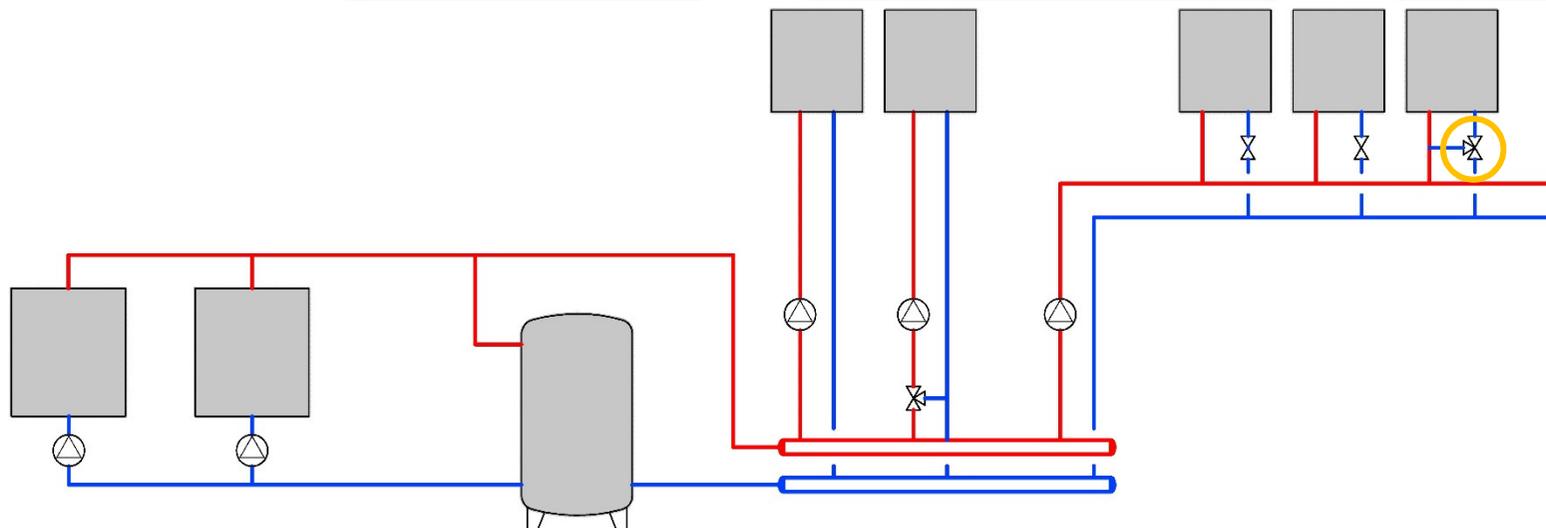
2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Circuiti utilizzatori a portata variabile

Modulazione portata terminale con valvola a 2 vie (non a 3)

Circuiti miscelati con valvola a 3 vie (non a 4)

Eventuale by-pass di fine linea (x garantire portata minima)





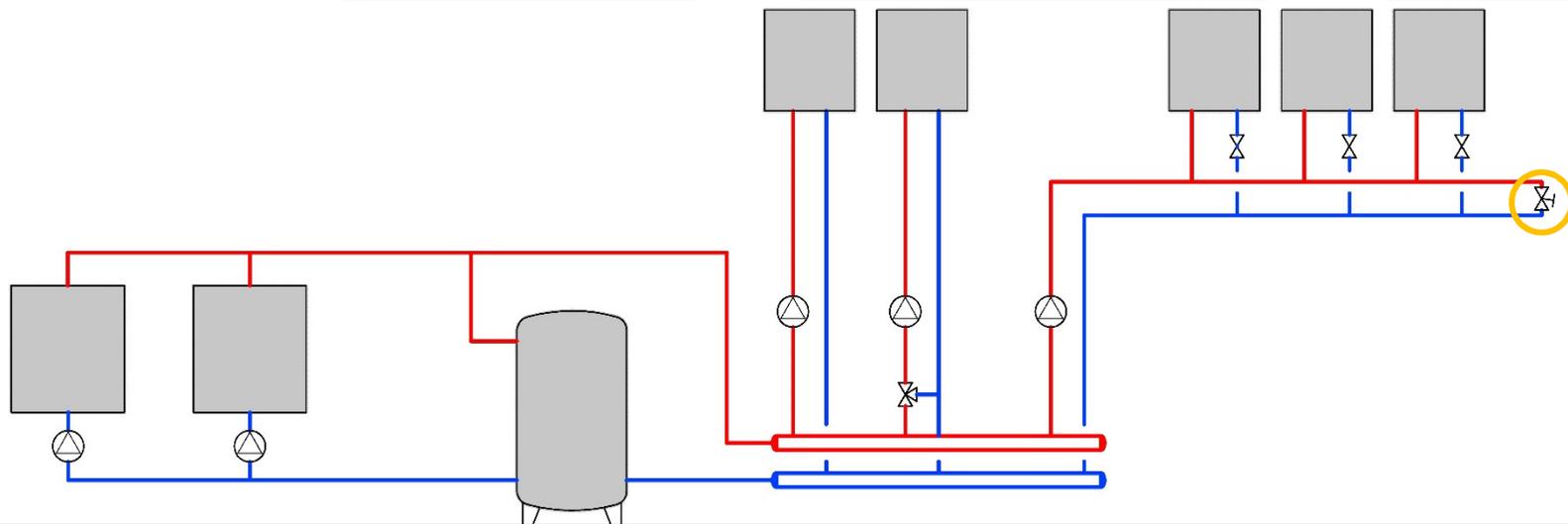
2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Circuiti utilizzatori a portata variabile

Modulazione portata terminale con valvola a 2 vie (non a 3)

Circuiti miscelati con valvola a 3 vie (non a 4)

Eventuale by-pass di fine linea (x garantire portata minima)





2. Sistemi idronici: portata fissa o variabile?

Circuiti utilizzatori a portata variabile

Modulazione portata terminale con valvola a 2 vie (non a 3)

Circuiti miscelati con valvola a 3 vie (non a 4)

Eventuale by-pass di fine linea (x garantire portata minima)

Pompa a regime di rotazione variabile

Attivazione con orari-calendari liberi

Protezione del refrigeratore da variazioni incontrollate

Separazione idraulica tra circuiti primari e secondari

Circuiti primari a portata variabile

Limiti di modulazione da verificare col costruttore del gruppo



3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Mercato sempre più attento all'esercizio «reale»

prestazioni medie stagionali

capacità di parzializzazione dei gruppi

Funzionamento a carichi parziali

gruppi monostadio (on-off)

gruppi a gradini di regolazione:

compressori con parzializzazione delle testate

compressori in parallelo di pari taglia

compressori in parallelo di diversa taglia

gruppi modulanti (da XX a 100%)

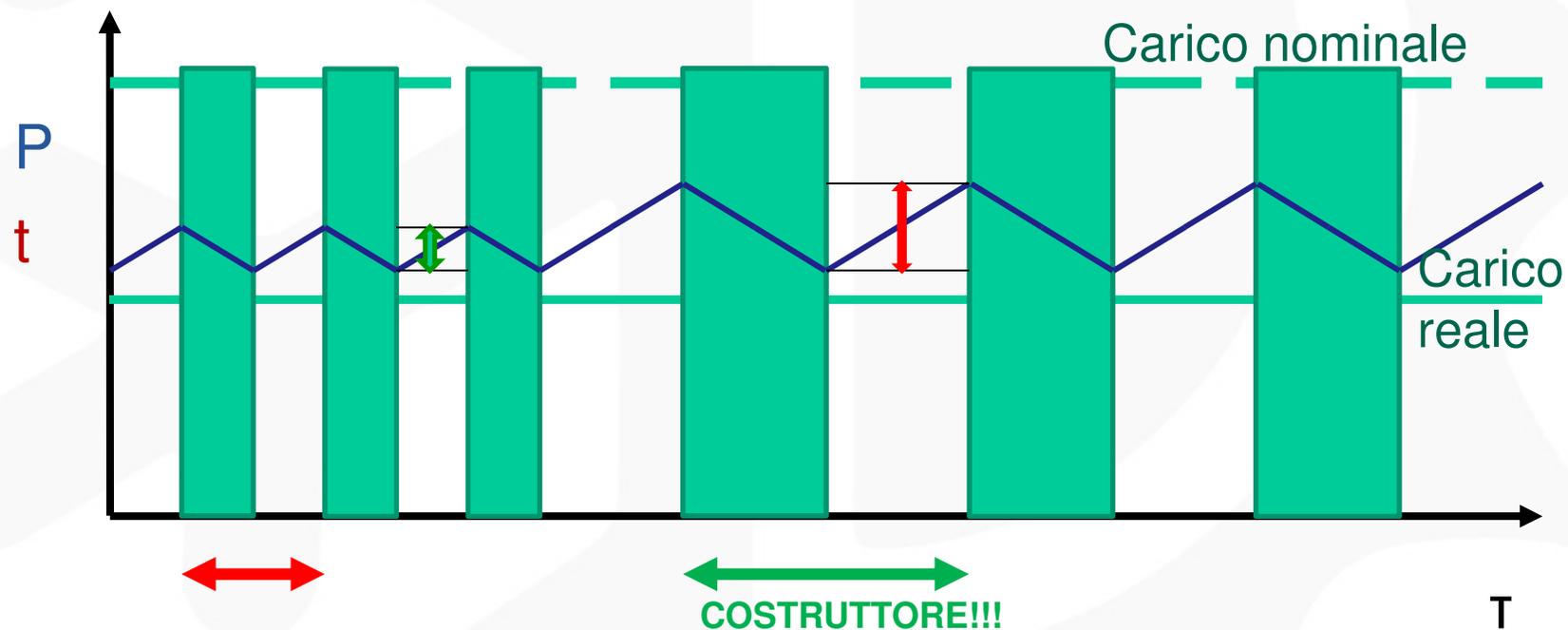


3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Le conseguenze negative dell'intermittenza

cicli di avviamento-spegnimento ravvicinati

discomfort per oscillazioni di temperatura dell'acqua





3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Dimensionamento accumulo: considerazioni

diffidare dalle «formule magiche»

calcolare il volume inerziale necessario:

$$V = P \times \tau / (\Delta t \times c)$$

V = volume inerziale (mc)

