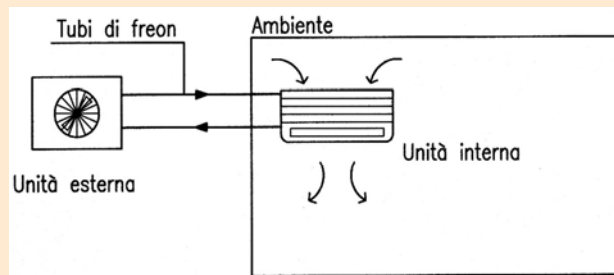


## CONTROLLO TERMICO DEI SISTEMI DI CALCOLO – A.A. 2011/2012

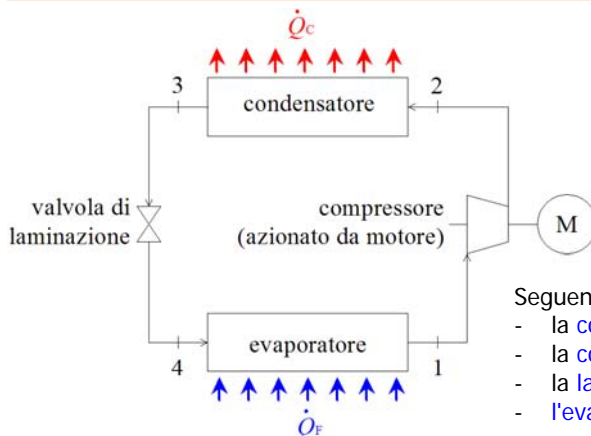
### U.04 – Impianti di condizionamento



1/45

CONTROLLO TERMICO DEI SISTEMI DI CALCOLO – A.A. 2011/2012

### MACCHINE FRIGORIFERE A COMPRESIONE DI VAPORI



Seguendo lo schema di impianto si ha

- la **compressione** del gas (1-2), poi
- la **condensazione** (2-3),
- la **laminazione** (3-4) e, quindi,
- l'**evaporazione** (4-1).

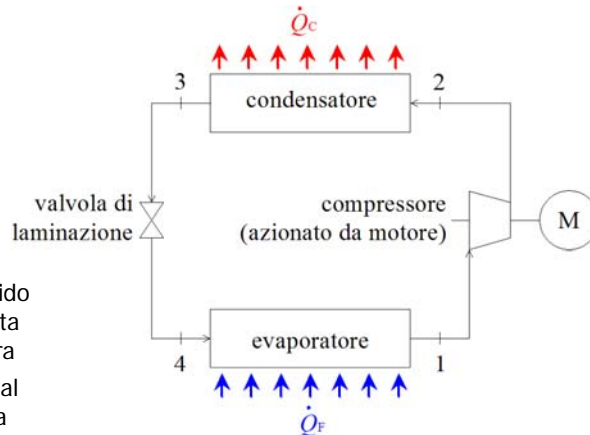
La **fase frigorifera** è data dall'evaporazione (trasformazione 1-4), la **fase di riscaldamento** per il funzionamento a pompa di calore è data dalla condensazione (trasformazione 2-3).

L'energia esterna è fornita mediante il **compressore** (trasformazione 1-2).

U.04 – Impianti di condizionamento

2/45

## MACCHINE FRIGORIFERE A COMPRESSIONE DI VAPORI



Il **compressore** comprime il fluido refrigerante, che si porta ad alta pressione e ad alta temperatura

Il **condensatore** sottrae calore al refrigerante caldo, che evapora

La **valvola di laminazione** provoca la riduzione repentina della pressione del refrigerante, il quale evapora parzialmente e diventa molto freddo;

L'**evaporatore** fornisce calore al refrigerante freddo, sottraendo così calore al fluido esterno (aria, acqua) che entra in contatto con l'evaporatore.

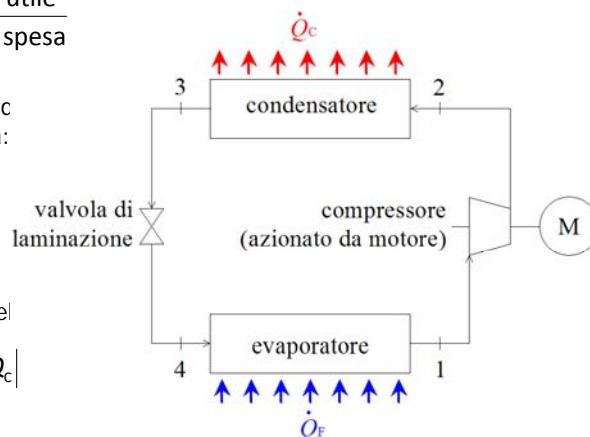
## MACCHINE FRIGORIFERE: EFFICIENZA

Per i cicli inversi si definisce solitamente un' **efficienza** (coefficiente di effetto utile, o COP – coefficiente di prestazione) **in funzione dell'effetto utile ottenuto:**

$$\text{efficienza} = \frac{\text{effetto utile}}{\text{energia spesa}}$$

Il rapporto contempla due tipi di effetto utile a seconda che ci si ponga:

- dal lato della produzione di freddo, in **modalità frigorifera** (l'effetto utile è  $\dot{Q}_F$ )
- dal lato della produzione del caldo, in **modalità pompa di calore** (l'effetto utile è  $|\dot{Q}_c|$ )



### MACCHINE FRIGORIFERE: EFFICIENZA

Nel funzionamento a pompa di calore il **coefficiente di prestazione termico** risulta, almeno **teoricamente, maggiore di 1** rispetto al **coefficiente di prestazione frigorifero**.

$$\text{COP}_F = \frac{\dot{Q}_F}{|\dot{Q}_C| - \dot{Q}_F} \equiv \frac{\dot{Q}_F}{|\dot{I}_{\text{compr.}}|}$$

$$\text{COP}_C = \frac{|\dot{Q}_C|}{|\dot{Q}_C| - \dot{Q}_F} \equiv \frac{|\dot{Q}_C|}{|\dot{I}_{\text{compr.}}|} \equiv 1 + \frac{\dot{Q}_F}{|\dot{I}_{\text{compr.}}|}$$

$$|\dot{I}_{\text{compr.}}| = |\dot{Q}_C| - \dot{Q}_F$$

Nel funzionamento a pompa di calore si ha infatti il contributo anche dell'energia meccanica (lavoro) impegnata nel ciclo.

Nei casi reali, l'efficienza della macchina a ciclo inverso dipende dall'efficienza delle batterie di scambio del condensatore e dell'evaporatore.

