



Impianti di climatizzazione a tutt'aria: generalità e dimensionamento



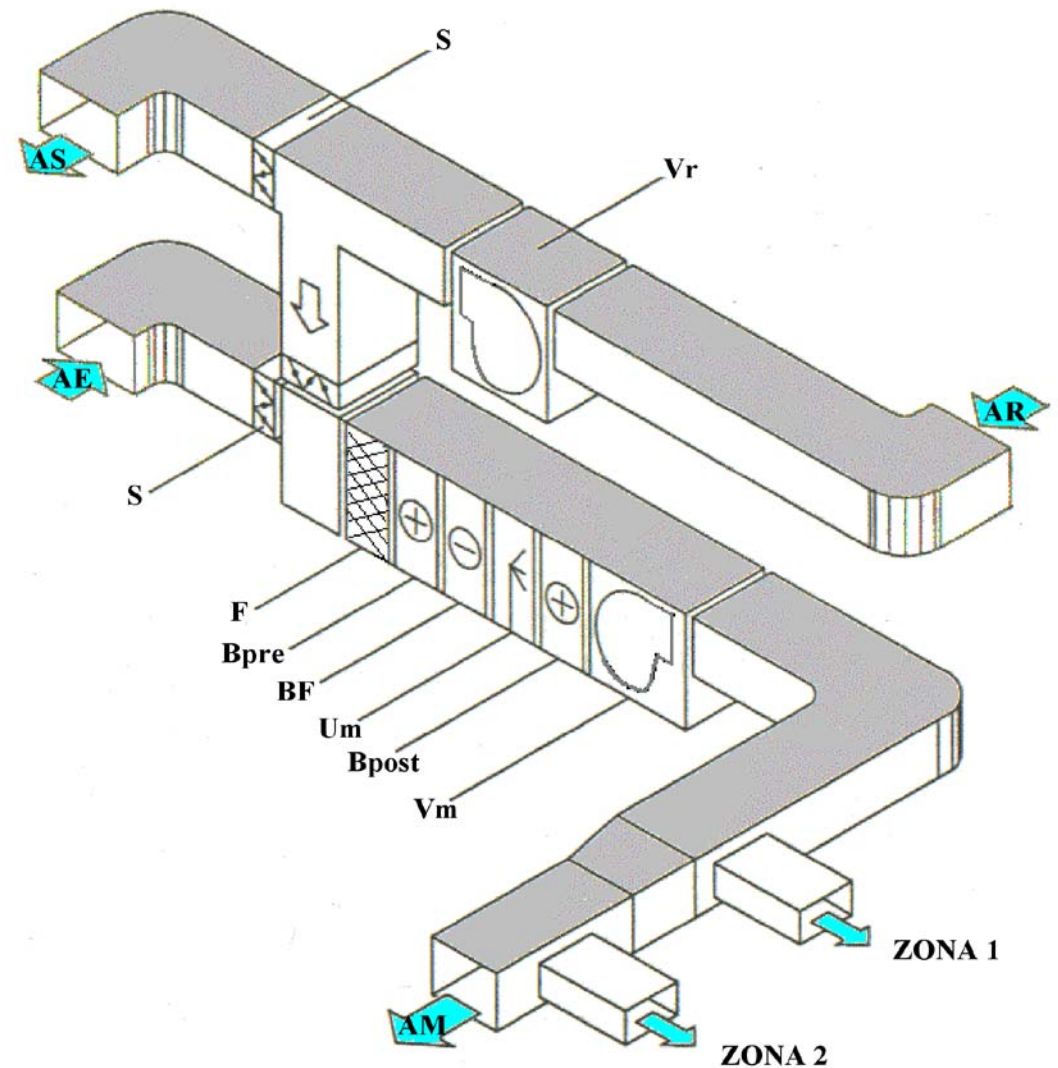
Nelle lezioni precedenti, sono state mostrate le generalità sui vari tipi di impianti di climatizzazione. Qui si riassumono i parametri microclimatici controllati dai vari tipi di impianto:

1. Solo velocità e qualità dell'aria, **quali gli impianti di ventilazione/estrazione forzata.**
2. Solo temperatura dell'aria nella stagione invernale, **quali i tipici impianti di riscaldamento ad acqua calda.**
3. Solo temperatura e talvolta velocità dell'aria, **quali gli impianti ad espansione diretta e gli impianti a fan-coil.**
4. Temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria (solo in inverno), **quali gli impianti a radiatori ed aria primaria o a pannelli radianti ed aria primaria.**
5. Temperatura, umidità relativa e velocità dell'aria, sia in inverno che in estate, **quali gli impianti misti a fan-coil ed aria primaria, gli impianti ad aria per singola zona ed a portata costante e gli impianti ad aria a servizio di più zone (IMPIANTI DI CLIMATIZZAZIONE propriamente detti).**

In questa lezione, sarà illustrato il dimensionamento di Impianti di climatizzazione a tutt'aria, sia per il regime estivo che per quello invernale. Nella prossima, ci si occuperà degli impianti misti.