P = potenza da compensare (kW)

τ = tempo di ciclo minimo (h)

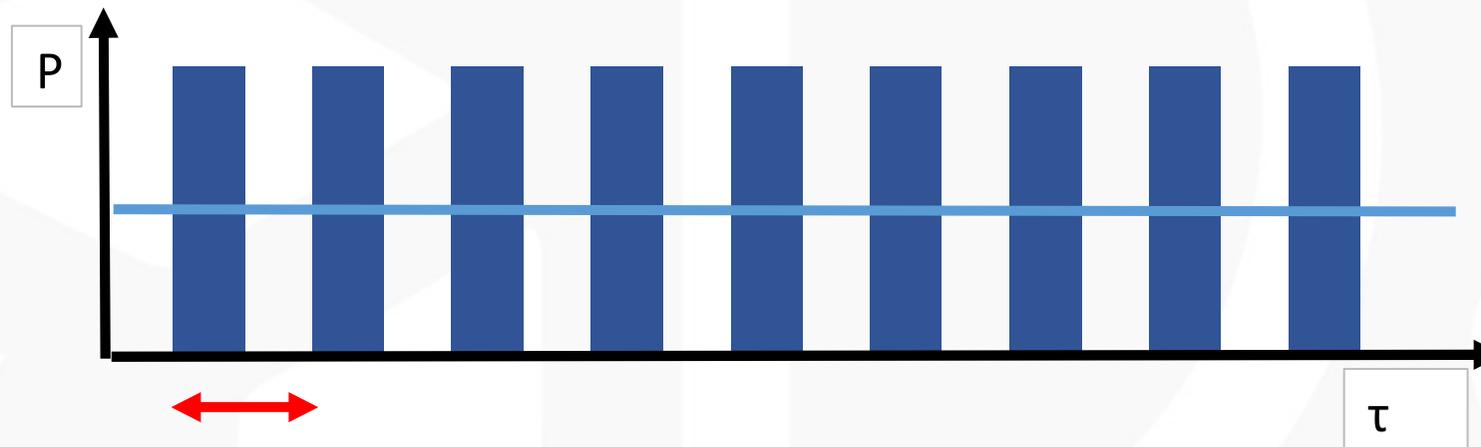
Δt = fluttuazione di temperatura ammessa (K)

c = calore specifico acqua (Wh/kg K)



3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Dimensionamento accumulo: casi tipici
monostadio (on-off)

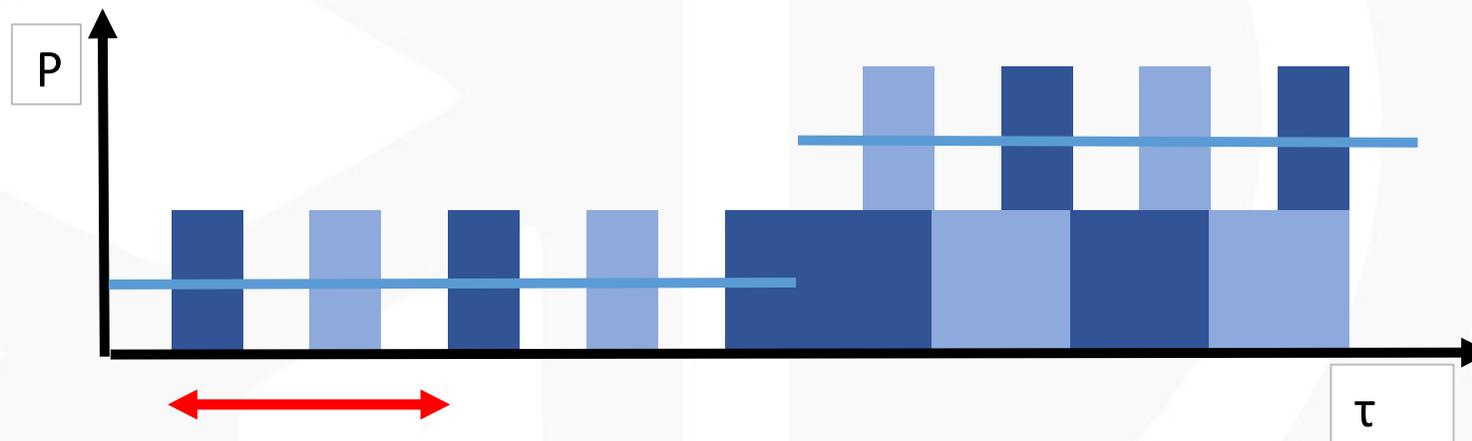




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Dimensionamento accumulo: casi tipici

bistadio simmetrico (2 gradini)

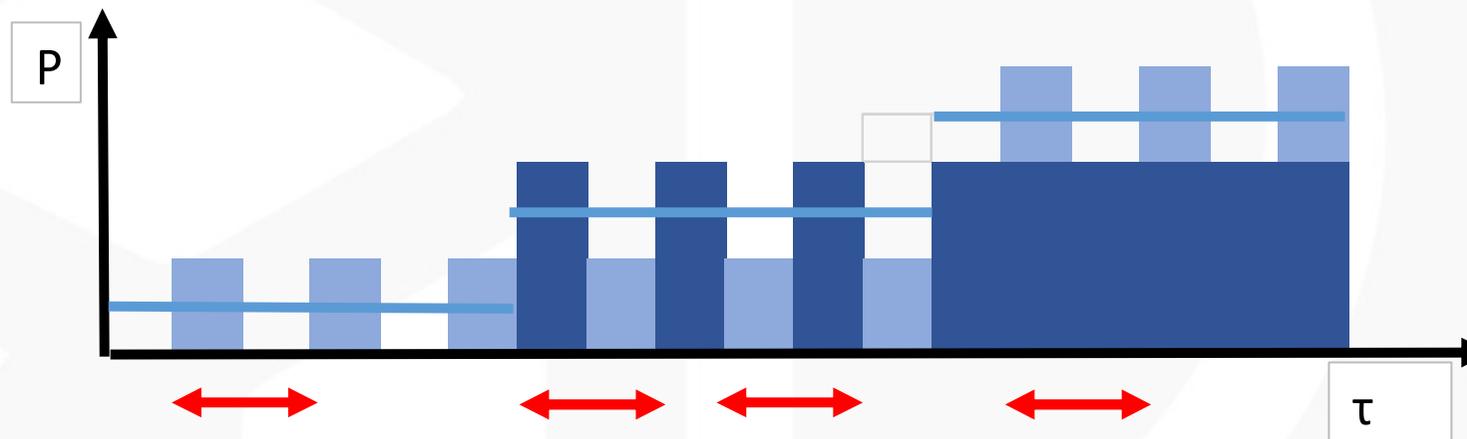




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Dimensionamento accumulo: casi tipici

bistadio asimmetrico (3 gradini)

