

Impianti di Climatizzazione e Condizionamento



Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria delle Costruzioni Edili e dei Sistemi ambientali

Corso di "Impianti Tecnici per l'Edilizia"

CENTRALI TECNOLOGICHE

COMPONENTI DI UN IMPIANTO DI CONDIZIONAMENTO

Impianti a tutt'aria:

1. terminali di immissione dell'aria;
2. rete di distribuzione ed eventualmente di ripresa dell'aria;
3. condizionatore (o UTA) per trattare la portata d'aria di progetto;
4. **centrale termica e frigorifera.**

Impianti misti aria-acqua:

1. terminali di immissione dell'aria;
2. rete di distribuzione dell'aria;
3. condizionatore (o UTA) per il trattamento dell'aria primaria;
4. **centrale termica e frigorifera.**
5. elemento terminale (ventilconvettore, induttore o pannello radiante);
6. rete di distribuzione dell'acqua;

GENERALITA'

Le centrali tecnologiche ospitano le apparecchiature necessarie alla produzione dei fluidi (aria e acqua) che alimentano l'impianto di condizionamento.

L'acqua calda e refrigerata sono impiegate, oltre che nei circuiti di alimentazione delle batterie di scambio termico presenti nell'UTA, anche nel circuito di alimentazione degli elementi terminali negli impianti misti.

Macchina frigorifera



Acqua refrigerata

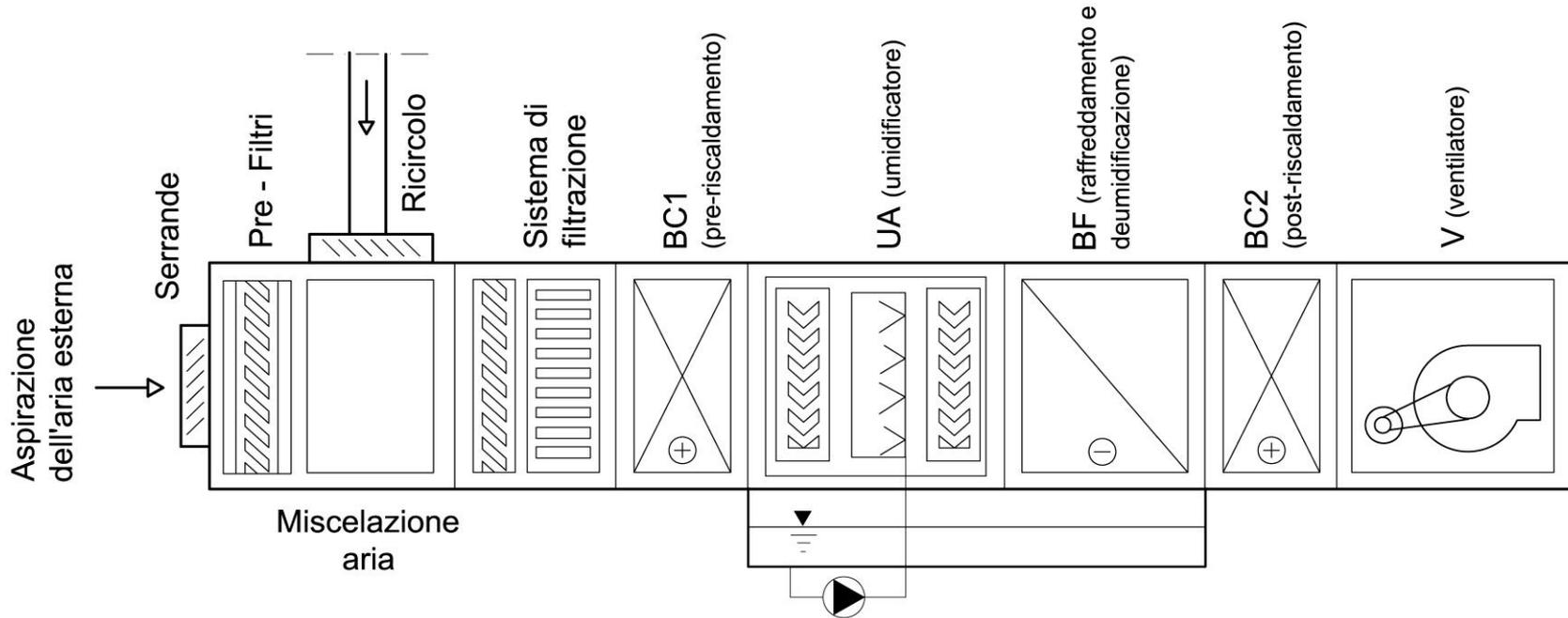
Caldaia



Acqua calda

UTA

La componibilità è la caratteristica più evidente delle UTA, pertanto il loro progetto si riduce alla scelta ed al dimensionamento delle singole sezioni.



La **batteria di pre-riscaldamento** e l'**umidificatore adiabatico** sono utilizzati soltanto in inverno, la **batteria fredda** soltanto in estate mentre quella di **post-riscaldamento** sia in inverno che in estate (negli impianti monocondotto).