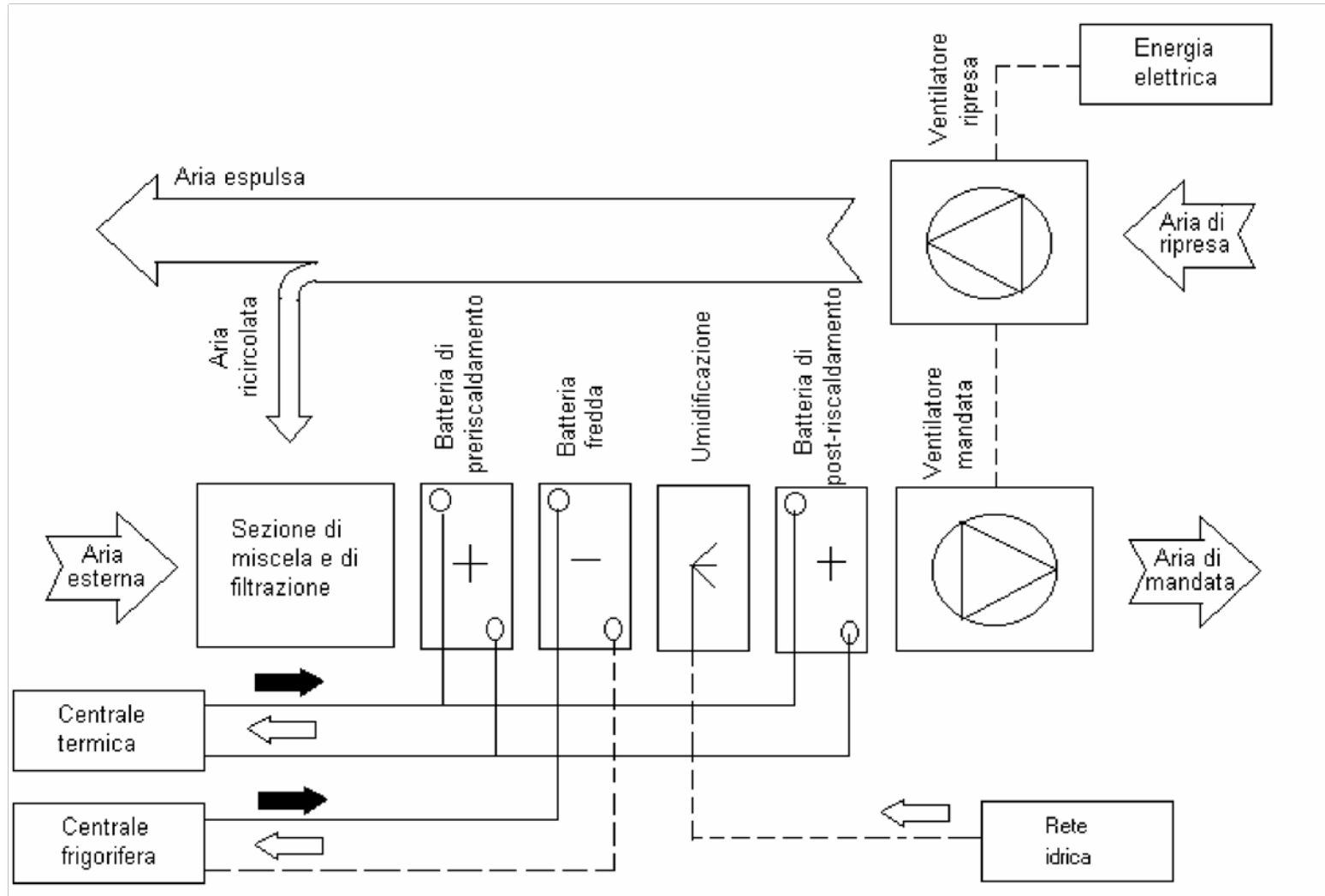
Impianti ad Aria – Schema

- AE – Aria esterna
- AM – Aria di mandata (agli ambienti)
- AR – Aria di ripresa (dagli ambienti)
- AS – Aria espulsa
- BF – Batteria fredda
- Bpost – Batteria di post-riscaldamento
- Bpre – Batteria di pre-riscaldamento
- F – Filtri
- S – Serranda
- Um – Umidificatore
- Vm - Ventilatore di mandata
- Vr – Ventilatore di ripresa





Schema di impianto di climatizzazione ad aria (escluse le centrali)





Dimensionamento di impianti ad aria

La trattazione presenterà l'analisi termodinamica per la progettazione degli impianti ad aria, adottando alcune semplificazioni. **In particolare si ipotizzeranno IDEALI i trattamenti dell'aria umida:**

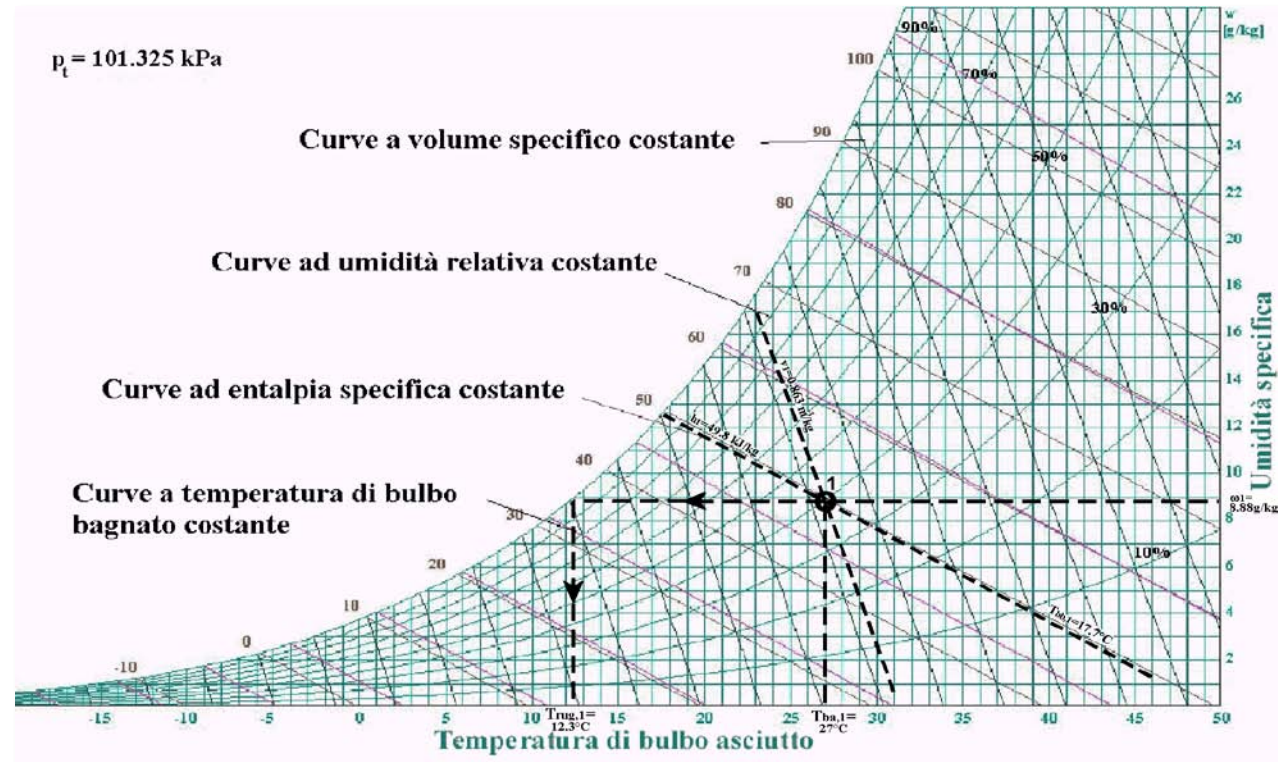
- aria satura dopo la deumidificazione estiva
- aria satura dopo l'umidificazione invernale se ad acqua liquida
- si trascurano le variazioni di temperatura dovute al passaggio dell'aria attraverso i ventilatori ed i canali

SARANNO CONSIDERATI, per semplicità, IMPIANTI PER SINGOLA ZONA

DIAGRAMMA PSICROMETRICO. Lo stato termodinamico dell'aria umida è noto se si conoscono **tre proprietà intensive indipendenti**; se una proprietà è la p_t , le altre due sono comprese nel seguente insieme: $\{T_{ba}, T_{rug}, T^*, \Phi, \omega, h, v\}$.