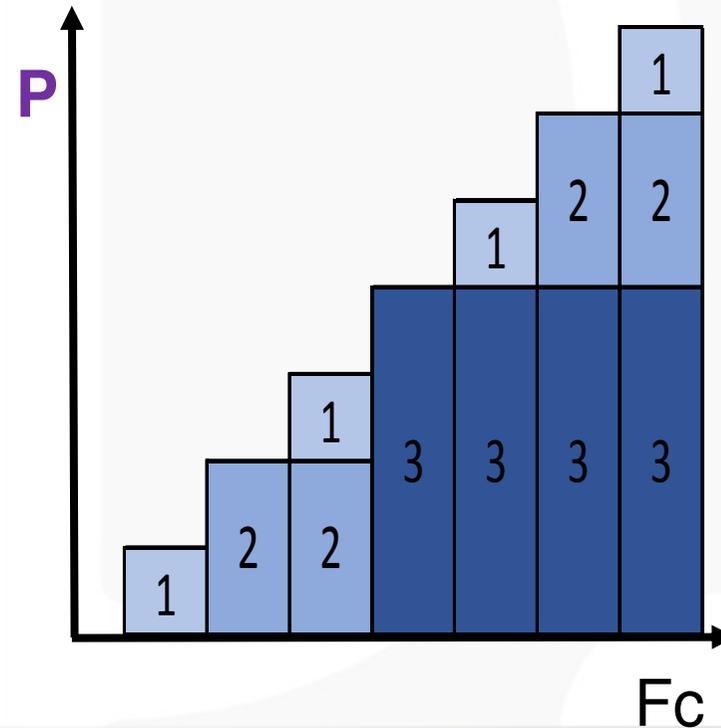
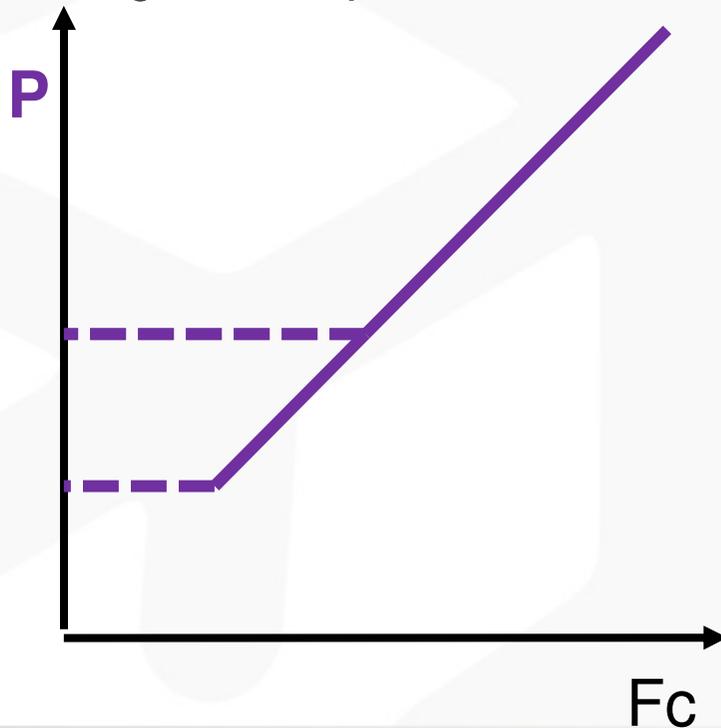




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Dimensionamento accumulo: casi tipici

modulante continuo con soglia minima di modulazione
a gradini «quasi-continuo»





3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Dimensionamento accumulo: considerazioni

diffidare dalle «formule magiche»

calcolare il volume inerziale necessario

destrarre il volume di impianto «attivo»

volume di termovettore interessato da circolazione

nella circostanza in cui è richiesto effetto inerziale

considerare le soglie minime di modulazione

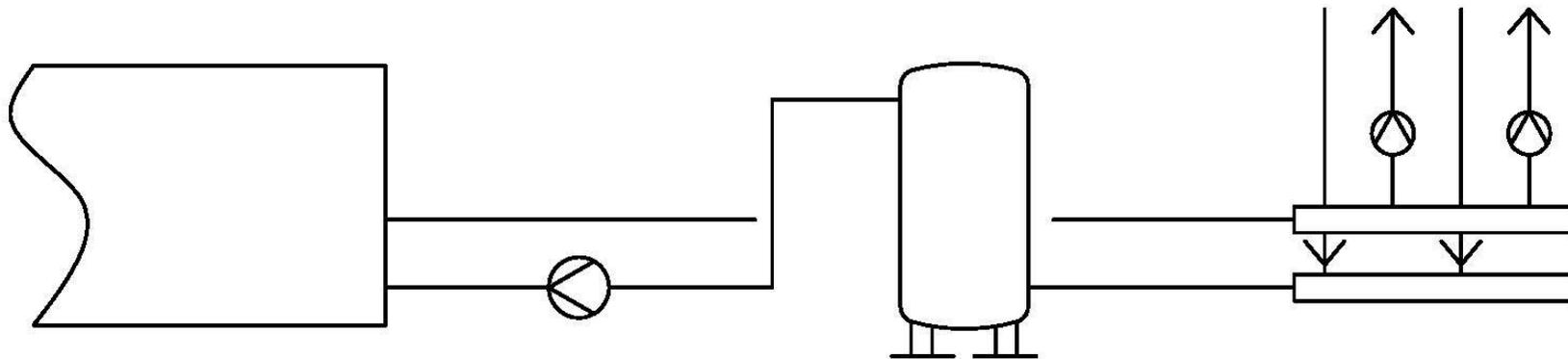
valutare le rotazioni cicliche tra diversi gruppi



3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale dell'accumulo

inserzione «a 2 tubi» (in serie sul ritorno)

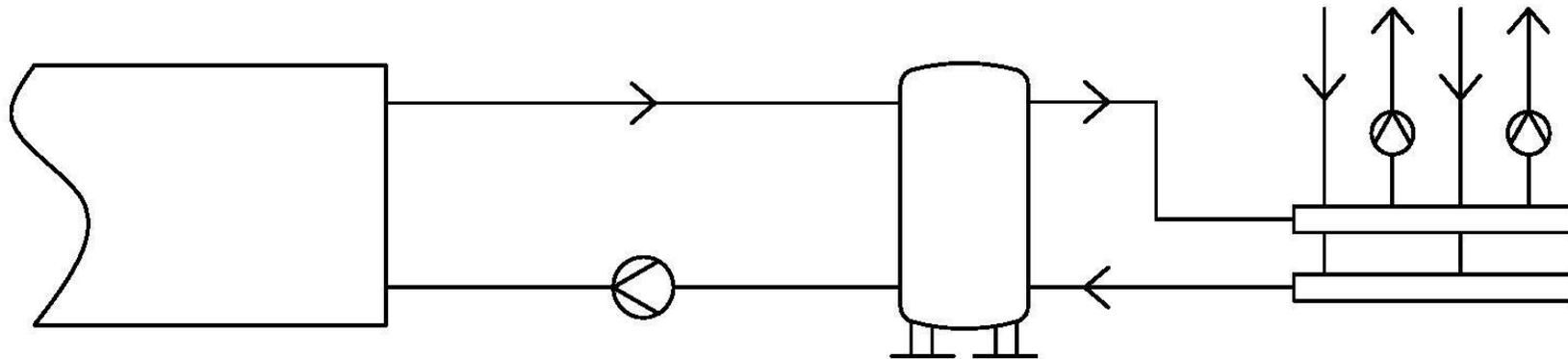




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale dell'accumulo

impiego dell'accumulo come separatore: inserzione «a 4 tubi»