### MACCHINE FRIGORIFERE: EER E COP

Per la macchina in funzionamento estivo, in modalità frigorifera, si definisce il parametro **EER (Energy Efficiency Ratio)**, dato dal rapporto tra l'effetto frigorifero utile, cioè la potenza frigorifera, e l'energia che la macchina assorbe nell'unità di tempo, cioè la potenza elettrica assorbita:

$$\text{EER} = \text{Potenza frigorifera} / \text{Potenza elettrica assorbita}$$

L'EER è dichiarato in relazione a temperature e umidità di riferimento specificate, tipicamente  $T_C=35^\circ\text{C}$ ,  $T_F=27^\circ\text{C}$ ,  $T_{F,\text{bulbo umido}}=19^\circ\text{C}$  ( $\Rightarrow \varphi_F \approx 63\%$ )

Per la macchina in funzionamento invernale, in modalità pompa di calore, si definisce il parametro **COP (Coefficient Of Performance)**, dato dal rapporto tra l'effetto riscaldante utile, cioè la potenza termica erogata, e l'energia che la macchina assorbe nell'unità di tempo, cioè la potenza elettrica assorbita:

$$\text{COP} = \text{Potenza termica} / \text{Potenza elettrica assorbita}$$

Anche il COP è dichiarato in relazione a temperature e umidità di riferimento specificate, tipicamente  $T_C=20^\circ\text{C}$ ,  $T_F=7^\circ\text{C}$ ,  $T_{F,\text{bulbo umido}}=6^\circ\text{C}$  ( $\Rightarrow \varphi_F \approx 95\%$ ).

**Energia**  
Costruttore  
Unità Esterna  
Unità Interna

**Bassi consumi**  
A  
B  
C  
D  
E  
F  
F

**Alti consumi**

Consumo annuo di energia, kWh in modalità raffreddamento  
Il consumo dipende dal clima e dalle modalità d'uso dell'apparecchio

Potenza refrigerante kW

Indice di efficienza elettrica  
Piano regime (a più elevati possibili)

Tipo Solo raffreddamento  
Raffreddamento/ riscaldamento  
Raffreddamento ad aria  
Raffreddamento ad acqua

Potenza di riscaldamento kW

Efficienza energetica in modalità riscaldamento  
A: bassi consumi – G: alti consumi

Rumore (dB(A) a 1 m)  
Gli opuscoli illustrativi contengono una scheda particolareggiata  
www.enel.it  
Coordinatore del  
Dati e 2007/122 - Calcolatore Europeo

### ETICHETTA ENERGETICA

(La classificazione verrà aggiornata dal 2013 secondo il Reg. 626/2011/UE)

Classe	Consumo annuo
AA	< 734 - 890 kWh
A	< 891 kWh
B	891 - 950 kWh
C	950 - 1018 kWh
D	1018 - 1096 kWh
E	1096 - 1188 kWh
F	1188 - 1295 kWh
G	> 1295 kWh

U.04 – Impianti di condizionamento
7/45

### MACCHINE FRIGORIFERE: EFFICIENZA

L'efficienza delle batterie di scambio del condensatore e dell'evaporatore è **maggiore** quando il fluido di scambio è in forma **liquida**, rispetto al caso di scambio fra gas. Per le applicazioni impiantistiche usuali si hanno le seguenti tipologie:

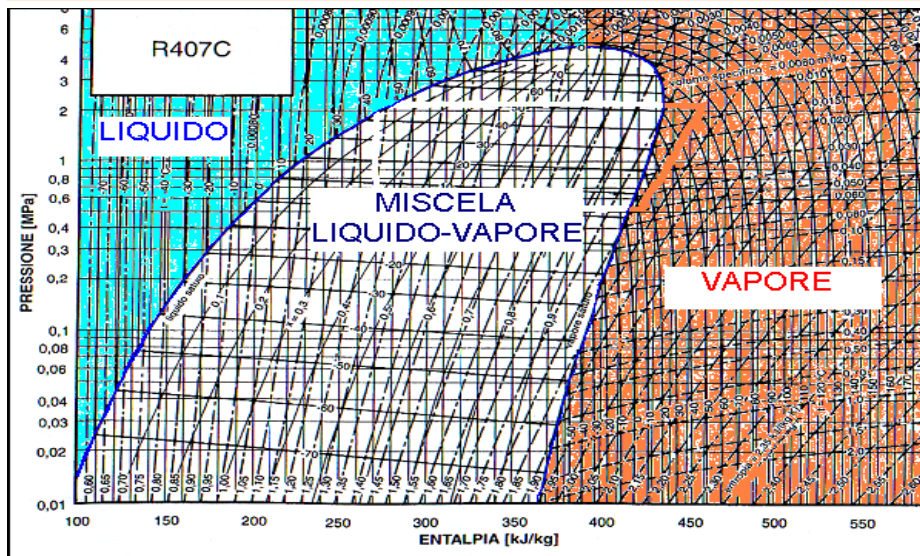
Tipologia di scambio	Efficienza frigorifera
acqua/acqua	3 ÷ 5
acqua/aria	3 ÷ 4
aria/acqua	3 ÷ 4
aria/aria	1.5 ÷ 3

Nella tabella con la dizione acqua/acqua si intende **acqua nel condensatore e acqua nell'evaporatore**, cioè si tratta di un frigorifero che è raffreddato (al condensatore) con acqua e che raffredda acqua. Analoghe convenzioni valgono per le altre configurazioni di scambio.

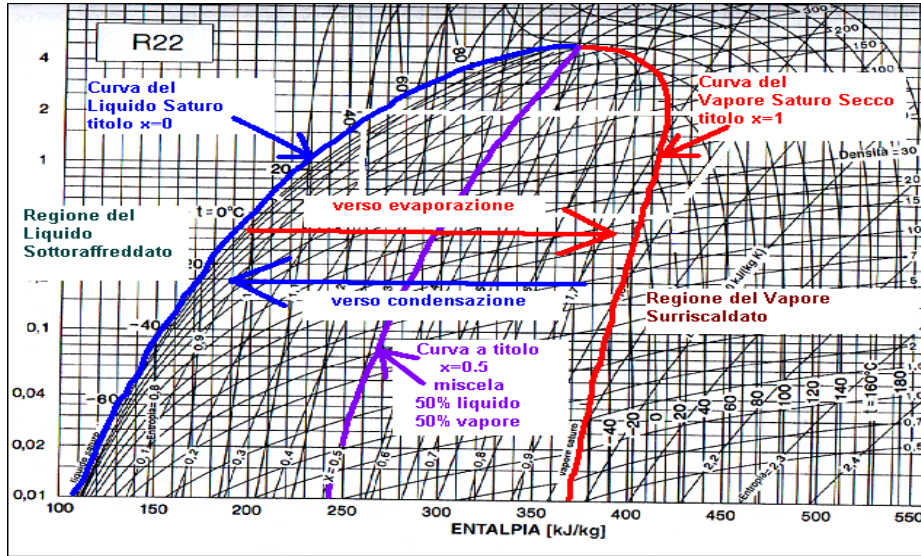
Lo scambio acqua/acqua è molto efficiente e, quindi, impiantisticamente conveniente. Tuttavia, occorre avere acqua a ciclo continuo per la refrigerazione al condensatore, cosa non sempre possibile.