UTA





Filtri A TASCHE



Umidificazione adiabatica con pompa di ricircolo



Sezione batterie scambio termico rame-alluminio



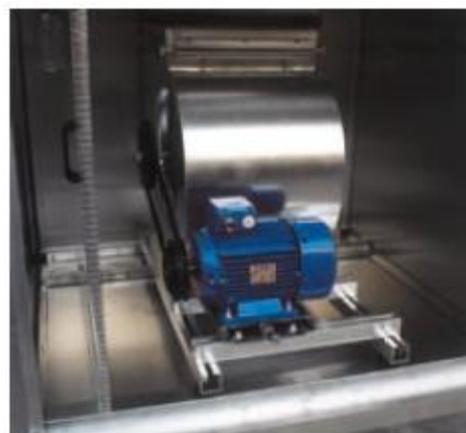
Sezione scambio termico acciaio inox alluminio preverniciato



Filtri A RULLO



Umidificazione a vapore



Rispetto allo schema più generale (nel quale sono presenti tre batterie e un umidificatore), che consente di fruire dell'impianto di climatizzazione durante tutte le stagioni dell'anno, le UTA possono presentare schemi semplificati, in funzione del tipo di impiego:

- sola batteria calda (o di pre-riscaldamento) limitatamente ad impieghi di termoventilazione invernale;
- batteria calda, fredda ed umidificatore adiabatico per termoventilazione invernale e condizionamento estivo;
- sola batteria fredda limitatamente alla climatizzazione estiva.

Dimensionamento degli elementi principali

La batteria di pre-riscaldamento (BC1) opera la trasformazione di pre-riscaldamento a umidità specifica costante dal punto E al punto P.

La potenzialità della batteria di pre-riscaldamento è data dalla seguente relazione, nel caso in cui non venga effettuato ricircolo dell'aria interna:

$$Q_{BC1} = G \cdot \rho \cdot (h_P - h_E) / 3600 \quad (\text{kW})$$

dove:

Q_{BC1} = potenzialità batteria di pre-riscaldamento (kW);

G = portata d'aria da trattare (m^3/h);

ρ = densità dell'aria (kg/m^3);

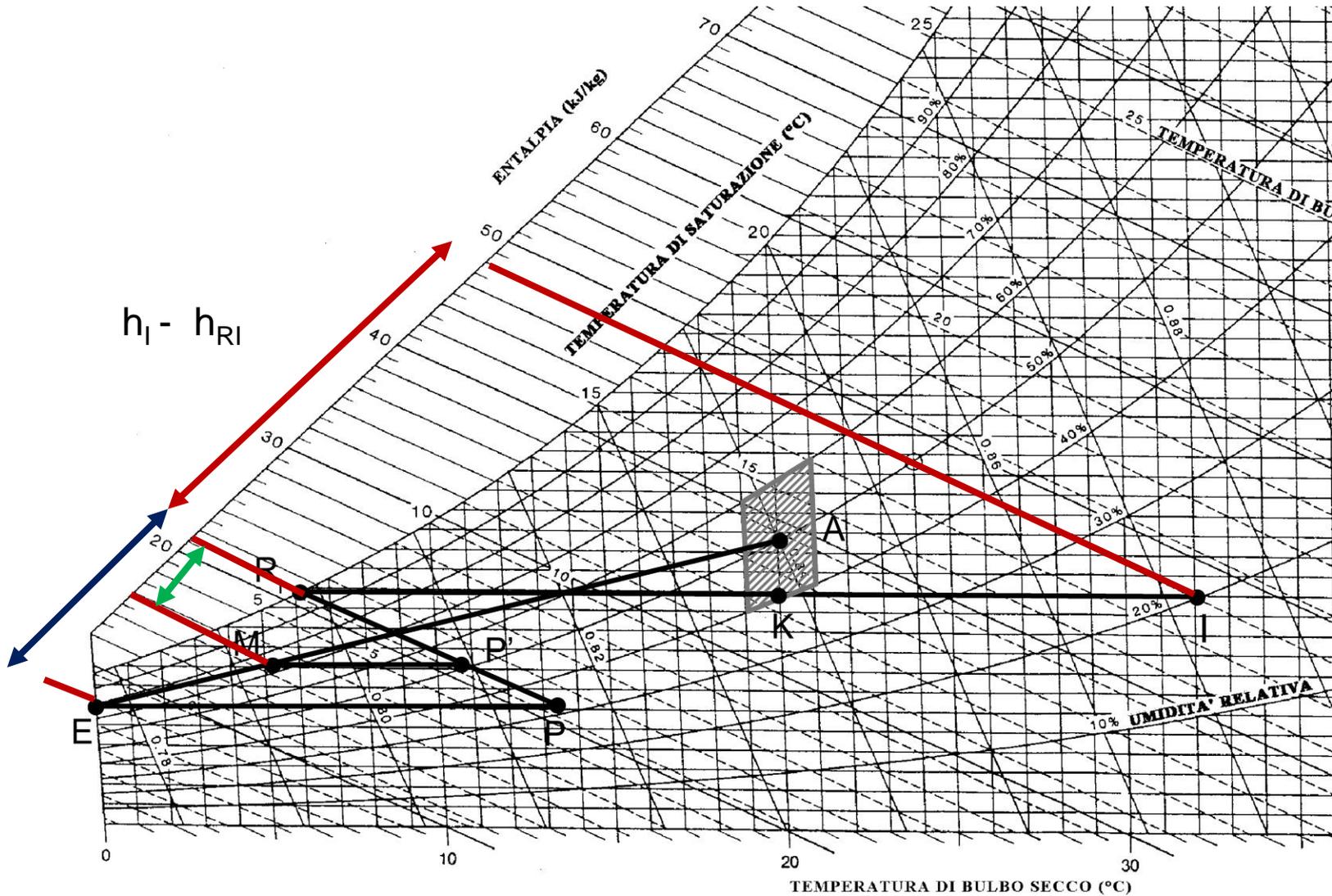
h_P = entalpia dell'aria nel punto P (kJ/kg);