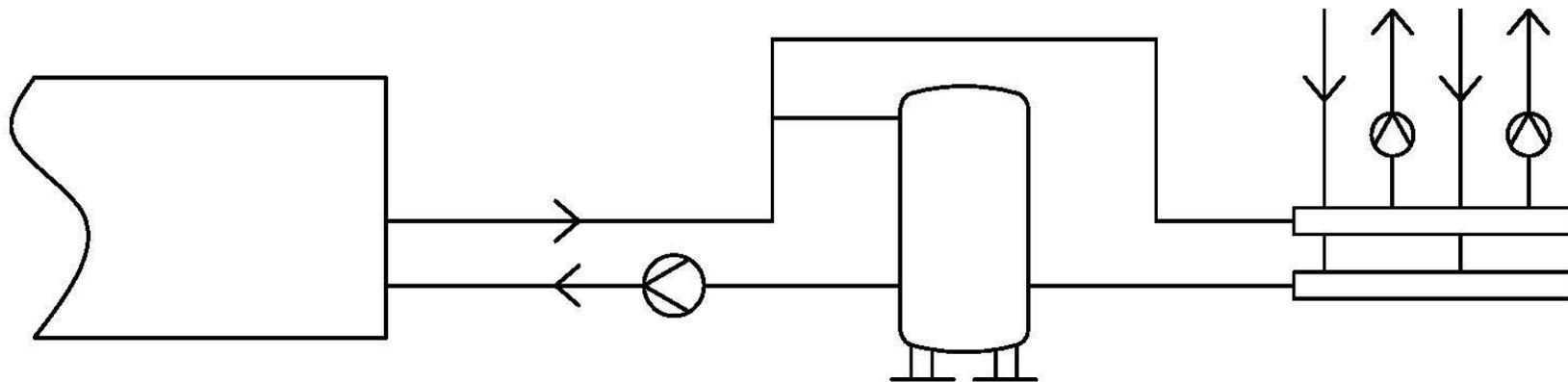




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale dell'accumulo

inserzione «a 3 tubi»: lo sfruttamento della stratificazione

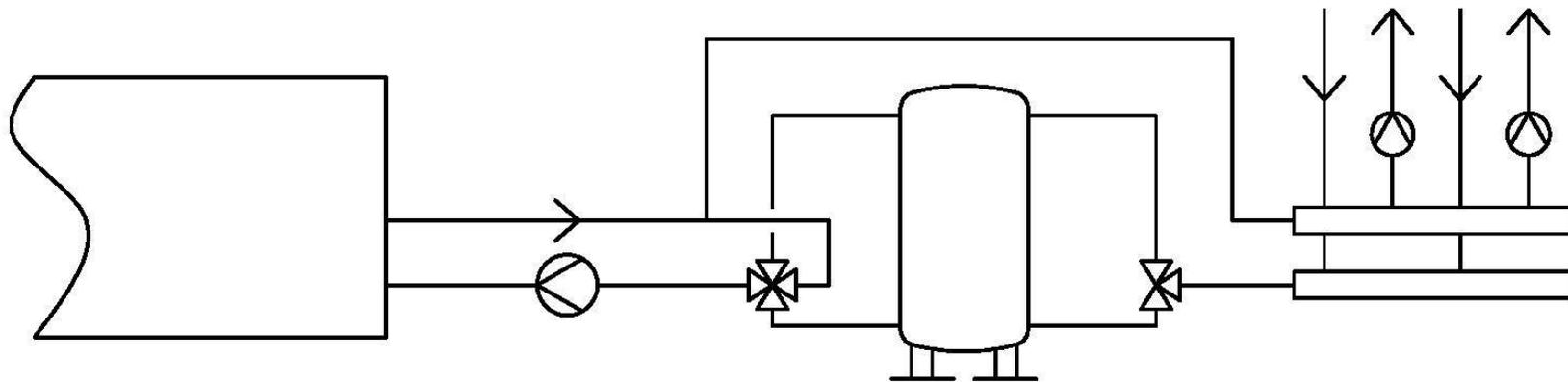




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale dell'accumulo

la stratificazione negli impianti reversibili

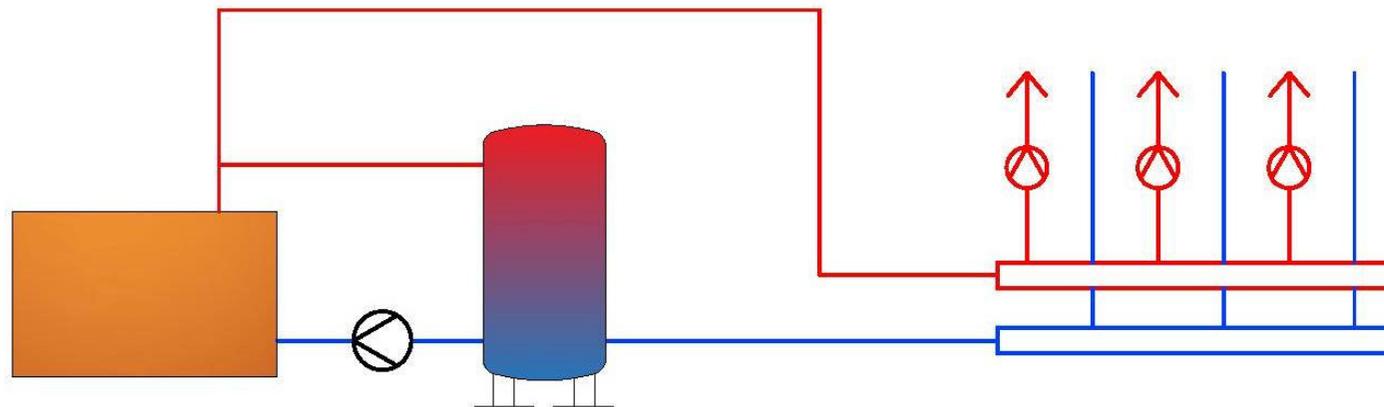




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale ibrida

generazione di calore «ibrida»: la serie pdc e caldaia

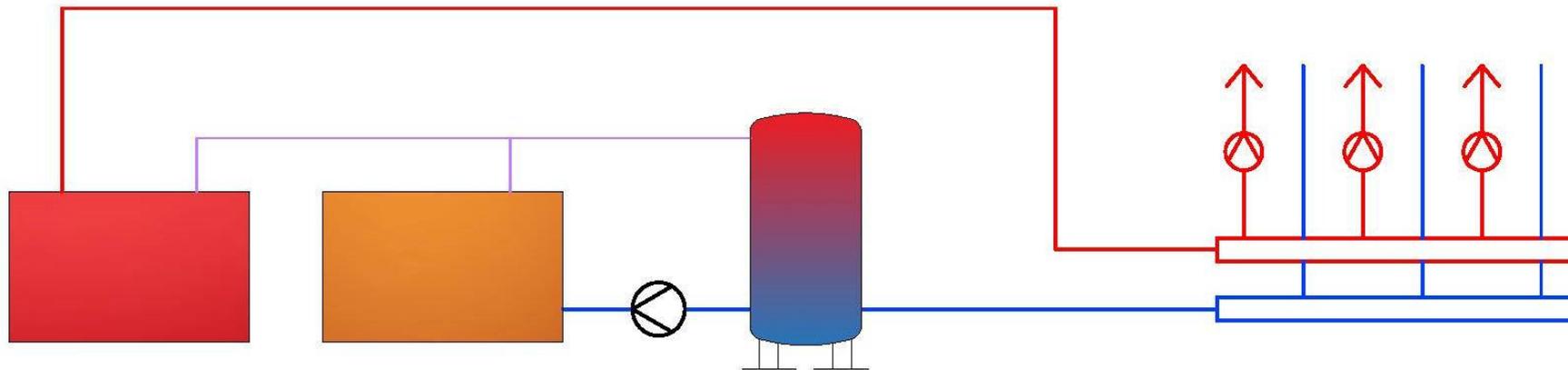




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale ibrida

generazione di calore «ibrida»: la serie pdc e caldaia

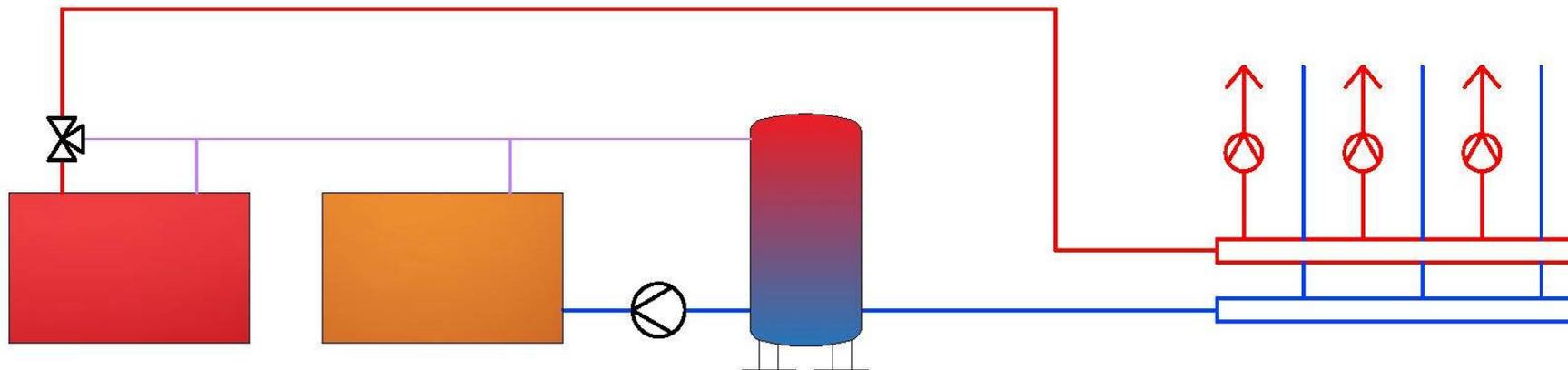