## FLUIDI FRIGORIFERI E LORO TRASFORMAZIONI

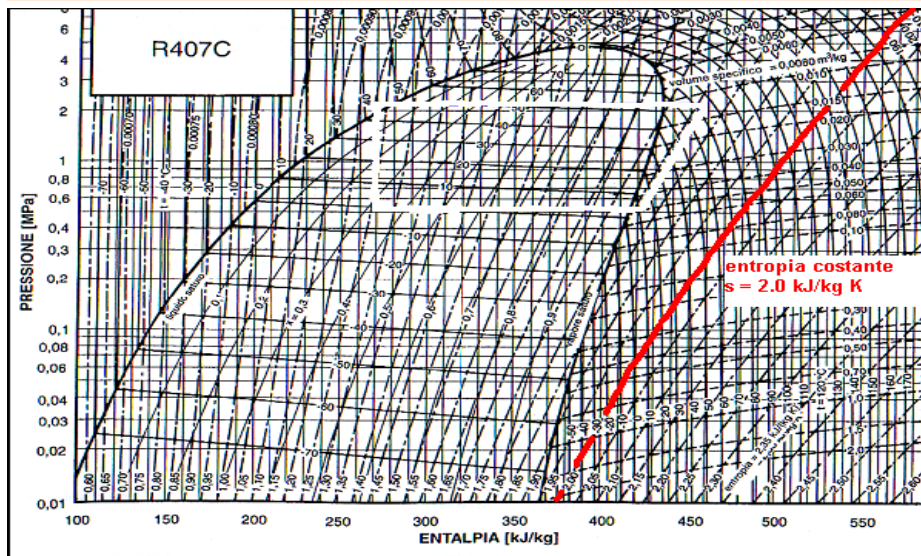
## DIAGRAMMA PRESSIONE-ENTALPIA SPECIFICA



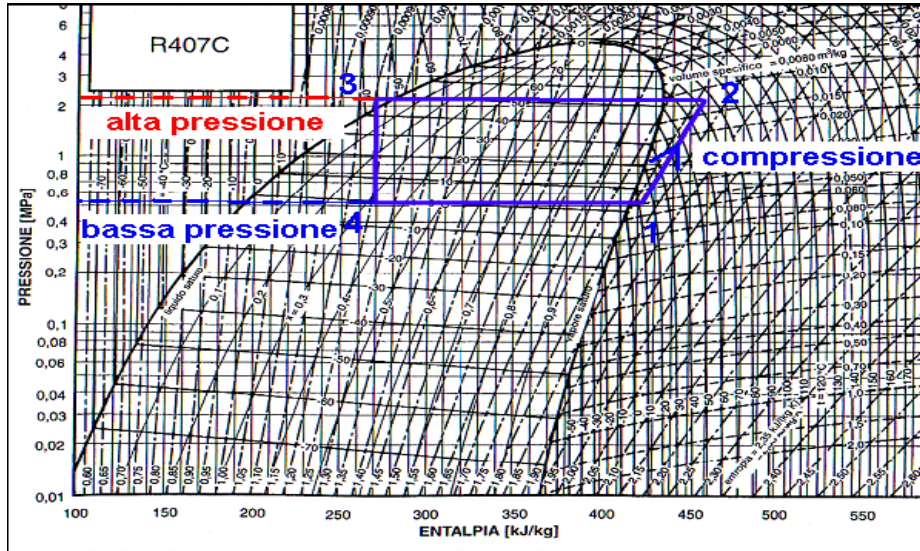
**FLUIDO FRIGORIFERO: TRASFORMAZIONI**



**FLUIDO FRIGORIFERO: TRASFORMAZIONI**



**CICLO FRIGORIFERO: COMPRESSIONE**



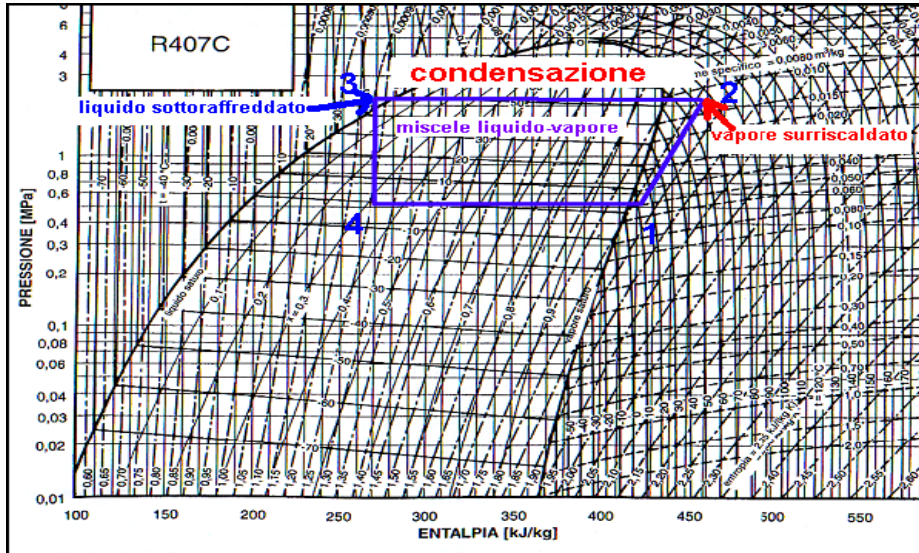
**CICLO FRIGORIFERO: COMPRESSIONE**

Si noti come il ciclo è tutto a pressione superiore al valore ambiente.

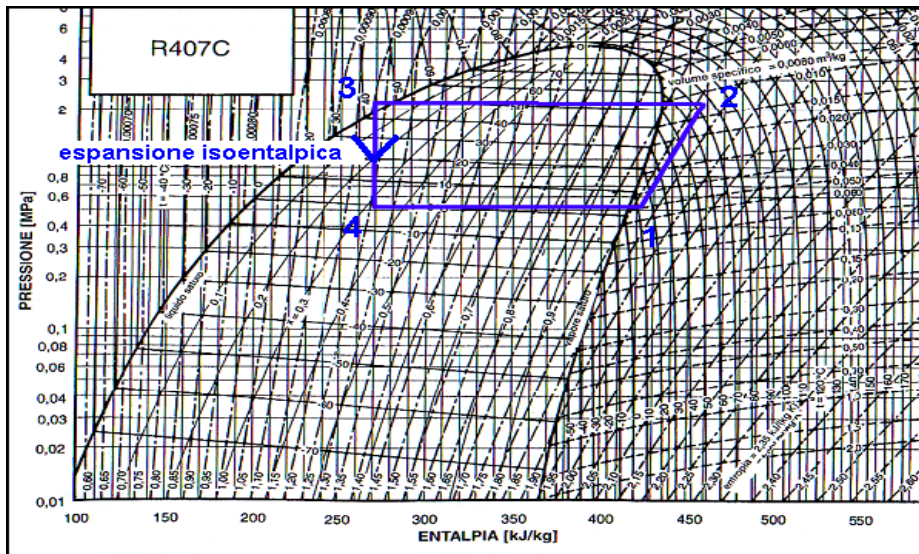
Se così non fosse, e quindi l'evaporatore lavorasse in depressione, si avrebbe il rischio di ingresso nel circuito dell'aria ambiente, sostanzialmente incondensabile. Pochi punti percentuali di frazione d'aria nel fluido frigorifero possono ridurre di decine di punti percentuali la potenza frigorifera.