h_E = entalpia dell'aria nel punto E (kJ/kg).

Impianti a tutt'aria

CASO INVERNALE

Miscela effettuata prima dell'ingresso nel condizionatore



Dimensionamento degli elementi principali

Quando viene effettuato il ricircolo dell'aria interna, il punto di introduzione dell'aria all'unità di trattamento coincide con il punto di miscela M. In questo caso, la relazione che consente di determinare la potenzialità della batteria di pre-riscaldamento risulta la seguente:

$$Q_{BC1} = G \cdot \rho \cdot (h_{P'} - h_M) / 3600 \quad (\text{kW})$$

dove:

Q_{BC1} = potenzialità batteria di pre-riscaldamento (kW);

G = portata d'aria da trattare (m^3/h);

ρ = densità dell'aria (kg/m^3);

$h_{P'}$ = entalpia dell'aria nel punto P' (kJ/kg);

h_M = entalpia dell'aria nel punto M (kJ/kg).

Dimensionamento degli elementi principali

La batteria fredda (BF) effettua il raffreddamento a umidità specifica costante da E a R_E e il raffreddamento con deumidificazione da R_E a R_I. La sua potenzialità è data dalla seguente relazione, nel caso in cui non venga ricircolata l'aria interna:

$$Q_{BF} = G \cdot \rho \cdot (h_E - h_{RI}) / 3600 \quad (\text{kW})$$

dove:

Q_{BF} = potenzialità batteria fredda (kW);

G = portata d'aria da trattare (m³/h);

ρ = densità dell'aria (kg/m³);

h_E = entalpia dell'aria nel punto E (kJ/kg);

h_{RI} = entalpia dell'aria nel punto RI (kJ/kg).

Dimensionamento degli elementi principali

I valori di h_E e h_{RE} possono essere determinati mediante il diagramma psicrometrico.

Anche in questo caso, quando viene effettuato il ricircolo, il punto di introduzione dell'aria nell'UTA coincide con il punto di miscela M.

La relazione da usare per la determinazione della potenzialità della batteria fredda è la seguente:

$$Q_{BF1} = G \cdot \rho \cdot (h_M - h_{RI}) / 3600 \quad (\text{kW})$$

dove:

Q_{BF1} = potenzialità batteria fredda (kW);

G = portata d'aria da trattare (m^3/h);

ρ = densità dell'aria (kg/m^3);

h_M = entalpia dell'aria nel punto M (kJ/kg);

h_{RI} = entalpia dell'aria nel punto RI (kJ/kg).

Dimensionamento degli elementi principali

La potenzialità della batteria di post-riscaldamento (BC2) deve essere calcolata **nel caso estivo e in quello invernale; quale dato di progetto si assume il valore massimo dei due**. La relazione che ne consente il calcolo è la seguente:

$$Q_{BC2} = G \cdot \rho \cdot (h_I - h_{RI}) / 3600 \quad (\text{kW})$$

dove:

Q_{BC2} = potenzialità batteria di post-riscaldamento (kW);

G = portata d'aria da trattare (m^3/h);

ρ = densità dell'aria (kg/m^3);

h_I = entalpia dell'aria nel punto di introduzione I (kJ/kg);

h_{RI} = entalpia dell'aria nel punto RI (caso estivo ed invernale) (kJ/kg).

Normalmente la potenzialità richiesta dalla batteria per il post-riscaldamento in condizioni invernali è in generale maggiore rispetto al caso estivo.

Dimensionamento degli elementi principali

Per dimensionare l'umidificatore adiabatico bisogna determinare la portata d'acqua da somministrare all'aria in condizioni invernali (trattamento P-RI) per garantire il raggiungimento di un adeguato contenuto igrometrico. Questa si determina mediante la seguente relazione:

$$G_W = G \cdot \rho \cdot (X_{RI} - X_P) / 1000 \quad (\text{kg/h})$$

dove:

G_W = portata d'acqua (kg/h);

G = portata d'aria di progetto (m^3/h);

ρ = densità dell'acqua (kg/m^3);

X_{RI} = umidità specifica dell'aria nel punto RI (g/kg);

X_P = umidità specifica dell'aria nel punto P (g/kg).