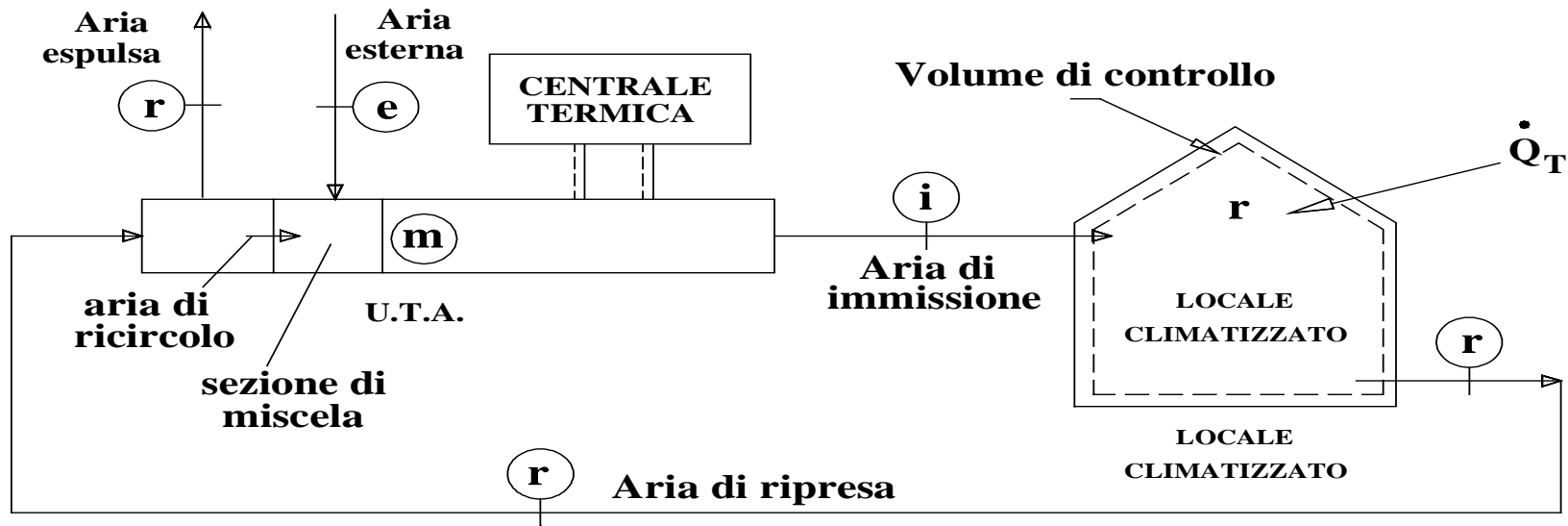
Il diagramma psicrometrico è un diagramma di stato lega tra loro le suddette proprietà.

Tale diagramma, molto utile nella CLIMATIZZAZIONE, fornisce veloce visualizzazione delle trasformazioni dell'aria e del suo stato termodinamico.





IMPIANTI AD ARIA IN REGIME ESTIVO



Il nostro obiettivo è trovare lo stato di immissione e la portata d'aria da immettere. Il trattamento dell'aria umida sarà:

Raffreddamento + Deumidificazione, Post-riscaldamento.

L'equazione di bilancio dell'energia in regime stazionario, considerando un volume di controllo che comprende l'aria all'interno del locale climatizzato, si scrive:

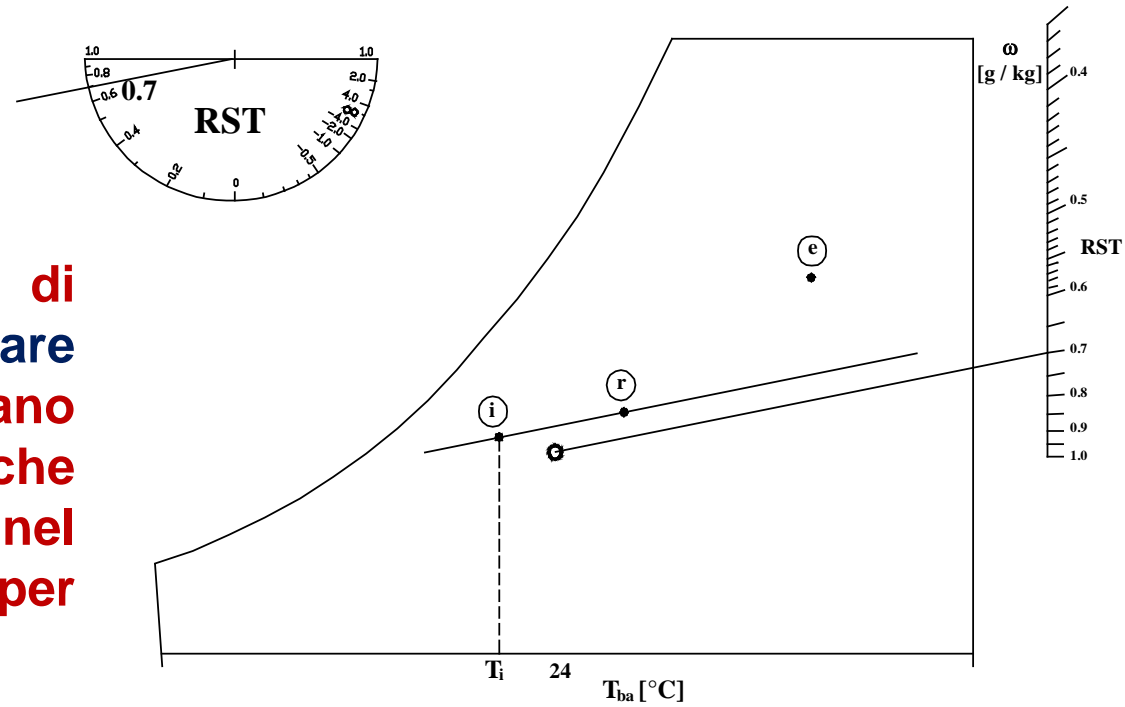
$$\dot{m}_a \cdot h_i + \dot{Q}_T = \dot{m}_a \cdot h_r \quad \text{da cui:} \quad \dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_T}{h_r - h_i}$$



Lo stato d'immissione "i" sul diagramma psicrometrico deve trovarsi su una retta passante per il punto "r" ed avente la pendenza definita da $\Delta h/\Delta \omega$.

Tale retta è detta "retta ambiente". La pendenza della retta ambiente può anche essere individuata mediante il **fattore di carico RST (Rapporto Sensibile su Totale)** - definito come:

$$RST = \dot{Q}_S / \dot{Q}_T$$



La retta ambiente è il luogo di tutti i possibili punti – al variare della portata – che rappresentano le condizioni psicrometriche che deve avere l'aria da immettere nel locale da climatizzare, per garantire le condizioni volute.



Approfondimento

Come visto, il carico termico che insiste su un ambiente è del tipo “**sensibile**” (associato a differenze di temperature) e “**latente**” (associato a differenze di pressioni del vapore).

E' definito FATTORE DI CARICO (o rapporto RST) il rapporto tra carico sensibile e carico totale (somma del carico sensibile e del carico latente).

Conoscendo tale rapporto, che descrive il tipo di carico termico che interessa l'ambiente, è possibile individuare i possibili stati termodinamici di immissione dell'aria, per quanto riguarda temperatura ed umidità assoluta, atti a bilanciare lo specifico carico termico, in funzione della portata immessa.