Operando con componenti tutti a pressione superiore al valore ambiente, si rischia al massimo la perdita progressiva del fluido frigorifero, a cui corrisponde una proporzionale e generalmente moderata perdita del potere refrigerante.

### CICLO FRIGORIFERO: CONDENSAZIONE

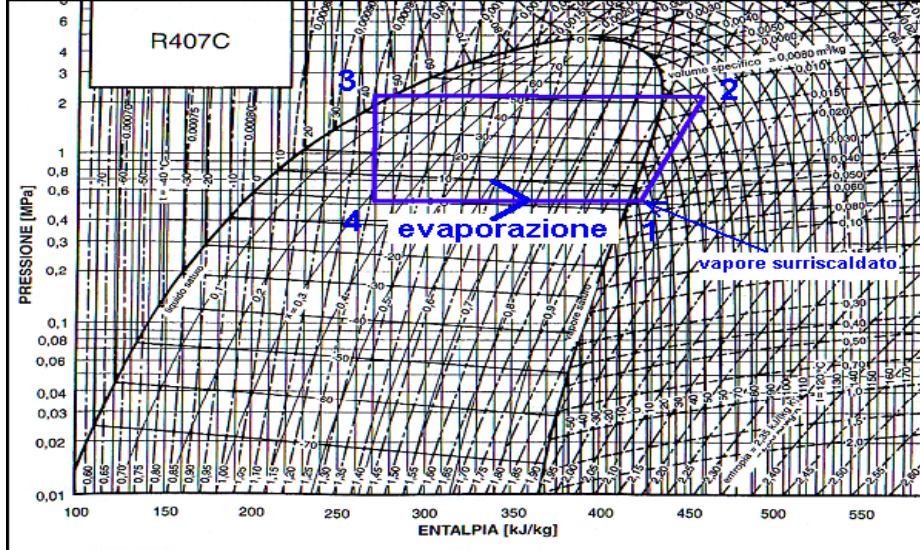


### CICLO FRIGORIFERO: LAMINAZIONE

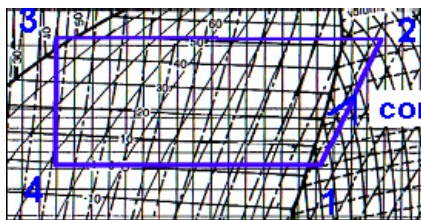




**CICLO FRIGORIFERO: EVAPORAZIONE**



**CICLO FRIGORIFERO: TRASFORMAZIONI**



$$|i_{\text{compr}}| \equiv |i_{12}| = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q}_c \equiv |\dot{Q}_{23}| = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$h_3 = h_4$$

$$\dot{Q}_f \equiv \dot{Q}_{14} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

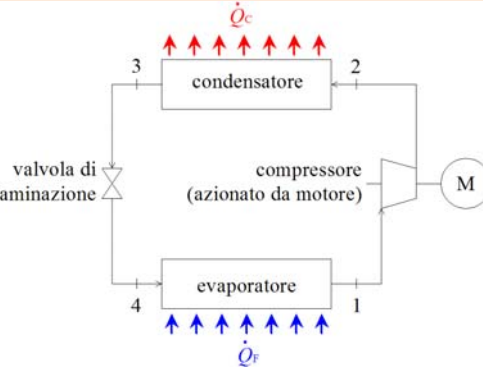
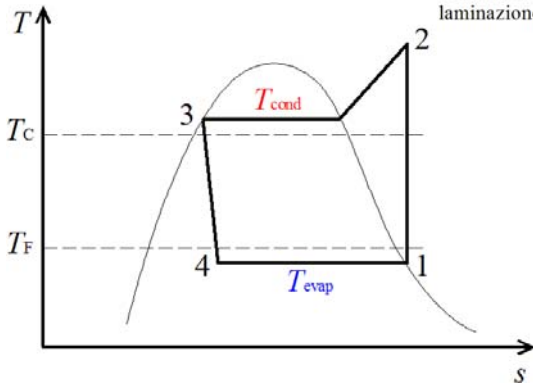
$$\text{COP}_F = \frac{\dot{Q}_f}{|\dot{Q}_c - \dot{Q}_f|} \equiv \frac{\dot{Q}_f}{|i_{\text{compr}}|}$$

$$\text{COP}_C = \frac{|\dot{Q}_c|}{|\dot{Q}_c - \dot{Q}_f|} \equiv \frac{|\dot{Q}_c|}{|i_{\text{compr}}|} \equiv 1 + \frac{\dot{Q}_f}{|i_{\text{compr}}|}$$

**DIAGRAMMA TEMPERATURA-ENTROPIA SPECIFICA**

$T_{cond}$  temperatura al condensatore  
 $T_C$  temperatura ambiente riscaldato  
 $T_F$  temperatura ambiente refrigerato  
 $T_{evap}$  temperatura all'evaporatore

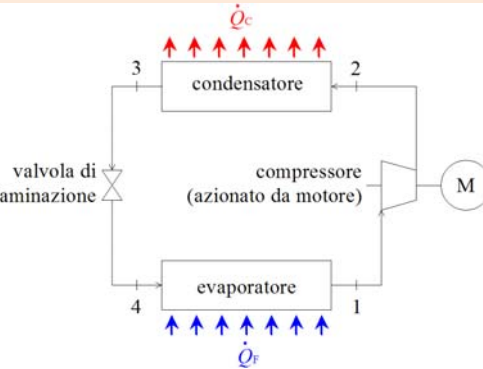
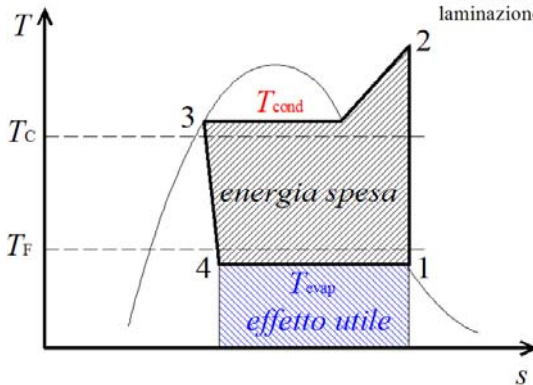
$T_{cond} > T_C$     $T_{evap} < T_F$



**DIAGRAMMA TEMPERATURA-ENTROPIA SPECIFICA**

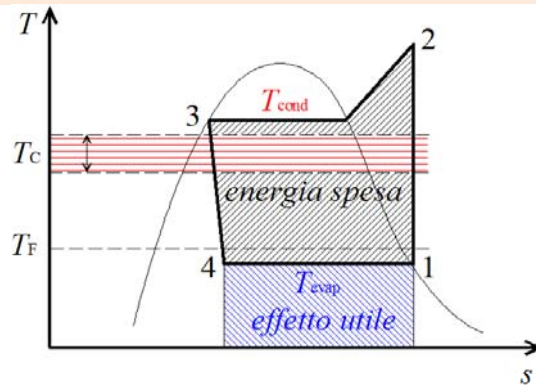
$T_{cond}$  temperatura al condensatore  
 $T_C$  temperatura ambiente riscaldato  
 $T_F$  temperatura ambiente refrigerato  
 $T_{evap}$  temperatura all'evaporatore