Dimensionamento degli elementi principali

Per dimensionare il ventilatore di mandata occorre definire i valori della portata d'aria e della prevalenza.

La portata d'aria è pari alla portata totale, determinata in fase di progetto.

La prevalenza del ventilatore, deve essere tale da consentire di vincere le perdite di carico totali del circuito aeraulico (per il circuito più sfavorito) e sono espresse dalla relazione già vista in precedenza:

$$\Delta P = \Delta P_d + \Delta P_c + \Delta P_{diff} + \Delta P_{UTA} \quad (\text{Pa})$$

Al valore di ΔP , ai fini della definizione della prevalenza del ventilatore, si applica in genere un fattore di sicurezza dell'ordine di 1.5.

Note G e ΔP , è possibile determinare la potenza del ventilatore di mandata :

$$W_v = \left(\frac{G \cdot \Delta P}{\eta} \right) / 3600 \quad (\text{W})$$

Generatori di calore: tipologie e caratteristiche costruttive

- ✓ Sono dispositivi che realizzano la conversione dell'energia naturalmente disponibile in termini di **fonte primaria (combustibili, radiazione solare, ecc.)**, in energia termica con caratteristiche adeguate all'impiego che se ne deve fare (acqua calda, acqua surriscaldata, vapore).
- ✓ In ambito impiantistico, i generatori di calore sono indicati con il nome di caldaie, intendendo il complesso formato dal corpo caldaia vero e proprio, dal bruciatore, da uno scambiatore di calore e da altri elementi accessori.
- ✓ All'interno viene generata energia termica, per mezzo della reazione del combustibile con il comburente (aria); l'energia termica prodotta è ceduta ad un fluido termovettore che scorre all'interno di uno scambiatore.

Generatori di calore: Classificazione

Sistema di evacuazione fumi

- ✓ a tiraggio **naturale**, in cui i fumi sono espulsi per convezione naturale;
- ✓ a tiraggio **forzato**, in cui i fumi sono espulsi da un ventilatore.

Combustibile impiegato

- ✓ a biomasse;
- ✓ a gasolio;
- ✓ ad olio combustibile;
- ✓ a gas naturale (metano);
- ✓ a gas di petrolio liquefatto (GPL);
- ✓ di tipo misto.

Fluido termovettore

- ✓ ad acqua;
- ✓ ad olio diatermico.

Bruciatore

- ✓ interno;
- ✓ esterno.

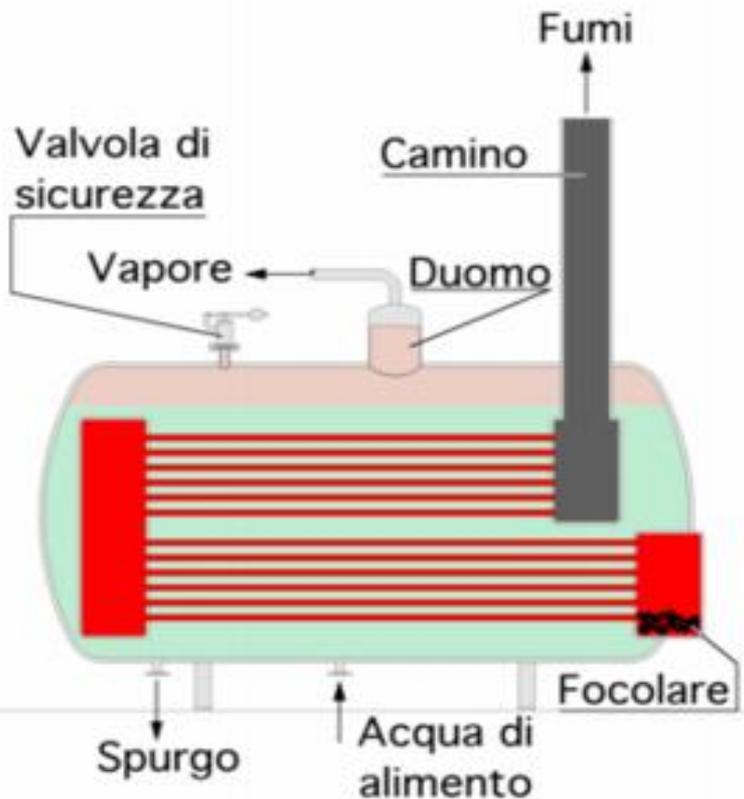
Tipologia costruttiva

- ✓ Tubi di fumo;
- ✓ Tubi d'acqua.

Materiale

- ✓ acciaio,
- ✓ Ghisa
- ✓ rame.

Caldaia a tubi di fumo



Sono costituite da un corpo riempito d'acqua; l'acqua lambisce un fascio tubiero all'interno del quale, per effetto del tiraggio della canna fumaria, scorrono i fumi della combustione.