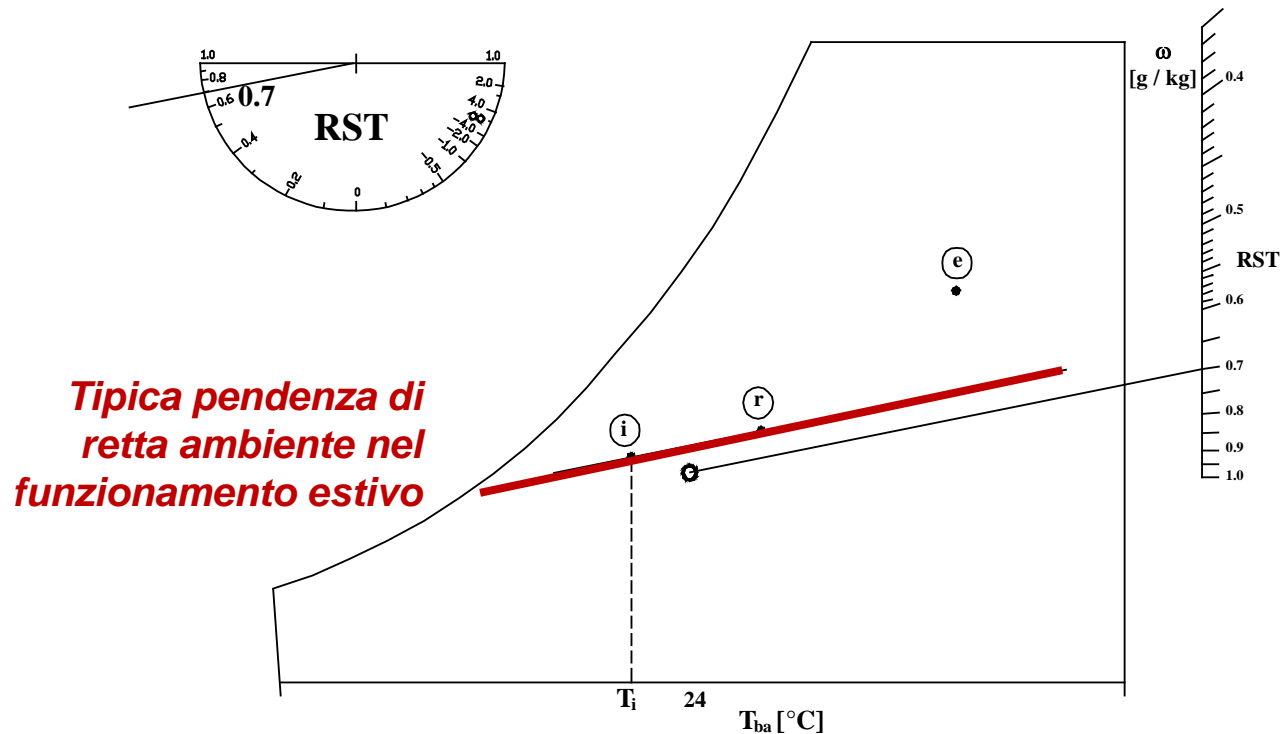
1. $RST = 1$ indica un locale in cui vi è solo solo carico sensibile;
2. RST pari a 0.8 indica che il calore sensibile è pari all'80% del totale.



Approfondimento

Noto il rapporto RST, si può tracciare sul diagramma psicrometrico la retta ambiente corrispondente.

In definitiva, la retta ambiente è la retta passante per il punto desiderato in ambiente (ad esempio: 26°C; 50%) ed avente la pendenza data dal valore di RST (per la pendenza si usa il diagramma semicircolare che si trova in alto a sinistra sul diagramma psicrometrico).





Conoscendo la pendenza della retta ambiente e lo stato di progetto “r”, è possibile determinare semplicemente lo stato “i”, fissando un’ipotetica T_i (nell’intervallo usuale $13 \div 16 \text{ }^\circ\text{C}$).

A questo punto è semplice determinare la portata massica \dot{m}_a e verificare che sia maggiore o uguale a quella richiesta per garantire in ambiente la necessaria qualità dell’aria.

Qualora così non fosse, dovremmo imporre una T_i più vicina ad T_r e ripetere il calcolo.

Il calcolo della portata d’aria da immettere si può anche effettuare considerando solo il carico sensibile o quello latente, secondo le seguenti relazioni:

$$\dot{Q}_S \cong \dot{m}_a \cdot c_p \cdot (T_r - T_i) \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_a \cong \frac{\dot{Q}_S}{(T_r - T_i) \cdot c_p}$$
$$\dot{Q}_L \cong \dot{m}_a \cdot \Delta h_{vs} \cdot (\omega_r - \omega_i) \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_a \cong \frac{\dot{Q}_L}{(\omega_r - \omega_i) \cdot \Delta h_{vs}}$$

Nota: Δh_{vs} è l’entalpia di vaporizzazione dell’acqua a $^\circ\text{C}$, e vale 2500.5 kJ/kg .



BILANCI DI ENERGIA

$$\dot{Q}_T = \dot{m}_a \cdot (h_r - h_i)$$

$$\dot{Q}_{BF} \approx \dot{m}_a \cdot (h_m - h_A),$$

$$\dot{Q}_{BC} = \dot{m}_a \cdot (h_i - h_A)$$

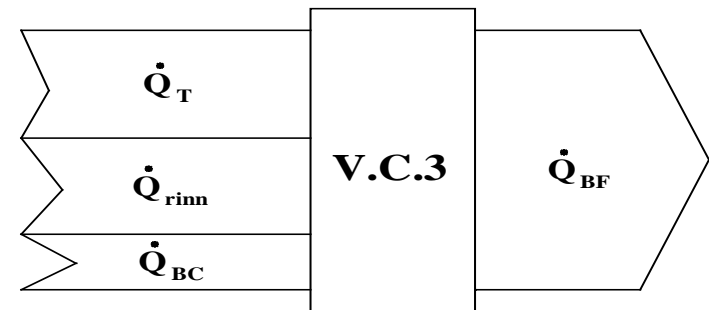
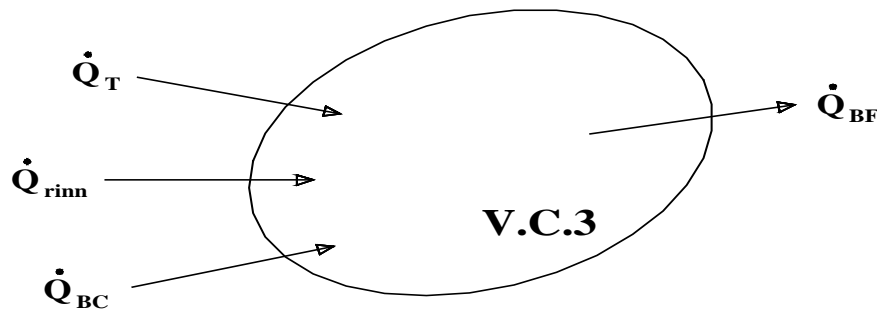
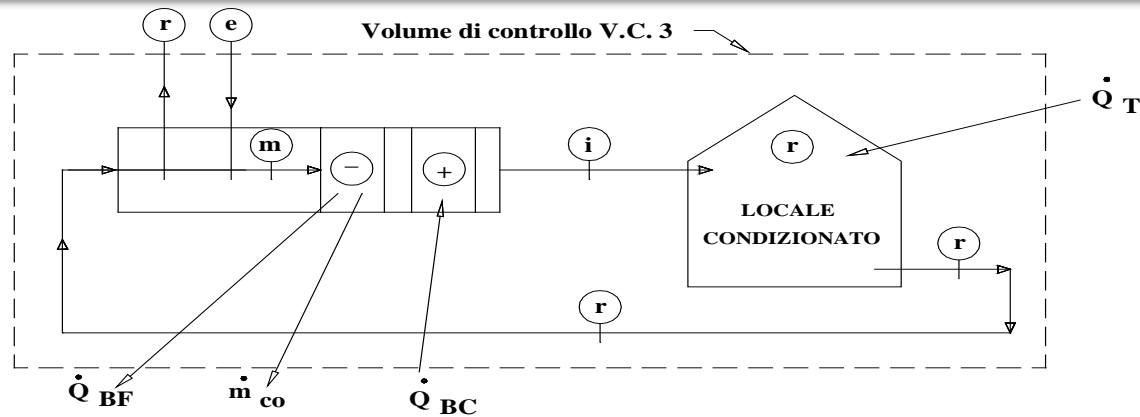
$$Q_{rinn} = \dot{m}_a \cdot (h_m - h_r)$$