$T_{cond} > T_C$     $T_{evap} < T_F$



$$EER = \frac{\text{effetto (frigorifero) utile}}{\text{energia (elettrica) spesa}}$$

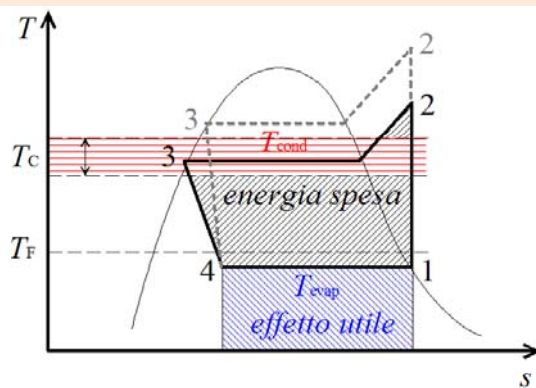
### IMPIANTI FRIGORIFERI STANDARD



Tipicamente,  $T_{\text{cond}} - T_c \sim 5^\circ\text{C}$ , mentre  $T_F - T_{\text{evap}} \sim 10^\circ\text{C}$  per la necessità di contenere il rumore dei ventilatori negli ambienti abitati.

Un sistema che opera a pressione e, quindi, a temperatura nel condensatore prefissate va regolato in funzione del massimo valore atteso di  $T_c$  e, di conseguenza, presenta il medesimo fabbisogno energetico anche per valori di  $T_c$  molto inferiori.

### IMPIANTI FRIGORIFERI AD INVERTER



Un sistema in grado di regolare l'incremento di pressione e, quindi, di temperatura imposto dal compressore permette di adattare la temperatura nel condensatore a quella nell'ambiente in cui si scarica il calore, lavorando a  $T_{\text{cond}} - T_c$  costante.

Poiché un compressore con motore elettrico alimentato in corrente alternata funziona a frequenza (rpm) multipla della frequenza della corrente (50 Hz per la rete italiana), si introduce un dispositivo, l'*inverter*, in grado di variare la frequenza di alimentazione.

**CICLO FRIGORIFERO: FLUIDI FRIGORIFERI**

Il nome commerciale "freon" (marchio di DuPont de Nemours, USA) identifica una famiglia di composti chimici inizialmente derivanti dal metano e dall'etano per sostituzione degli atomi di idrogeno con atomi di alogeni (cloro, fluoro, bromo).

Alcuni di questi composti, in particolare quelli contenenti cloro, sono stati banditi dal protocollo di Montreal del 1990, eccetto che negli usi per cui non si possono trovare gas sostitutivi.

A seconda della presenza o meno di cloro, i freon sono divisi in:

**CFC (clorofluorocarburi):** non presentano alcun atomo di idrogeno, e non sono più utilizzati a causa della loro dannosità per lo strato di ozono stratosferico (dannosità dovuta esclusivamente al Cloro); sono comunemente gas incolori, senza odore o con debole odore di etere, ininfiammabili, chimicamente stabili, senza azioni tossiche

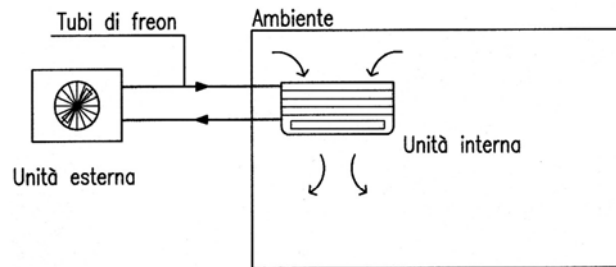
**HCFC (idroclofluorocarburi):** rispetto ai CFC presentano idrogeno e quindi meno cloro; sono dunque meno pericolosi per lo strato di ozono, ma anche questi gas non sono più impiegati; questi composti, sono più tossici rispetto agli omologhi CFC

**HFC (idrofluorocarburi):** sono totalmente privi di cloro e quindi non rappresentano un problema per quanto riguarda l'ozono; bisogna però sottolineare che tutti questi fluidi (HFC e i cosiddetti fluidi ecologici quali l'R410a) contribuiscono all'effetto serra

**TIPOLOGIE DI IMPIANTO**

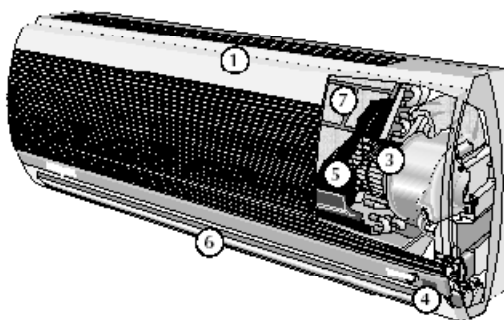
## IMPIANTI A ESPANSIONE DIRETTA

(schema di principio di un impianto di tipo split)



## IMPIANTI A ESPANSIONE DIRETTA

(unità interna)

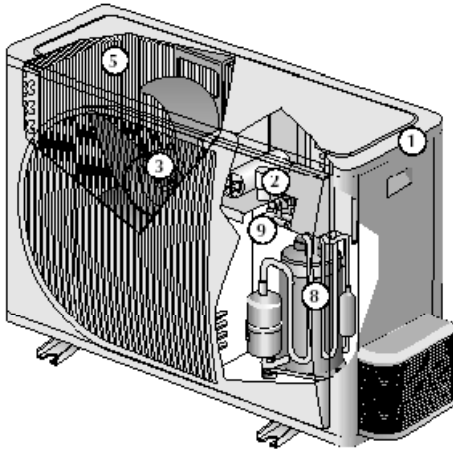


- 1 mobile di copertura
- 3 gruppo ventilante (motore + ventilatore)
- 4 ricevitore telecomando
- 5 batteria di scambio termico
- 6 deflettore mandata aria
- 7 filtro aria

Fonte immagine: AERMEC

## IMPIANTI A ESPANSIONE DIRETTA

(unità esterna)

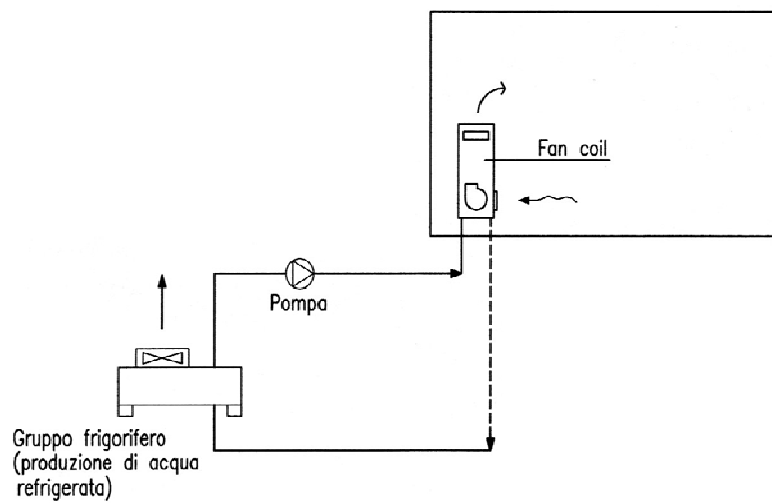


- 1 mobile di copertura
  - 2 scheda elettronica di controllo
  - 3 gruppo ventilante (motore + ventilatore)
  - 5 batteria di scambio termico
  - 8 compressore
- (la valvola di laminazione è costituita da un sottile e lungo tubicino capillare)