- ✓ Ghisa: più resistenti alla corrosione dovuta ai fumi acidi ed alla loro condensazione; manutenzione relativamente semplice ma sono più costose e pesanti.
- ✓ Acciaio: sono del tipo monoblocco, quindi hanno limitati problemi di tenuta

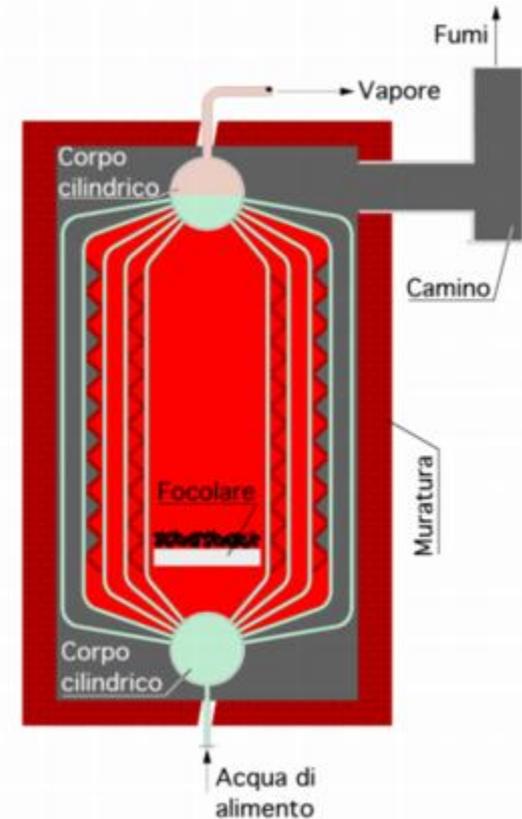
Potenze: 100÷1000 kW

Caldaia a tubi d'acqua

- ✓ Sono disponibili nel campo di potenze medio alte (>1 MW) o piccole (<30 kW);
- ✓ sono costituite da uno o due collettori da cui si dipartono i tubi d'acqua, in modo da delimitare la zona all'interno della quale avviene la combustione

Il coefficiente di scambio termico è maggiore rispetto alle caldaie a tubi di fumo, ma sono maggiori anche i costi di acquisto così come le perdite di carico.

Esistono caldaie con **scambiatore in rame** che permette di realizzare scambiatori di forma molto complessa, così che si possono ottenere grandi superfici di scambio in poco spazio. Inoltre, se i prodotti della combustione sono privi di zolfo, il rame resiste alle condense acide; è in genere impiegato nella costruzione di **piccole caldaie per il riscaldamento autonomo a gas naturale (8÷30 kW).**



Generatori di calore:dimensionamento

Nota la potenza termica massima che la caldaia deve cedere alle utenze, per il suo dimensionamento bisogna tener conto delle perdite di calore lungo il percorso di distribuzione del fluido termovettore.

Il **rendimento di combustione** η_c è il rapporto tra la quantità di calore prodotta nel processo Q e il potere calorifico PCI del combustibile:

$$\eta_c = \frac{Q}{PCI}$$

In condizioni di funzionamento a regime indicando con Q_c la quantità massima di calore generato dalla combustione e tenendo conto del calore **perso al camino** Q_d (calore sensibile dei fumi e dei possibili incombusti), si definisce **rendimento istantaneo al focolare** η_{iF} il seguente:

$$\eta_{iF} = \frac{Q_F}{PCI} \quad Q_F = Q_c - Q_d \quad \text{con } Q_F \text{ è il } \textit{calore reso al focolare}$$

Il calore reso al fluido vettore (per esempio all'acqua), ottenibile dal calore reso al focolare meno le dispersioni termiche proprie della caldaia Q_s ; ciò porta alla definizione di un più interessante **rendimento istantaneo al fluido** η_{if} , dato da:

$$\eta_{if} = \frac{Q_f}{PCI} \quad Q_f = Q_F - Q_s$$

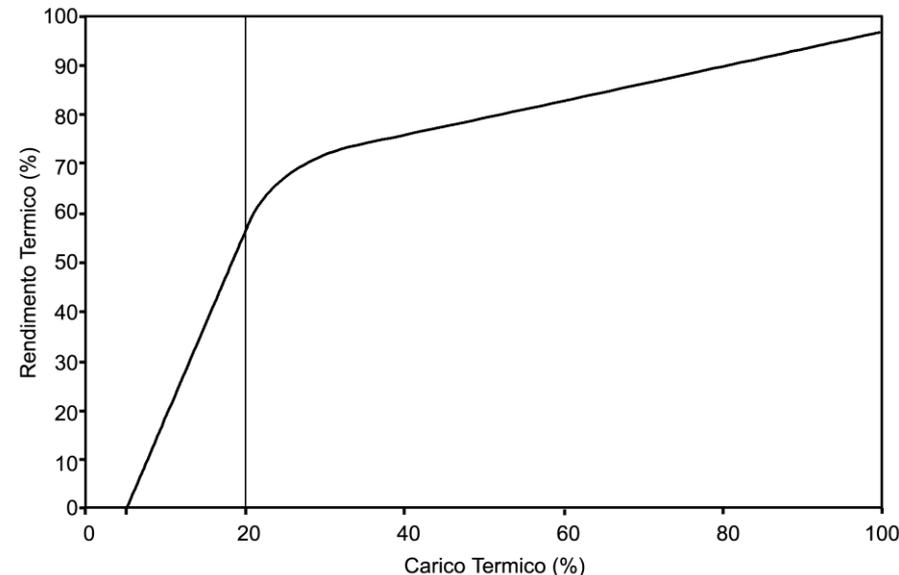
Generatori di calore:dimensionamento

Il **rendimento istantaneo al fluido** η_{if} fornisce utili indicazioni solo nel caso in cui la caldaia abbia funzionamento stabile nel tempo alla sua massima potenzialità mentre, come sovente accade, **sono frequenti cicli d'accensione e spegnimento che portano ad una forte diminuzione del rendimento, perché si hanno ulteriori perdite di calore legate ai transitori e alle dispersioni esterne della caldaia.**

Il **rendimento a carico ridotto** η_r (intendendo per carico ridotto quello corrispondente al 20% del carico nominale), per avere indicazioni orientative anche sul funzionamento intermittente.

Indicando con Q_A il calore prodotto a regime e con Q_i il calore perduto per fenomeni di intermittenza, il rendimento a carico ridotto è dato da:

$$\eta_r = \frac{Q_r}{PCI} \quad Q_r = Q_A - Q_i$$



Generatori di calore:dimensionamento

La potenzialità deve essere calcolata considerando che, dal progetto dell'impianto, risultano note le potenze termiche che devono essere fornite al fluido termovettore. Pertanto la potenza termica Q_{fC} richiesta dal fluido caldo sarà pari a:

$$Q_{fC} = Q_{BC1} + Q_{BC2} \quad \text{impianti a tutt'aria}$$

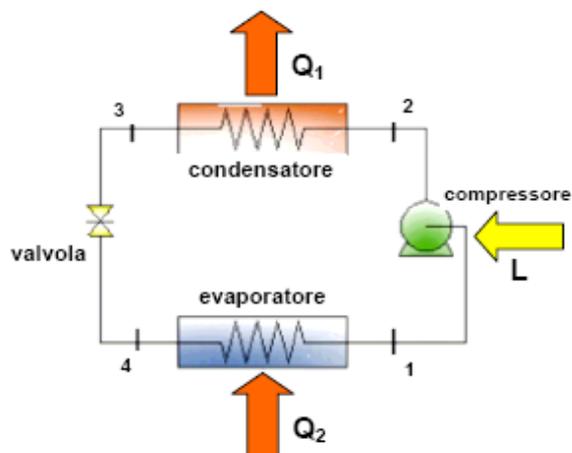
$$Q_{fC} = Q_{BC1} + Q_{BC2} + Q_{vi} \quad \text{impianti misti:}$$

La potenzialità Q_C della caldaia sarà quindi determinata tenendo conto delle perdite sopra menzionate (rendimento di combustione, rendimento istantaneo al focolare η_{iF} , rendimento istantaneo al fluido η_{if}):

$$Q_C = \frac{Q_{fC}}{\eta_c \cdot \eta_{iF} \cdot \eta_{if}} \quad (\text{kW})$$

Macchine frigorifere: tipologie e caratteristiche costruttive

Macchine frigorifere a compressione



L'evaporatore è il componente del gruppo refrigerante in cui avviene la fase utile del ciclo.

Le tipologie principali sono due:

- evaporatori a fascio tubiero;
- evaporatori ad espansione diretta.

Attualmente il mercato offre diverse tipologie di gruppi refrigeratori preassemblati, che impiegano acqua come fluido di lavoro, con potenzialità comprese tra pochi kW fino a migliaia di kW.

Caratteristiche	Fluido di raffreddamento del condensatore	
	Aria	Acqua
Campo di potenze frigorifere*	3 – 1500 kW	3 – 20.000 kW e oltre
Versioni a pompa di calore	Sì	Sì
Versioni a recupero di calore	Sì	Sì
Versioni a free cooling	Sì	No
Versioni polivalenti	Sì	Sì
Versioni per alte temperature esterne, anche oltre 50 °C	Sì	—
Versioni per refrigerazione con basse temperature del fluido in uscita	Sì	Sì
Versioni silenziose	Sì	Sì