BILANCI DI MASSA

$$\dot{m}_{co} = \dot{m}_a \cdot (\omega_m - \omega_A)$$

BILANCIO GLOBALE DI ENERGIA

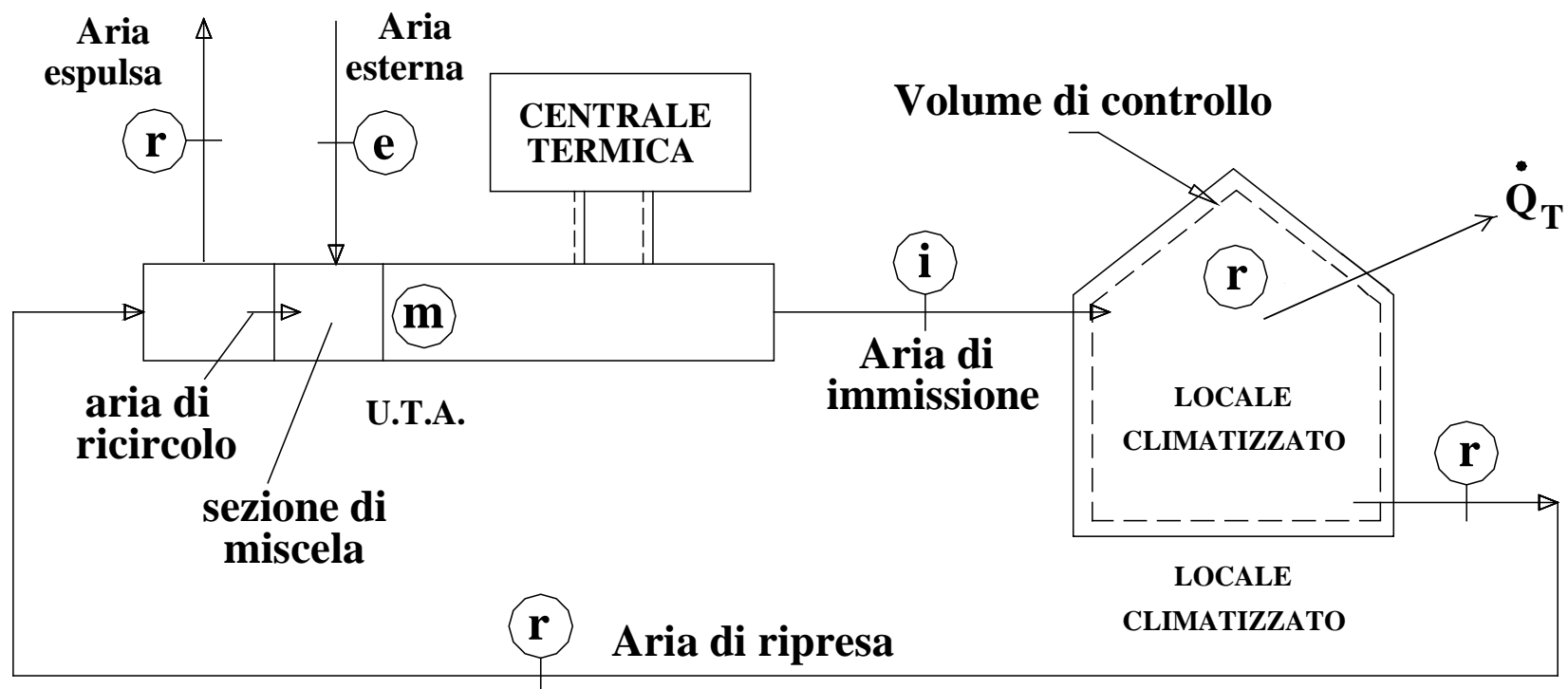
$$\dot{Q}_{BF} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_{BC} + \dot{Q}_{rinn}$$





IMPIANTI AD ARIA IN REGIME INVERNALE

- **Il carico termico sensibile** complessivo dell'ambiente può assumere sia il segno negativo, come generalmente accade, che quello positivo;
- **Il carico termico latente** dell'ambiente è sempre positivo;
- **Il carico totale** può essere positivo o negativo.





Per trovare il punto di immissione sul diagramma psicrometrico, si valuta il rapporto RST e si fissa T_i . L'aria immessa avrà una temperatura maggiore rispetto a quella che si vuole mantenere nel locale. **Un intervallo tipico è $T_i = 28^\circ\text{C} \div 32^\circ\text{C}$.** Successivamente, dall'equazione di bilancio dell'energia, si determina la portata di immissione \dot{m}_i .

$$\text{RST} = \dot{Q}_S / \dot{Q}_T \quad \dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_T}{h_i - h_r}$$

Oppure, in alternativa:

$$\dot{Q}_S \cong \dot{m}_a \cdot c_p \cdot (T_i - T_r) \quad \longrightarrow \quad \dot{m}_a \cong \frac{\dot{Q}_S}{(T_i - T_r) \cdot c_p}$$
$$\dot{Q}_L \cong \dot{m}_a \cdot \Delta h_{vs} \cdot (\omega_r - \omega_i) \quad \searrow \quad \dot{m}_a \cong \frac{\dot{Q}_L}{(\omega_r - \omega_i) \cdot \Delta h_{vs}}$$

Nota: Δh_{vs} è l'entalpia di vaporizzazione dell'acqua a $^\circ\text{C}$, e vale 2500.5 kJ/kg.