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale ibrida

generazione di calore «ibrida»: la serie pdc e caldaia

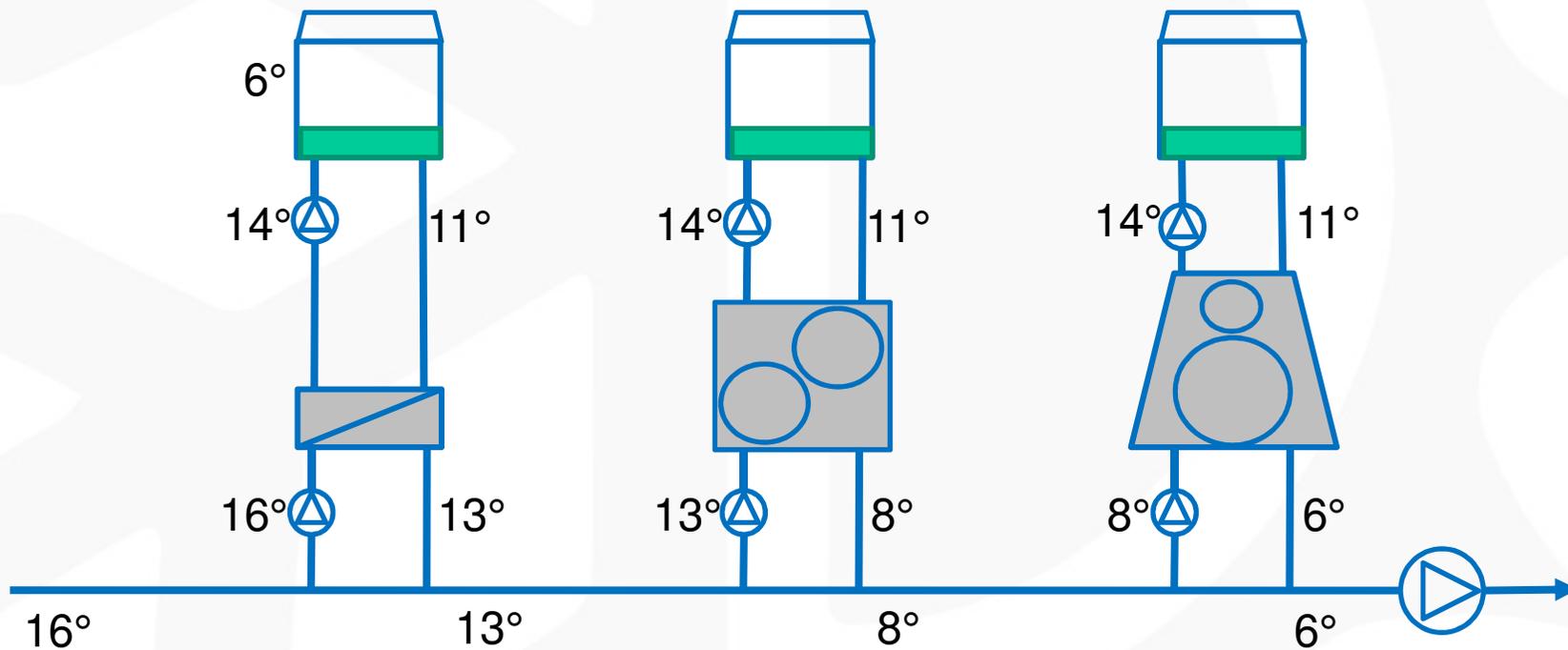




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale ibrida

generazione di freddo «ibrida»: la serie chiller e free-cooling





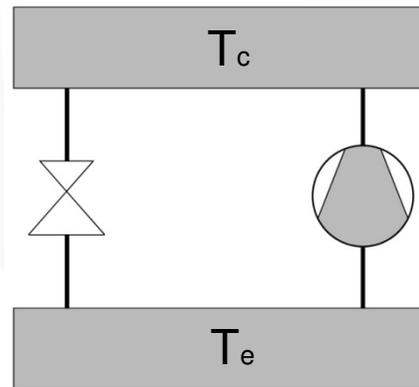
3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale di più gruppi: parallelo o serie?

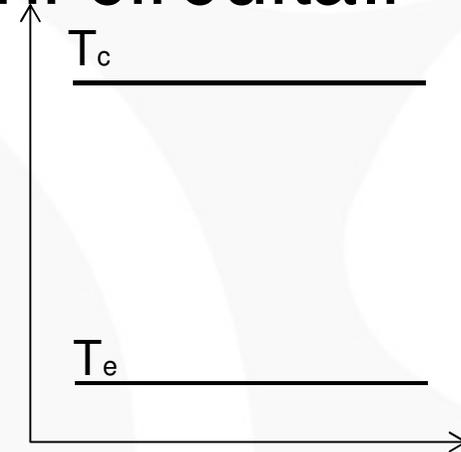
inserzione in «serie e controserie»



3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

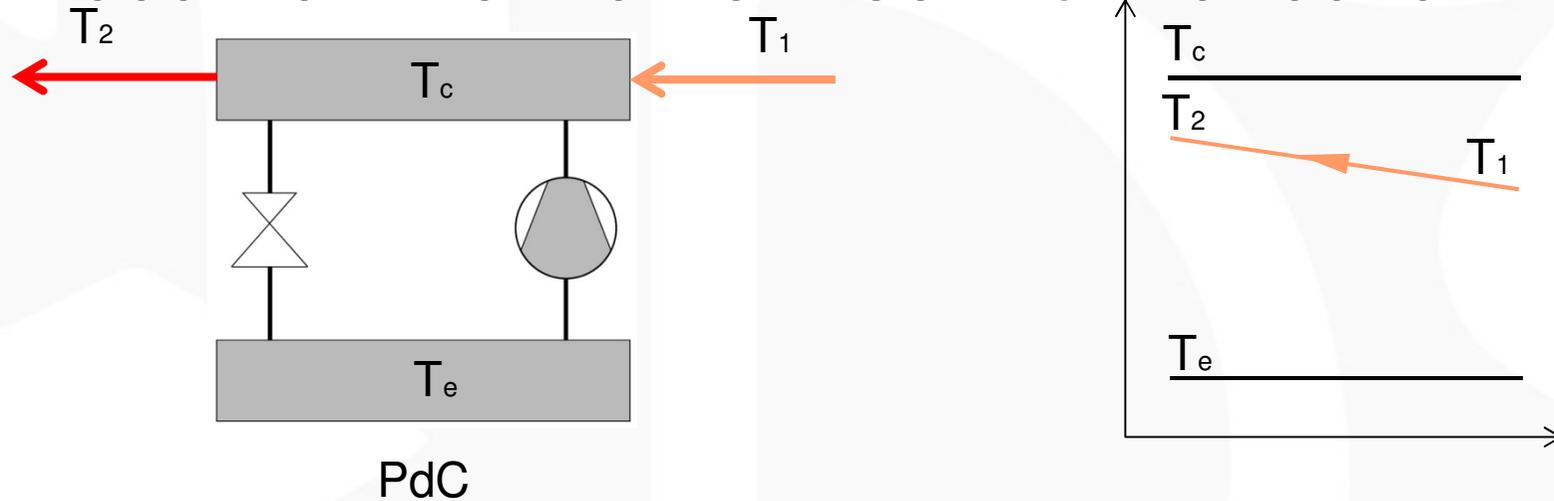


PdC





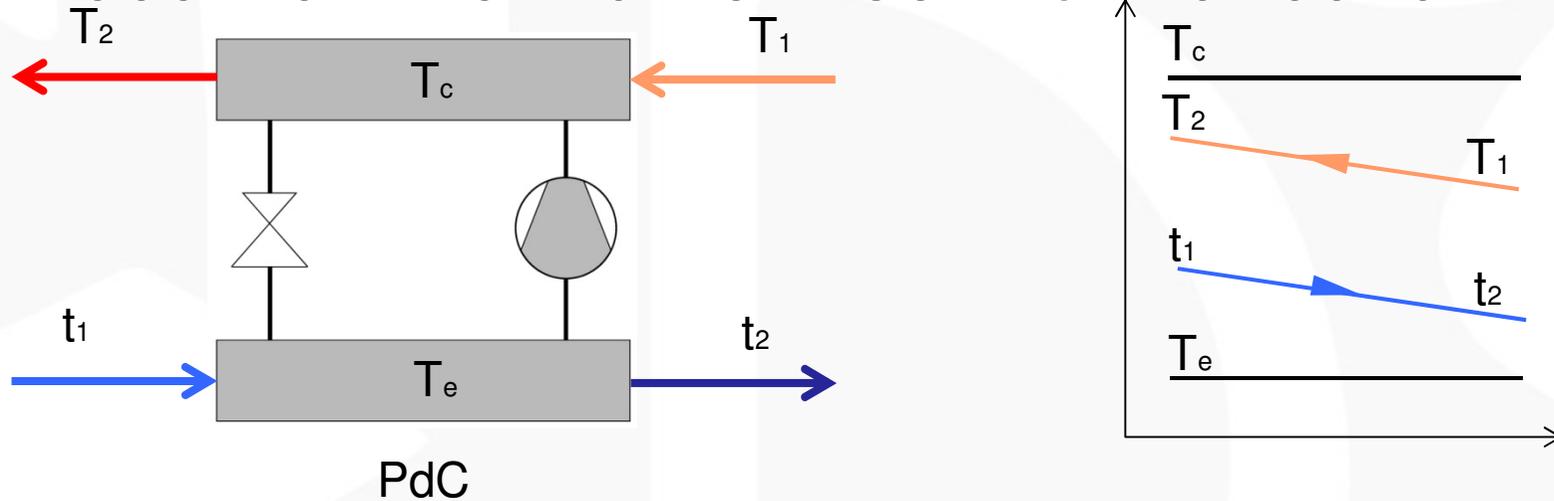
3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali





Come migliorare l'efficienza energetica attraverso l'impiantistica

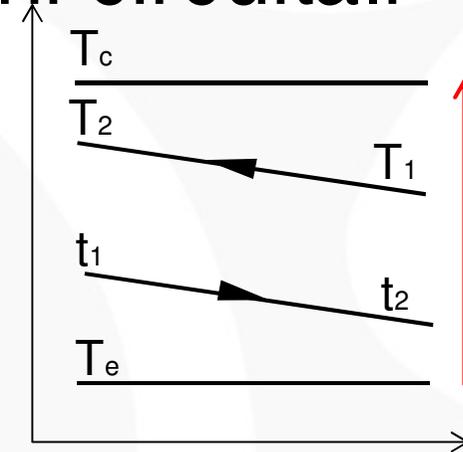
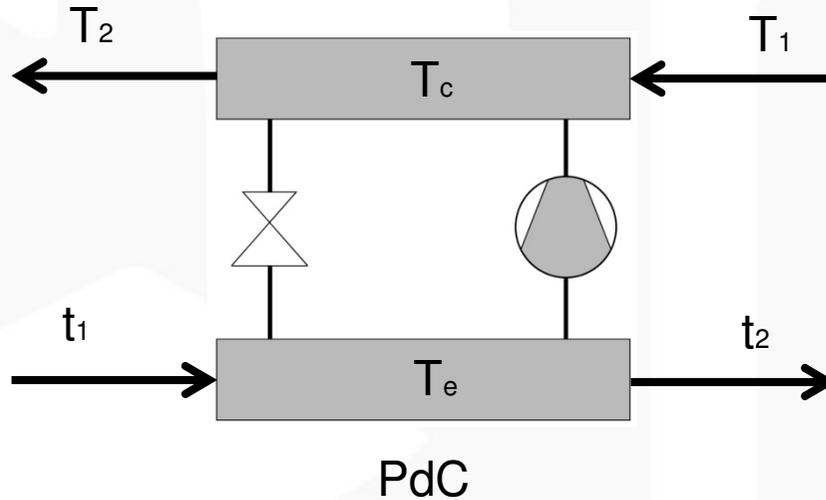
3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali





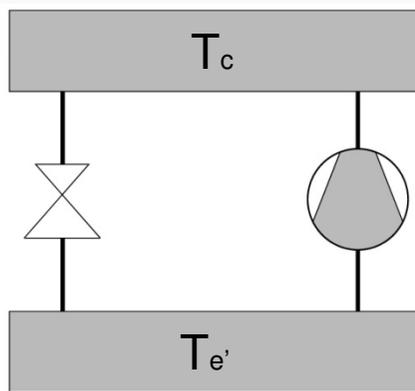
Come migliorare l'efficienza energetica attraverso l'impiantistica

3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

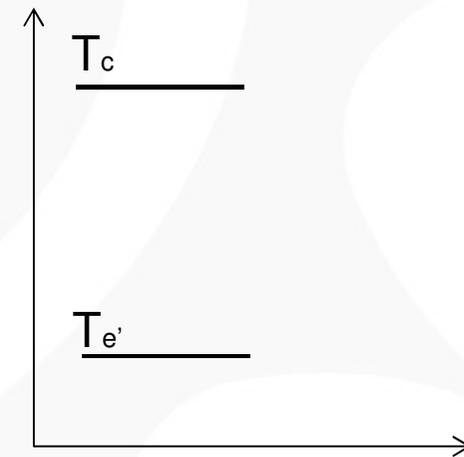




3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

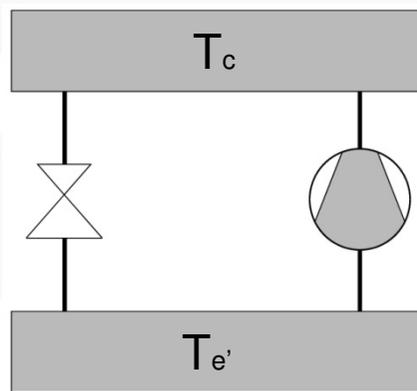


PdC 1

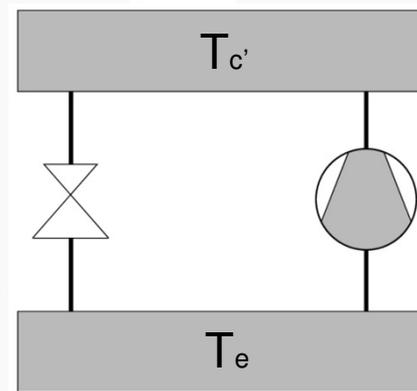




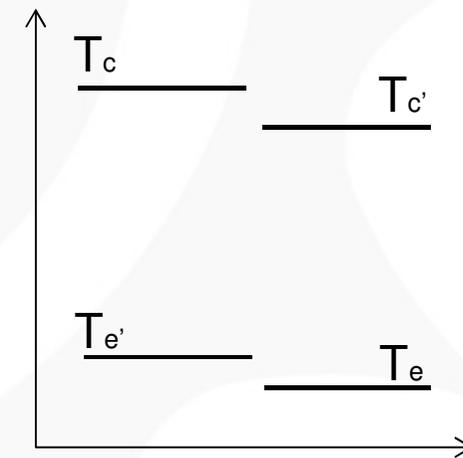
3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali



PdC 1

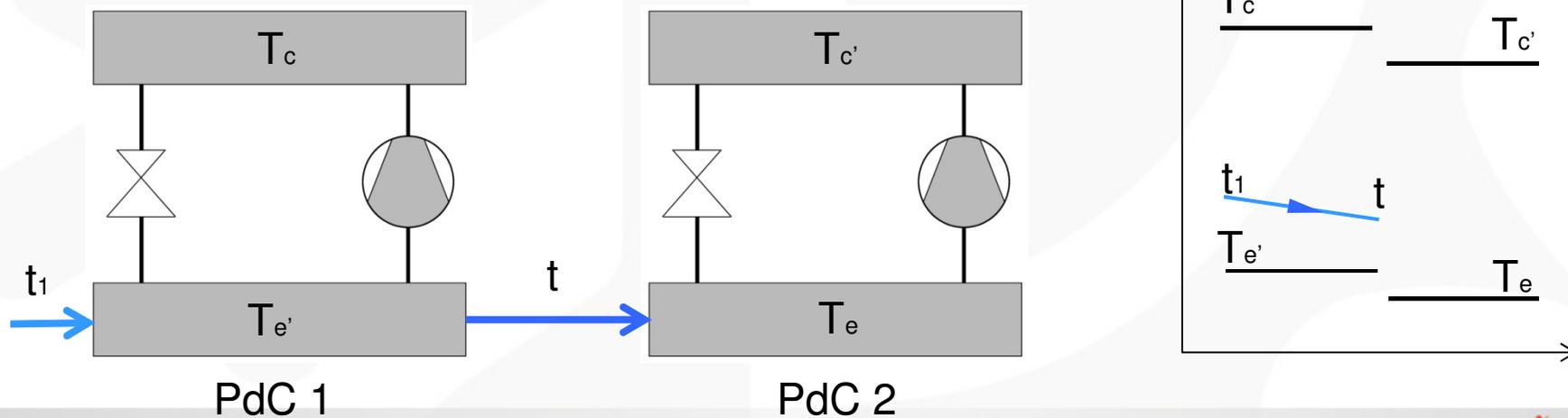


PdC 2



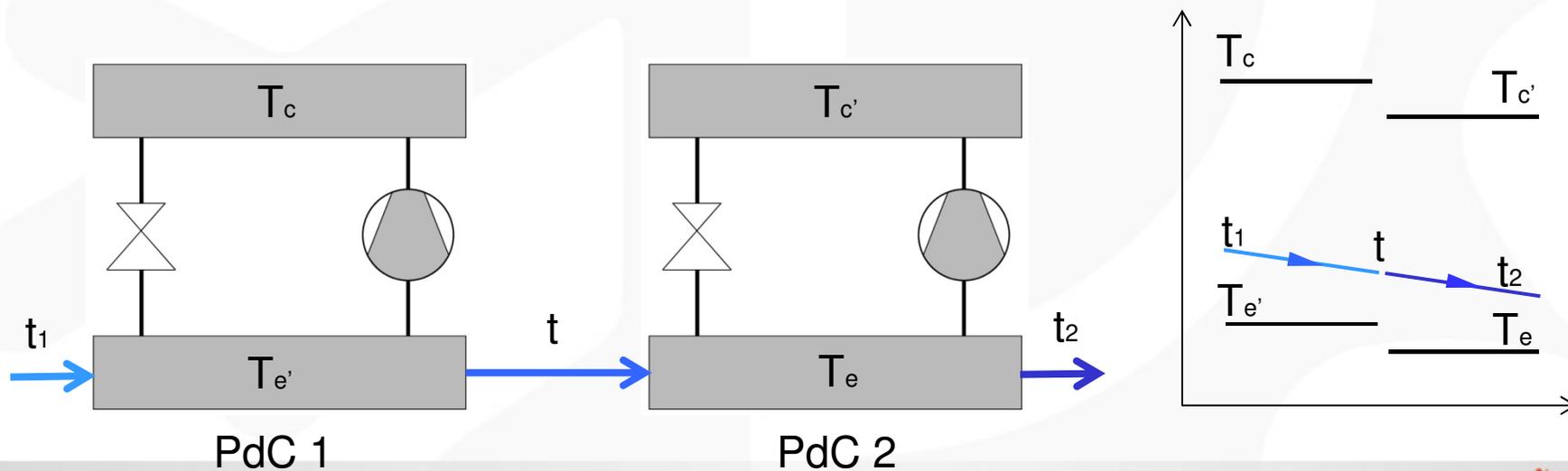


3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali



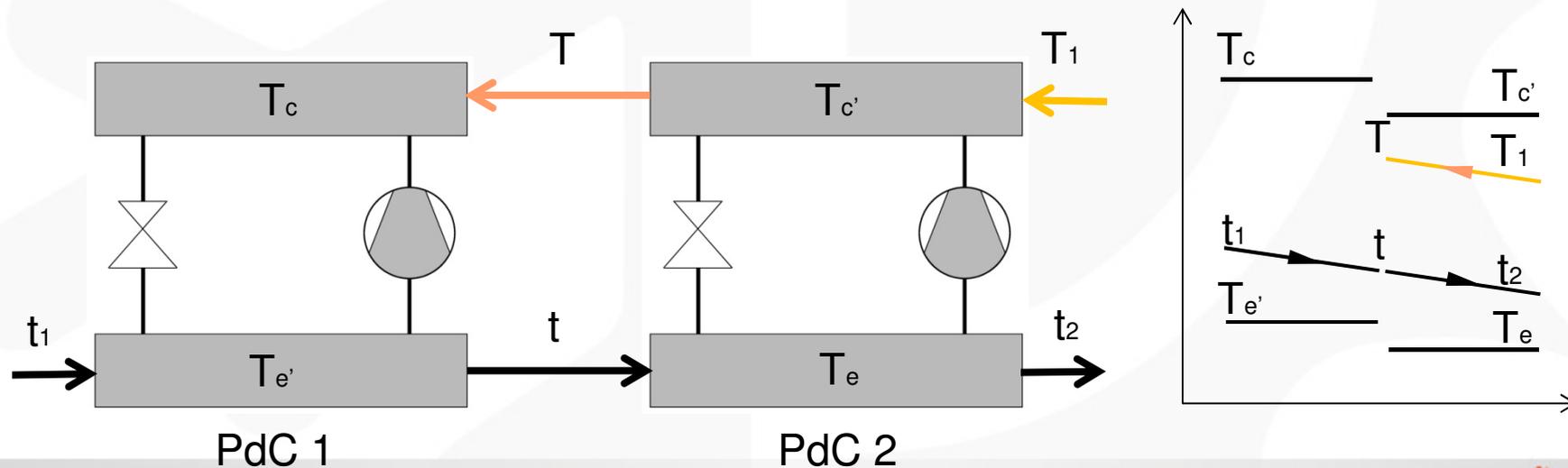


3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali



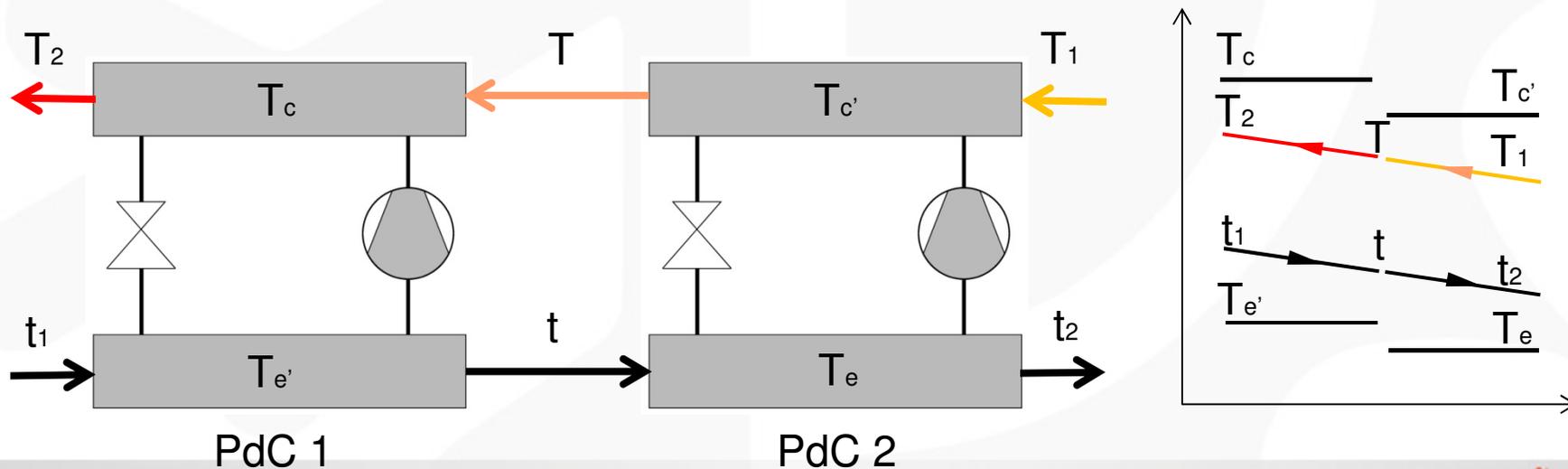


3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali



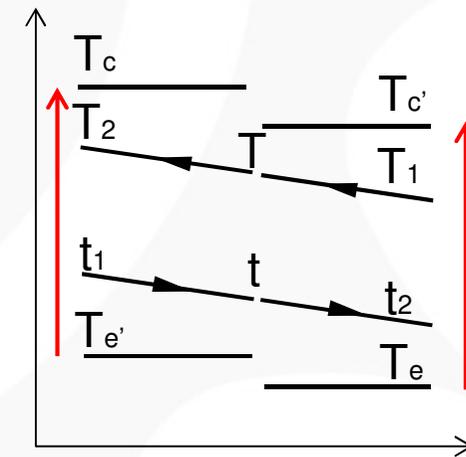
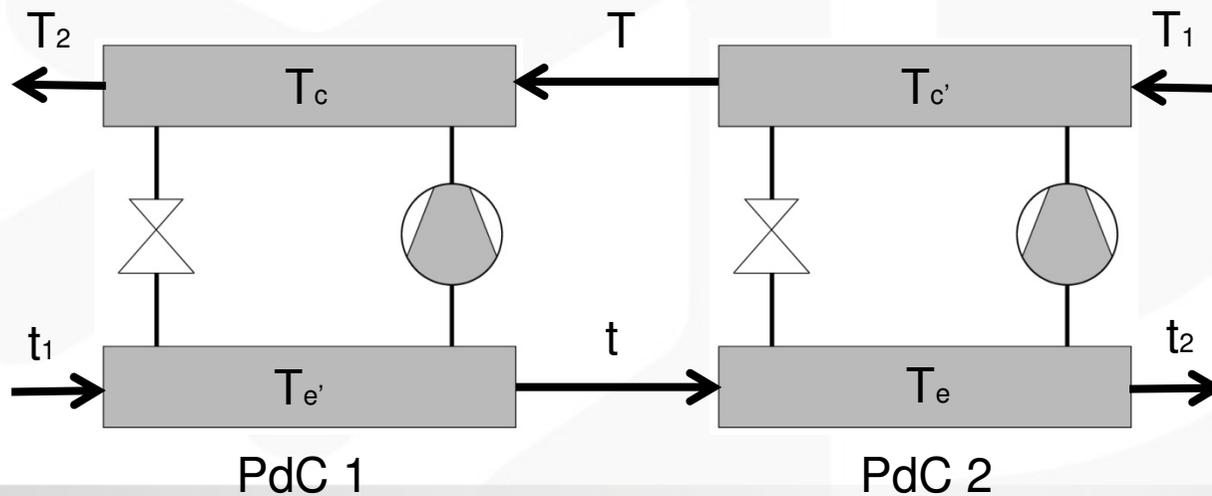