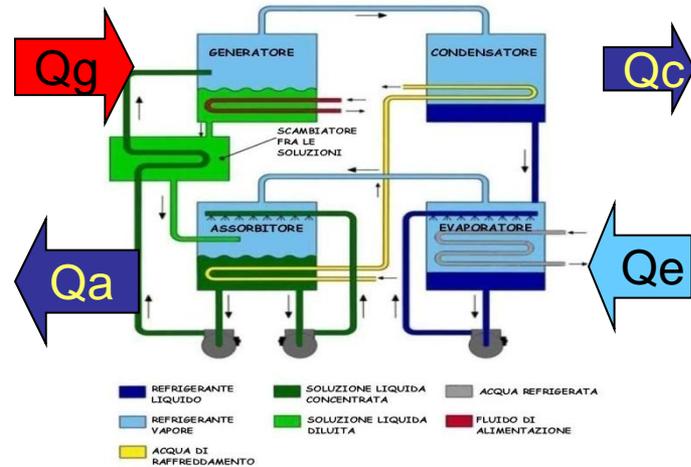
*per esecuzioni monoblocco

Fascia di potenza, kW	Tipo di compressore	Numero di circuiti	Tipo di evaporatore	Refrigerante
Fino a 40 kW ca.	Scroll	1	DX	R-407C, R-410A
Da 41 a 200 kW ca.	Scroll (2+2)	2	DX	R-407C, R-410A
Da 201 a 900 kW ca.	Scroll (4+4)	2	DX	R-407C, R-410A
	Vite	1 o 2	DX	R-134a
	Centrifughi Turbocor	1 o 2	DX o allagato	R-134a
Da 901 a 2000 kW	Centrifughi Turbocor	2 o 4	DX o allagato	R-134a
Oltre 2001	Centrifugo	1 o 2	allagato	R-134a

Legenda

DX : a espansione diretta

Macchine frigorifere ad assorbimento



Le macchine frigorifere ad **assorbimento** impiegano come fluidi di lavoro soluzioni liquide sature; esistono numerose coppie di refrigerante-assorbente, ma a livello commerciale le più diffuse sono **Acqua-Bromuro di Litio** nel campo della climatizzazione e **Ammoniaca-Acqua** nel campo della refrigerazione industriale.

Le macchine ad assorbimento attualmente reperibili sul mercato si distinguono ulteriormente in base alle temperature necessarie allo sviluppo dei processi interni alla macchina stessa.

Nel caso in cui si adottino processi di combustione standard (impiegando combustibili quali gas, gasolio, biomasse), le potenzialità vanno da un minimo di 10 kW fino ad un massimo di alcune decine di MW.

Macchine frigorifere: tipologie e caratteristiche costruttive

La collocazione della centrale frigorifera è subordinata alla destinazione d'uso del sistema edificio-impianto e deve sottostare a vincoli di carattere strutturale, e nel caso, urbanistici.

- esterna, in fabbricato dedicato e separato dall'edificio utente;
- esterna, sopra la copertura dell'edificio utente;
- interna, nella parte bassa dell'edificio utente.

Collocazione	Requisiti edificio	Vantaggi	Svantaggi
Esterna in edificio dedicato	Utenza frazionata su più edifici Potenza elevata (>2 MW)	Manutenzione facilitata Rumorosità ridotta	Disponibilità area esterna Estensione reti Impegno energetico per il pompaggio
Esterna sopra copertura	Verifica statica del solaio Assorbimento delle vibrazioni Potenza contenuta (<0.7 MW)	Risparmio di aree utili Adiacenza dell'utenza alla centrale Non serve ulteriore spazio per le torri evaporative	Manutenzione problematica Possibili <i>fumane</i> dalle torri evaporative Rumorosità
Interna parte bassa edificio	Verifica statica del solaio Assorbimento delle vibrazioni Potenza media (<1.5 MW)	Manutenzione facilitata se l'accesso è indipendente Adiacenza dell'utenza alla centrale	Disponibilità spazio interno Manutenzione problematica se l'accesso non è indipendente Rumorosità

Macchine frigorifere:dimensionamento

Tenere in conto costi di installazione, esercizio, manutenzione, dimensioni e sicurezza di funzionamento.

Generalmente, per impianti medio-piccoli, la scelta ricade su un'unica macchina; nel caso di impianti che richiedono potenzialità medio-alte è consigliabile optare per più gruppi refrigeranti.

Impianti a tutt'aria: $Q_F = Q_{BF}$ (kW)

Q_F = potenza termica resa al fluido intermedio adibito al trasporto del freddo

Impianto misto, la potenzialità è fornita da: $Q_F = Q_{BF} + Q_{ve}$ (kW)

Q_{BF} e Q_{ve} potenze richieste dalla batteria fredda dell'UTA e dal circuito dei ventilconvettori in funzionamento estivo

Cenni sulla regolazione degli impianti

- ✓ Per gran parte del tempo, l'impianto funziona a carico ridotto e il sistema di regolazione deve provvedere a ridurre la potenzialità.
- ✓ Il sistema di regolazione della temperatura e del contenuto igrometrico dell'aria inviata nell'ambiente deve essere capace di **adeguare le prestazioni** dell'unità di trattamento aria alle esigenze derivanti dalla variabilità delle **condizioni esterne e dei carichi interni**.
- ✓ I sistemi di regolazione possono essere molteplici:

Impianti a tutt'aria a portata costante

Impianti a tutt'aria a portata variabile

Impianti misti (a ventilconvettori)