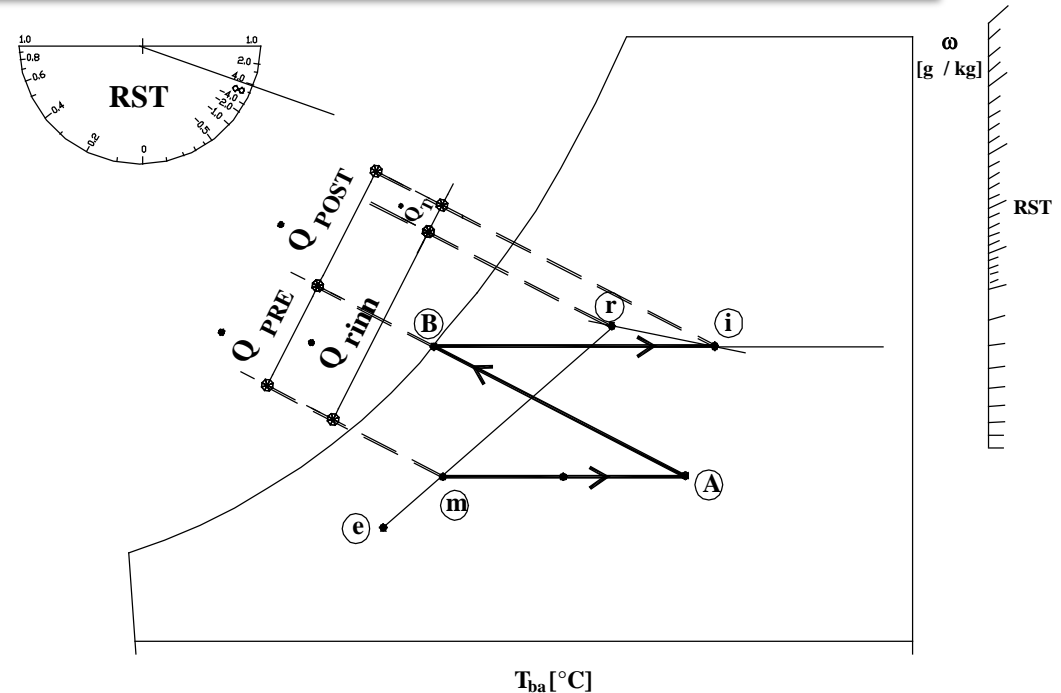
Si operano poi:

- **BILANCI DI ENERGIA** su batteria calda di pre-riscaldamento, e batteria calda di post-riscaldamento;
- **BILANCI DI MASSA** sull'umidificatore.

$$\dot{Q}_{PRE} = \dot{m}_a \cdot (h_A - h_m)$$

$$\dot{Q}_{POST} = \dot{m}_a \cdot (h_i - h_B)$$

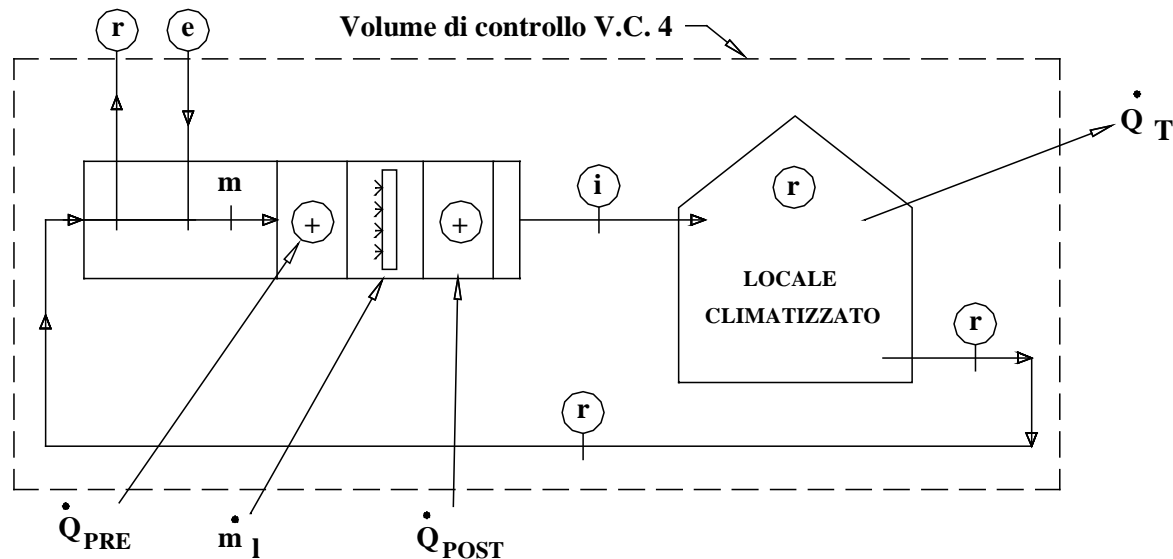
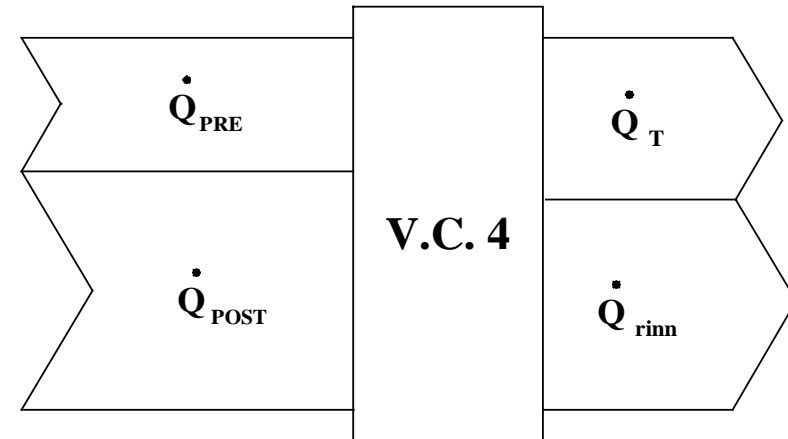
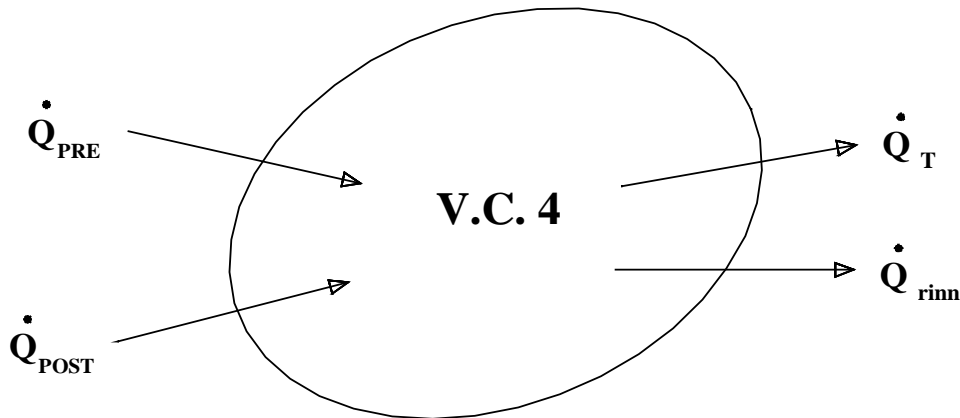
$$\dot{m}_1 = \dot{m}_a \cdot (\omega_B - \omega_A)$$