Fonte immagine: AERMEC

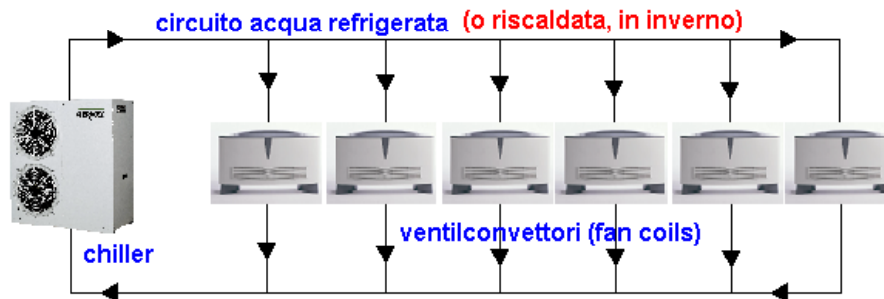
## IMPIANTI IDRONICI

(schema di principio di un impianto con terminali ad acqua refrigerata)



## IMPIANTI IDRONICI

(schema di principio di un impianto con terminali ad acqua refrigerata)



## IMPIANTI AD ESPANSIONE DIRETTA VS. IDRONICI

In linea di principio, si potrebbero realizzare sistemi multisplit in cui si invia alle terminazioni direttamente il fluido frigorifero. Tuttavia, far percorrere al fluido circuiti complessi significa andare incontro a tutta una serie di inconvenienti:

- **Perdita di efficienza energetica della macchina:** il fluido refrigerante, nel percorrere i tubi del circuito perde carico, cioè pressione, e con esso perde entalpia
- **Uso improprio del compressore:** nelle macchine ad espansione diretta il compressore deve funzionare oltre che da macchina termodinamica necessaria a far eseguire il ciclo frigorifero, anche da vera e propria pompa che deve vincere le perdite di carico che il circuito produce, il che significa utilizzarlo in modo improprio e con rendimenti penalizzanti
- **Aumento del rischio di fughe del refrigerante e grosse difficoltà di individuazione delle stesse:** il gas ad alta pressione può sfuggire dal circuito attraverso tenute imperfette, con probabilità di fuga proporzionale alla lunghezza delle tubazioni; la ricerca delle fughe, che avviene tramite dispositivi sensibili ad uno o più elementi introdotti nel refrigerante, è un'operazione tanto più lunga e difficoltosa quanto più è lungo il circuito; trovata la fuga, occorre poi riparare il circuito e ripristinare la giusta carica, spesso dopo averlo vuotato con apposita pompa del vuoto per eliminare eventuali tracce di umidità e di impurità

## IMPIANTI AD ESPANSIONE DIRETTA VS. IDRONICI

In linea di principio, si potrebbero realizzare sistemi multisplit in cui si invia alle terminazioni direttamente il fluido frigorifero. Tuttavia, far percorrere al fluido circuiti complessi significa andare incontro a tutta una serie di inconvenienti:

- ...
- **Pericolo di mancato ritorno dell'olio al compressore** e conseguente grippaggio dello stesso: il compressore, essendo una macchina in cui vi sono parti meccaniche in movimento, deve essere ben lubrificato; l'olio attraversa le superfici interne del compressore miscelandosi con il fluido refrigerante; quando il fluido viene mandato in circolo, con esso lascia il compressore anche una certa quantità di olio lubrificante; se tale quantità non viene reintegrata dall'olio che ritorna dall'aspirazione, il compressore si impoverisce sempre più l'olio e va inesorabilmente al grippaggio; risulta evidente che più è lungo e tortuoso il circuito frigorifero, maggiori sono le possibilità che l'olio non riesca a tornare al compressore
- **Emissioni tossiche in caso di incendio:** in condizioni normali gli idrofluorocarburi HFC come il 407C ed il 410A sono fluidi atossici ed assolutamente non infiammabili; tuttavia se entrano in contatto diretto con la fiamma, come avviene in caso di incendio, essi danno luogo a sostanze altamente tossiche

## IMPIANTI AD ESPANSIONE DIRETTA VS. IDRONICI

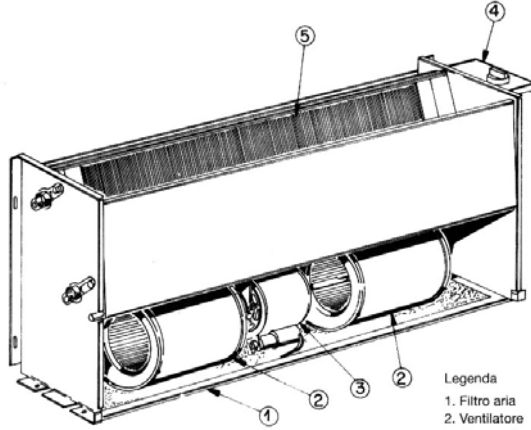
Gli inconvenienti dell'espansione diretta sono eliminati ricorrendo all'idronica:

- **Il fluido frigorifero percorre un circuito molto compatto**, essendo questo posto interamente all'interno della macchina frigorifera (chiller); in tal modo sono ridotte al minimo le perdite di efficienza energetica legate alle cadute di pressione lungo il circuito
- **Il compressore viene sgravato dal compito di pompare il refrigerante** lungo le tubazioni, di cui si fa carico una comune pompa idraulica, che pomperà l'acqua refrigerata ai vari ventilconvettori posti all'interno dei locali
- **Viene eliminato il pericolo del mancato ritorno dell'olio al compressore**, visto che il refrigerante e l'olio percorrono il circuito frigorifero interno alla stessa macchina, ben più corto e compatto rispetto a quello tipico degli impianti ad espansione diretta
- Grazie alla compattezza del circuito frigorifero **vengono ridotte al minimo le possibilità di fuga di refrigerante** e viene resa molto più semplice, perché ben localizzata, la ricerca
- **In caso di incendio gli ambienti sono esenti dall'emissione di sostanze tossiche**, visto che lungo le tubazioni che percorrono i locali circola semplicemente acqua



## IMPIANTI IDRONICI: VENTILCONVETTORI

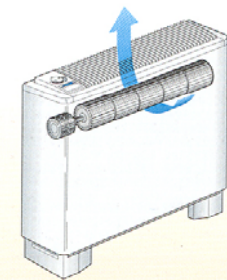
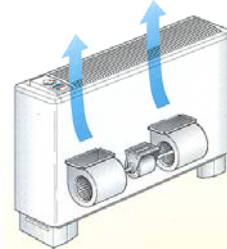
### Ventilconvettori (fan-coil)