3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali





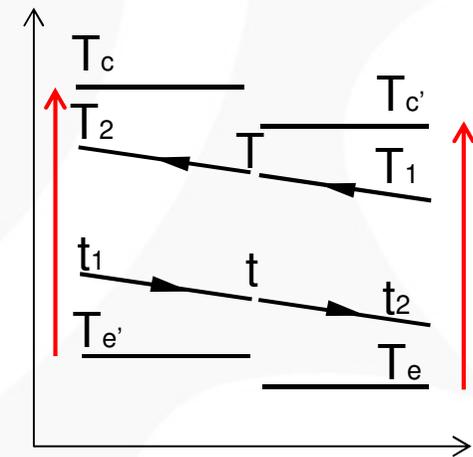
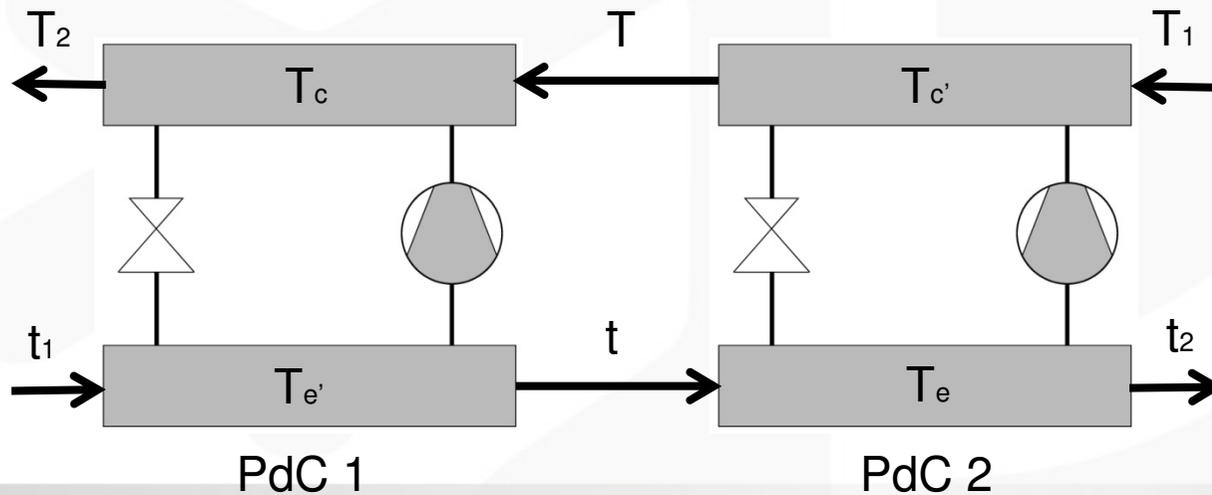
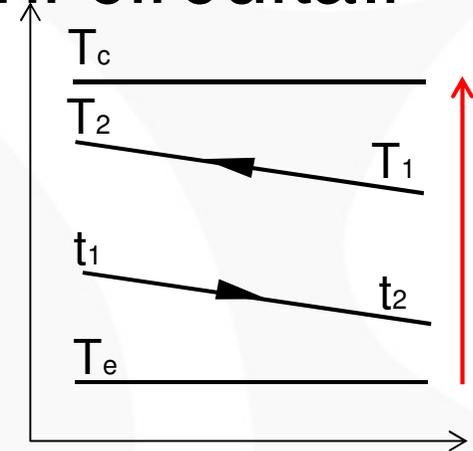
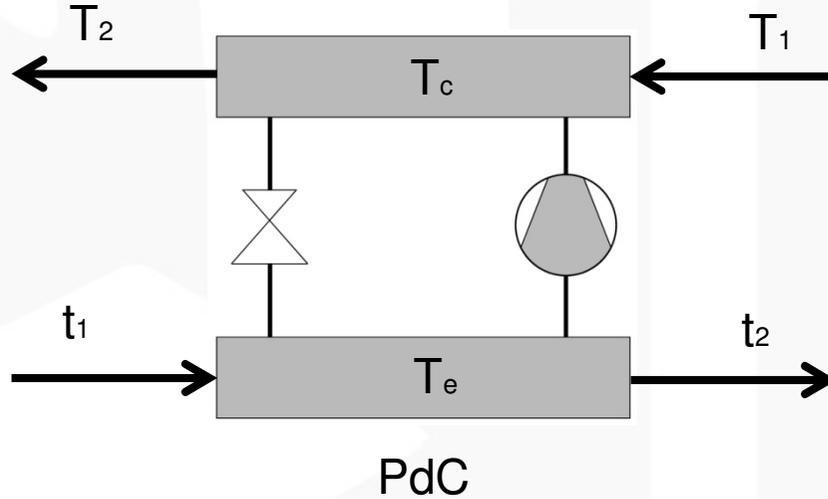
3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali





Come migliorare l'efficienza energetica attraverso l'impiantistica

3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali





3. Accumuli inerziali e inserzioni circuitali

Inserzione circuitale di più gruppi: parallelo o serie?

inserzione in «serie e controserie»

controindicazione: aumento perdite di carico per portate convenz.

condizione: operare con salti termici globali elevati

vantaggio: incremento dell'efficienza termodinamica

$$LIFT' = LIFT_{STD} - \Delta t (n-1)/n$$

$$\Delta \varepsilon = \Delta t \times (n-1)/n / LIFT_{STD}$$

risultato: premiante per Δt significativi

cautela: regolazione del bilanciamento tra le unità



4. Criteri di regolazione

Temperatura del termovettore

obiettivo: massimizzare l'efficienza energetica

regolazione a punto fisso: vantaggi

in freddo: controllo dell'umidità

in caldo: produzione e disinfezione acs

regolazione climatica:

invernale (con priorità acs)

estiva (compensazione climatica «moderata»)

variabile controllata:

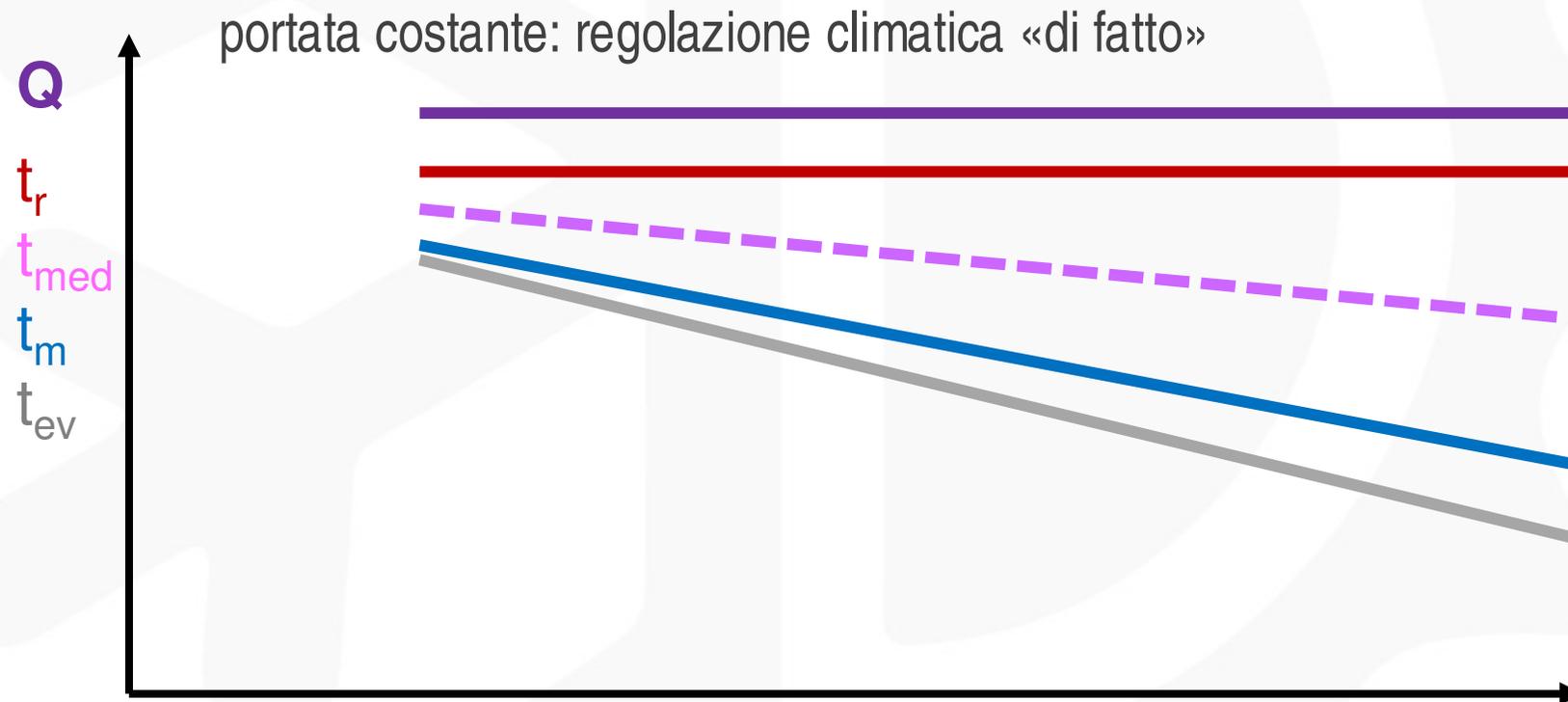
temperatura di mandata o ritorno?

temperatura circuito primario o secondario?



4. Criteri di regolazione

Temperatura del termovettore
controllo temperatura ritorno





4. Criteri di regolazione

Temperatura del termovettore

controllo temperatura ritorno

portata costante: regolazione climatica «di fatto»

Δt costante: differenza irrilevante

controllo temperatura mandata

salvaguardia del processo (climatizzazione o altro)

prevenzione situazioni di *discomfort*

orientamento

compensazione climatica invernale ed estiva

controllo della mandata sul circuito secondario (lato utenza)



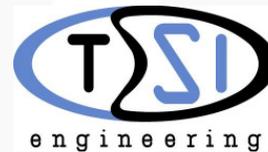
Conclusioni

0. Valorizzare la flessibilità e la precisione dei sistemi idronici, specie in caso di impianti centralizzati estesi
1. Per utilizzazioni in periodi anche extra-estivi, valutare sistemi oil-free o con circolazione olio «esterna»
2. Dove possibile, preferire sistemi a portata variabile, rispettando i regimi di portata indicati dal costruttore
3. Nel calcolo degli accumuli, valutare oculatamente: potenza da compensare, tempi di ciclo, contenuto attivo d'impianto
4. Dove possibile, implementare controlli della temperatura di mandata con correzioni climatiche invernali ed estive



Come migliorare l'efficienza energetica attraverso l'impiantistica

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



Le opinioni espresse dagli Autori non rispecchiano necessariamente quelle dell'Associazione