BILANCIO GLOBALE DI ENERGIA

$$\dot{Q}_{PRE} + \dot{Q}_{POST} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_{rinn}$$



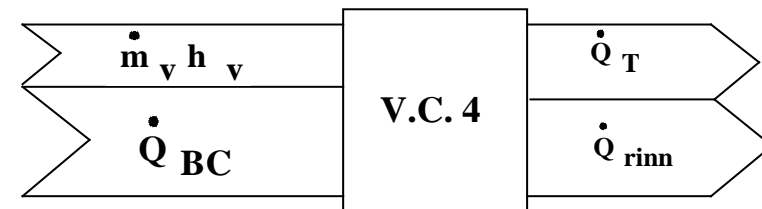
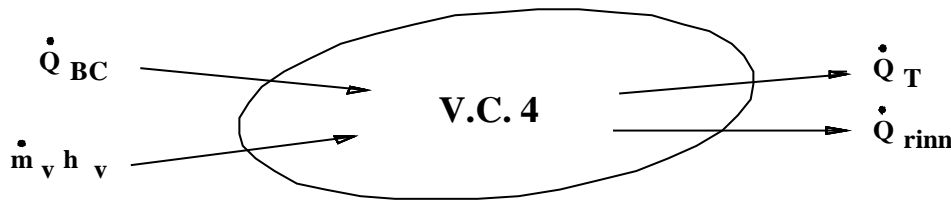


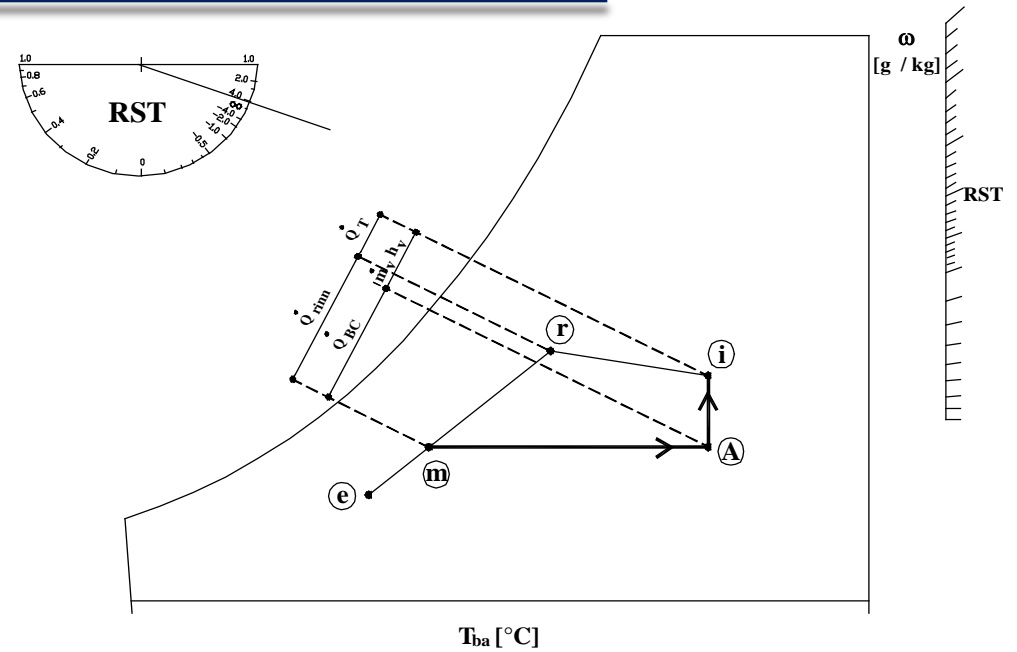
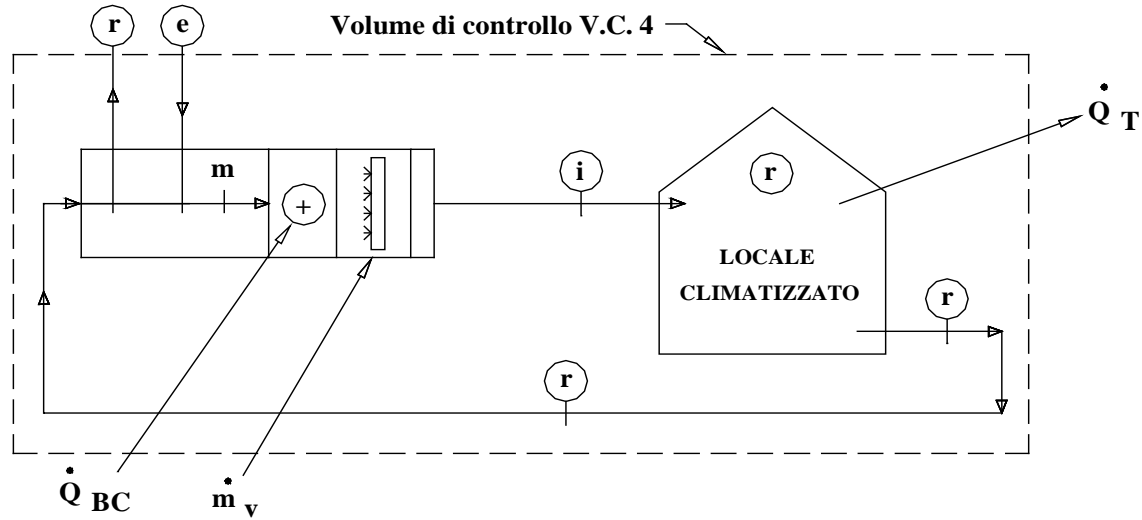
Qualora avessimo optato per un trattamento diverso, mediante **RISCALDAMENTO ed UMIDIFICAZIONE A VAPORE**, non ci sarebbe stato bisogno del **POST-RISCALDAMENTO**.

Non si ripetono le equazioni di bilancio, ma si ritiene opportuno sottolineare che:

- l'umidificazione a vapore non agisce sulla T_{ba} ;
- il salto di umidità specifica deve essere globalmente lo stesso.

BILANCIO GLOBALE DI ENERGIA $\dot{Q}_{BC} + \dot{m}_v \cdot h_v = \dot{Q}_T + \dot{Q}_{rinn}$







Sistemi ROOFTOP

Si tratta di tipologie impiantistiche piuttosto moderne, adottate prevalentemente per la climatizzazione di edifici “monozona”.

All'interno di un unico macro-componente, si provvede sia al trattamento dell'aria che alla produzione dei fluidi termo-vettori.

In sostanza, un unico dispositivo assolve sia il ruolo della centrale termo-frigorifera che quello dell'unità di trattamento dell'aria.



*Rooftop a R410A.
Fonte www.aermecc.it*

Lo scambio avviene direttamente tra fluido refrigerante - in un ciclo frigorifero a compressione di vapore con alimentazione elettrica - ed aria da trattare.

In definitiva, non vi è lo scambio termico attraverso l'acqua usata come fluido termo-vettore, ma direttamente tra refrigerante ed aria.