Mobiletto ventilconvettore (fan-coil)

Legenda

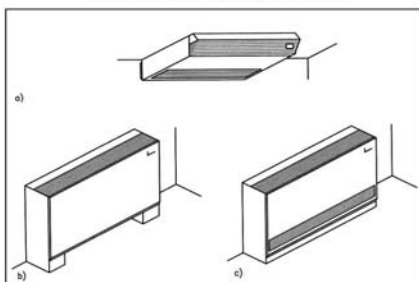
1. Filtro aria
2. Ventilatore
3. Motore elettrico
4. Pannello comandi
5. Batteria di scambio



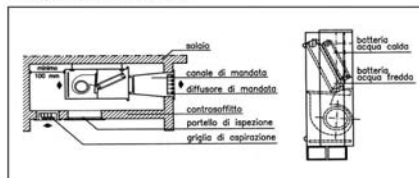
(riscaldamento – raffrescamento)

## IMPIANTI IDRONICI: VENTILCONVETTORI

### Ventilconvettori (fan coil)

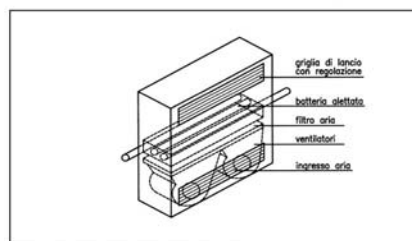


Tipologie disponibili di ventilconvettori: a) installazione a soffitto b) con ripresa dell'aria dal basso c) con ripresa dell'aria dal fronte

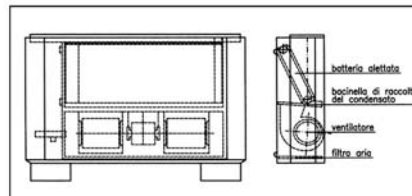


Esempio di ventilconvettore installato nel controsoffitto. Sez. trav. di un ventilconvettore a doppia batteria per impianto a quattro tubi.

### Ventilconvettori ( fan coil)



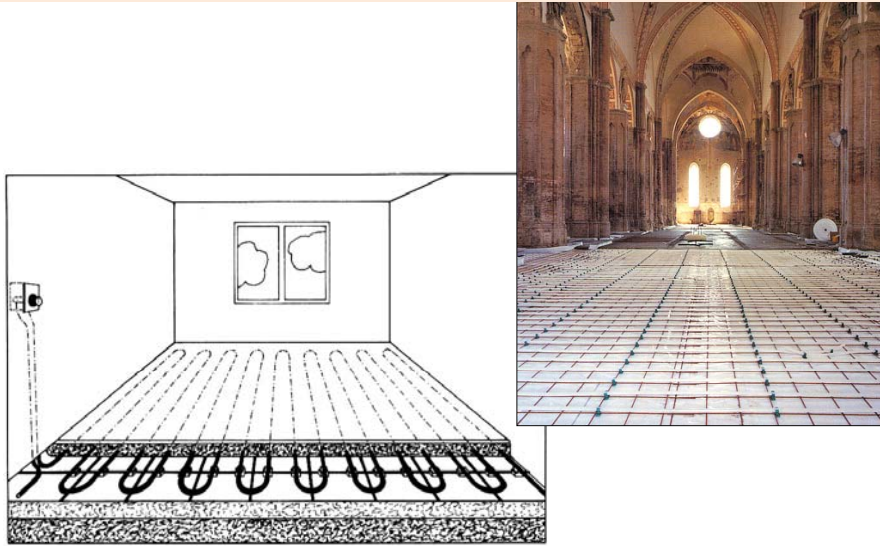
Ventilconvettore (fan coil): schema di funzionamento.



Parti principali di un ventilconvettore

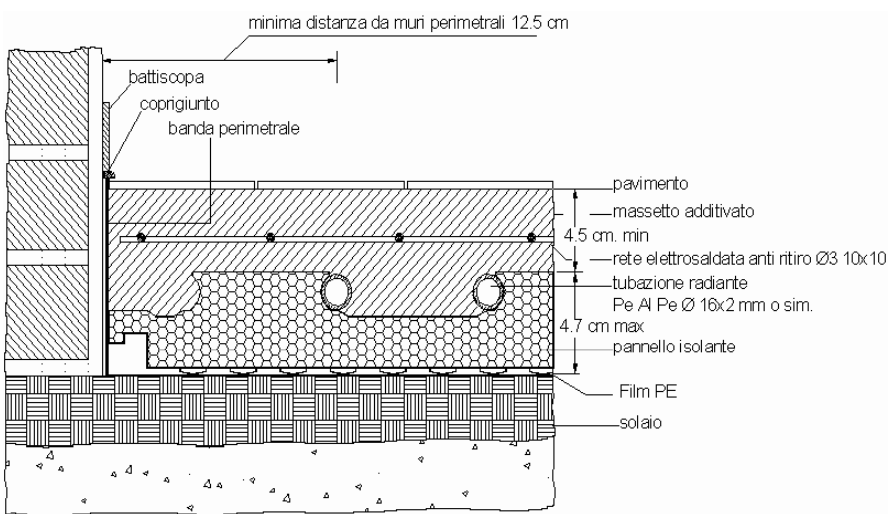
(riscaldamento – raffrescamento)

## IMPIANTI IDRONICI: PANNELLI RADIANTI



Impianto a pannelli radianti sottopavimento

## IMPIANTI IDRONICI: PANNELLI RADIANTI



## IMPIANTI IDRONICI: PANNELLI RADIANTI

Funzionamento invernale (**riscaldamento**):

- temperatura di alimentazione invernale **da 35 a 45°C**
- resa invernale **da 50 a 100 W/m<sup>2</sup>**

Funzionamento estivo (**raffrescamento**):

- temperatura di alimentazione estiva di **16°C** (al di sotto di tale valore si possono avere fenomeni di condensa superficiale)
- resa estiva (massima, **solo calore sensibile**) **30 W/m<sup>2</sup>**
- deumidificazione dell'aria generalmente necessaria

deumidificatore a parete  
alimentato ad acqua fredda



## IMPIANTI IDRONICI CONDENSATI AD ARIA O AD ACQUA

(chiller con condensatore ad aria, a sinistra, o ad acqua, a destra)

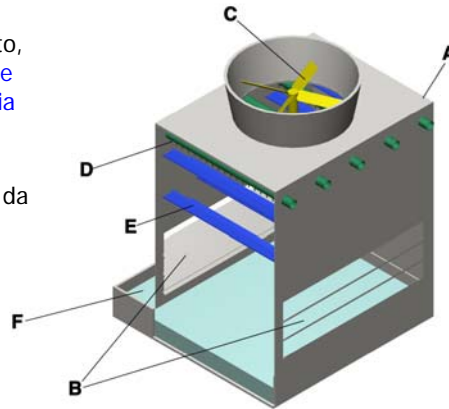


Nel caso di condensatore ad acqua, occorre una sorgente di acqua fredda

## TORRI EVAPORATIVE

Architettura interna:

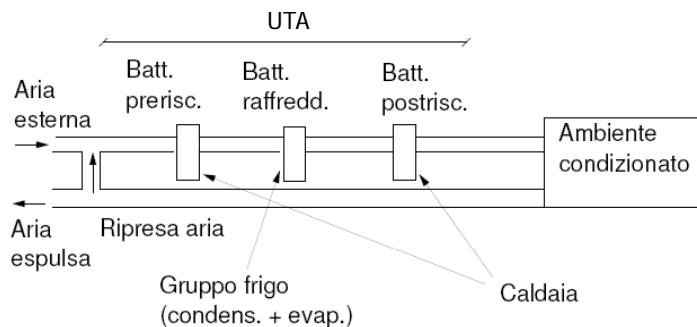
- **Struttura di contenimento (A)**, in cemento, metallo o plastiche varie, **dotata alla base di aperture (B) per la circolazione dell'aria atmosferica**, indotta dal **ventilatore (C)**
- Sistema di distribuzione dell'acqua, costituito da ugelli di distribuzione (D) e da un riempimento solitamente plastico (E)
- **Vasca di raccolta (F)** dell'acqua raffreddata.