Tali sistemi, pertanto, analogamente agli Split System ed ai VRF (evoluzione dei multi-split), sono definiti “ad espansione diretta” oppure DX (Direct Expansion).

La convenienza è nel minore ingombro complessivo e nell'elevata efficienza.



Sistemi ROOFTOP

Analogamente alle Unità di Trattamento dell'Aria di un impianto a tutt'aria, una Rooftop può consentire:

a) Il controllo della umidità in estate (deumidificazione) oltre che della temperatura dell'aria, se provvista:

- di batteria fredda, alimentata direttamente dal refrigerante, opportunamente dimensionata per far fronte al carico latente.
- di idonea batteria di post-riscaldamento (elettrica, ad acqua calda, oppure con recupero di calore dal condensatore).

b) Il controllo della umidità invernale (umidificazione), oltre che della temperatura dell'aria, se provvista:

- di umidificatore, ad acqua liquida o vapore;
- di idonea batteria di post-riscaldamento (elettrica, ad acqua calda, oppure con recupero di calore dal condensatore), se l'umidificazione è avvenuta con processo isoentalpico.



Recupero di Calore. Cenni

Il recupero di energia dall'aria di espulsione è, in taluni casi, molto conveniente oltre che prescritto per legge (D.P.R. 412/93).

Il principio base consiste nello scambio termico tra due correnti contrapposte che attraversano i due lati dello scambiatore.

I recuperatori di calore sono convenienti se si verificano una o più delle seguenti condizioni:

- quando le portate d'aria esterna di ventilazione e di espulsione sono di molto elevate.
- quando il numero di ore di funzionamento dell'impianto di ventilazione e di espulsione è elevato.
- quando la stagione invernale è molto fredda (elevato numero di gradi-giorno) e la stagione estiva da un elevato numero di ore in cui le temperatura di bulbo asciutto e bulbo umido raggiungono valori alti.

I recuperatori di calore si collocano nelle Unità di Trattamento dell'Aria o anche nelle Rooftop



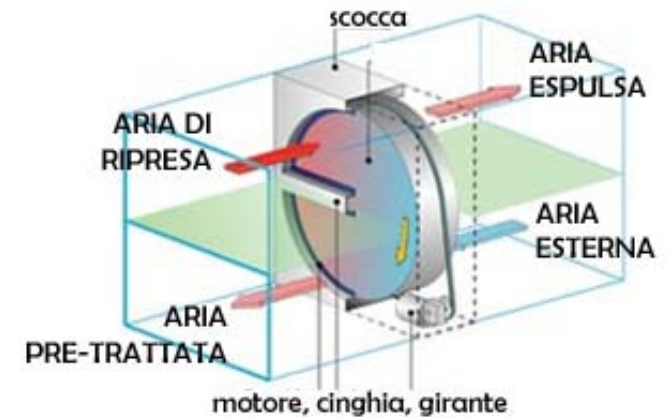
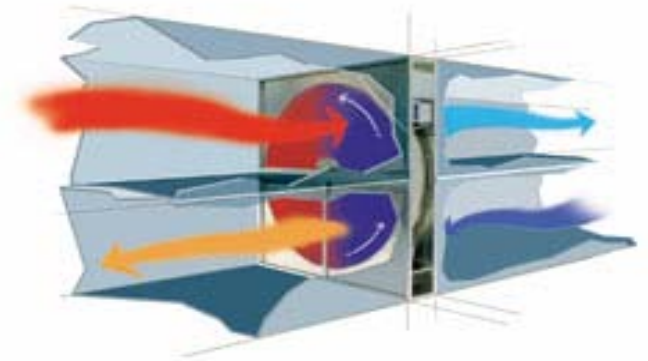


Recuperatori di Calore, sensibili e/o entalpici, di tipo rotativo

Inseriti nelle UTA o nelle Rooftop, tali sistemi sono costituiti essenzialmente da una ruota o tamburo rotante di materiale permeabile all'aria, caratterizzata da una grande superficie di contatto con l'aria stessa.

Durante la rotazione, il tamburo assorbe energia termica dalla corrente d'aria più calda, riscaldandosi, e lo cede successivamente alla corrente d'aria più fredda, raffreddandosi – scambio di calore sensibile.

Nel caso in cui si richieda anche lo scambio di calore latente, il tamburo viene opportunamente trattato con un materiale (quale il cloruro di litio) che lo rende igroscopico, permettendo l'assorbimento del vapor d'acqua dalla corrente d'aria più umida e la sua cessione alla corrente d'aria più secca.

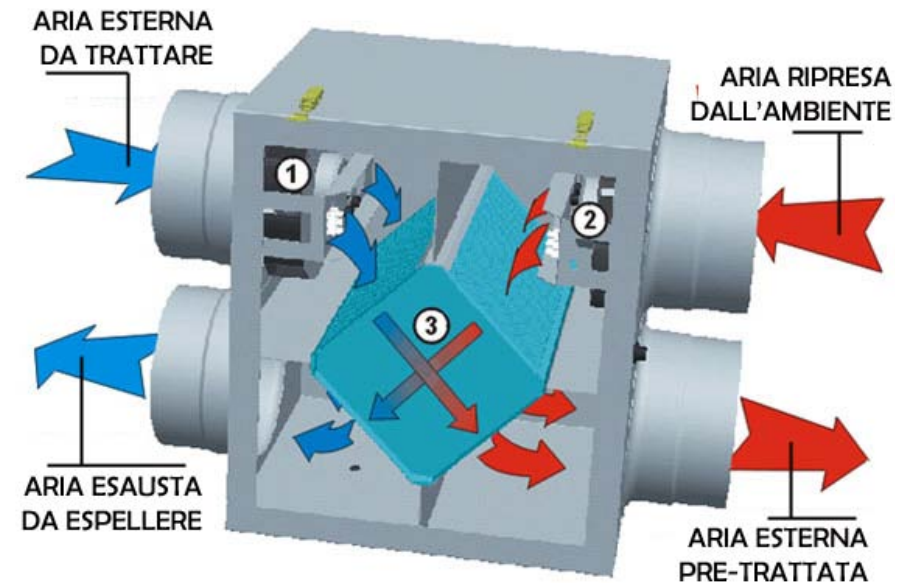




Recuperatori di calore a piastre e a flussi incrociati.

Il recupero avviene senza nessun contatto, diretto o indiretto, tra le portate massicche di aria, bensì per conduzione. Non vi è quindi il rischio di contaminazioni.

Sono scambiatori di tipo statico costituiti da un involucro di forma rettangolare aperto alle due estremità, la cui sezione trasversale è suddivisa in molteplici passaggi da una configurazione cellulare.



I canali risultanti si alternano in canali per il passaggio dell'aria espulsa e in canali per l'aria di rinnovo; i flussi d'aria possono essere a correnti incrociate o in controcorrente.

Oltre al tradizionale recuperatore a piastre esiste anche il tipo a piastre con alettatura, nel quale le piastre di ciascuna sezione sono collegate da un sistema di alette.