Nel valutare l'impiego di una torre evaporativa, occorre tenere conto che il costo dell'acqua (1.6 €/m<sup>3</sup> da acquedotto) e quello degli eventuali processi di decalcificazione possono renderla antieconomica rispetto ad un condensatore ad aria.

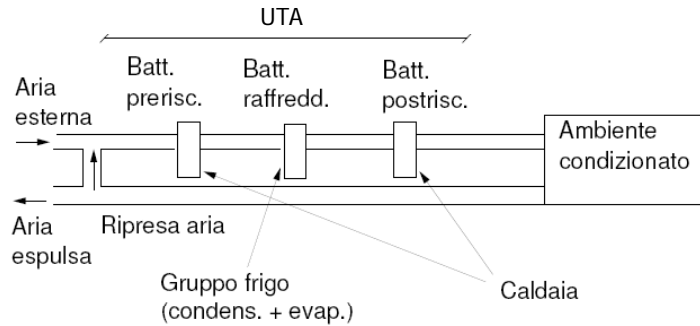
## IMPIANTI TUTT'ARIA

(impianto monocondotto con UTA per funzionamento estivo/invernale)



## IMPIANTI TUTT'ARIA

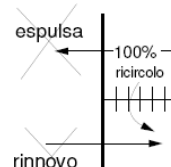
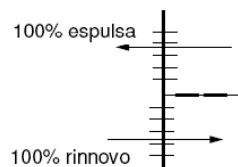
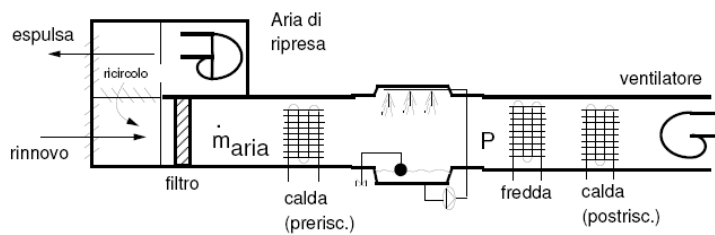
(impianto monocondotto con UTA per funzionamento estivo/invernale)



Nella unità di trattamento aria (UTA) sono presenti varie batterie, calde e fredde, un'umidificatore, un ventilatore, i filtri (che introducono perdite di carico) e le serrande, collegate ad un unico comando motorizzato, con cui si decide la percentuale di aria da riprendere (con i 2 casi estremi di assenza di ricircolo e assenza di rinnovo)

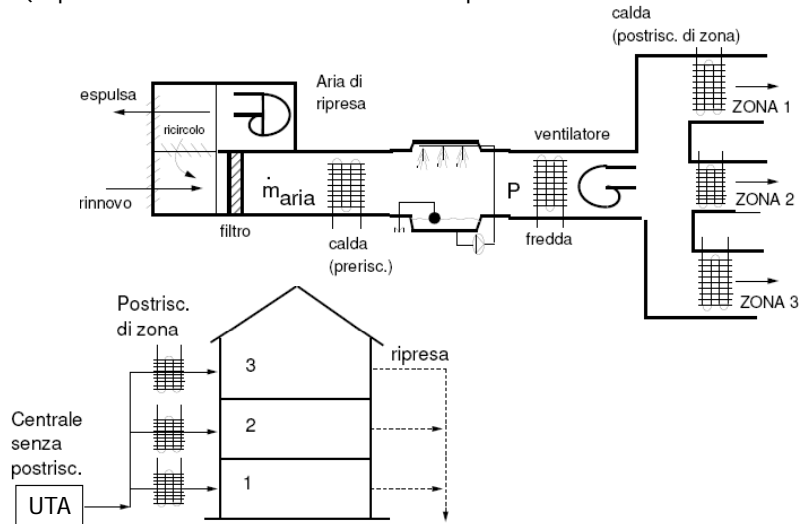
## IMPIANTI TUTT'ARIA

(impianto a un canale con UTA per funzionamento estivo/invernale)



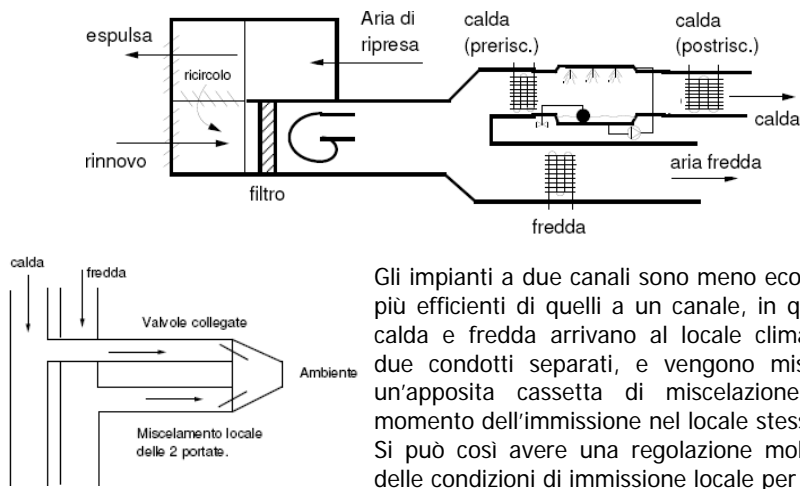
## IMPIANTI TUTT'ARIA

(impianto a un canale multizona con UTA per funzionamento estivo/invernale)



## IMPIANTI TUTT'ARIA

(impianto a due canali multizona con UTA per funzionamento estivo/invernale)



Gli impianti a due canali sono meno economici ma più efficienti di quelli a un canale, in quanto aria calda e fredda arrivano al locale climatizzato in due condotti separati, e vengono miscelate, in un'apposita cassetta di miscelazione, solo al momento dell'immissione nel locale stesso. Si può così avere una regolazione molto precisa delle condizioni di immissione locale per locale.

## IMPIANTI IDRONICI CON TRATTAMENTO ARIA

**Esempio:** schema di impianto con ventilconvettori e relativo circuito di acqua refrigerata e distribuzione di aria primaria trattata da apposita unità.