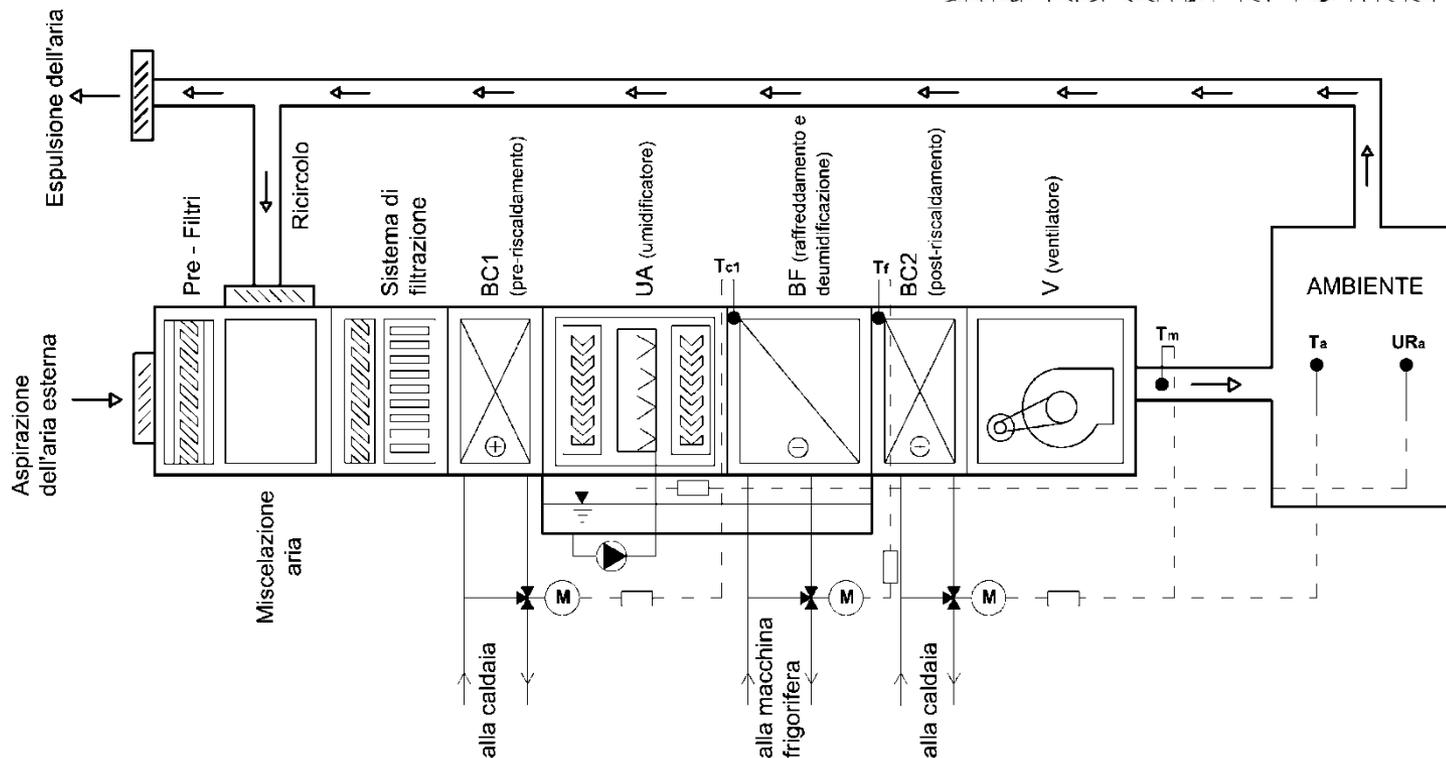
- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">✓ <u>Regolazione a punto fisso</u>✓ <i>Regolazione a tutto o niente del gruppo frigorifero</i>✓ <i>Controllo proporzionale della potenza frigorifera fornita alla batteria di raffreddamento</i> | <p><i>La regolazione è effettuata per mezzo di termostati di zona che controllano la serranda della rispettiva cassetta al fine di variare la portata d'aria immessa in ambiente secondo l'andamento del carico termico. La regolazione dell'umidità relativa non viene effettuata in modo diretto, ma indirettamente nella centrale.</i></p> | <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Regolazione sull'acqua – velocità del ventilatore costante</i>✓ <i>Regolazione sull'aria secondaria – portata d'acqua costante attraverso la batteria</i>✓ <i>Regolazione combinata aria – acqua</i> |
|--|--|---|

Impianti a tutt'aria: regolazione a punto fisso

✓ In estate un termostato a valle della batteria di raffreddamento comanda la valvola a tre vie di alimentazione di BF, variando la portata di acqua refrigerata

✓ In inverno un termostato a valle dell'umidificatore adiabatico fa variare la portata di acqua calda che alimenta la batteria di preriscaldamento

CASO ESTIVO



SISTEMI DI FILTRAZIONE E PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

Nel processo di filtrazione dell'aria si deve considerare:

- tipologia di inquinante da rimuovere;
- forma;
- dimensioni;
- peso specifico delle particelle;
- proprietà elettriche delle polveri;
- velocità del flusso di aria.

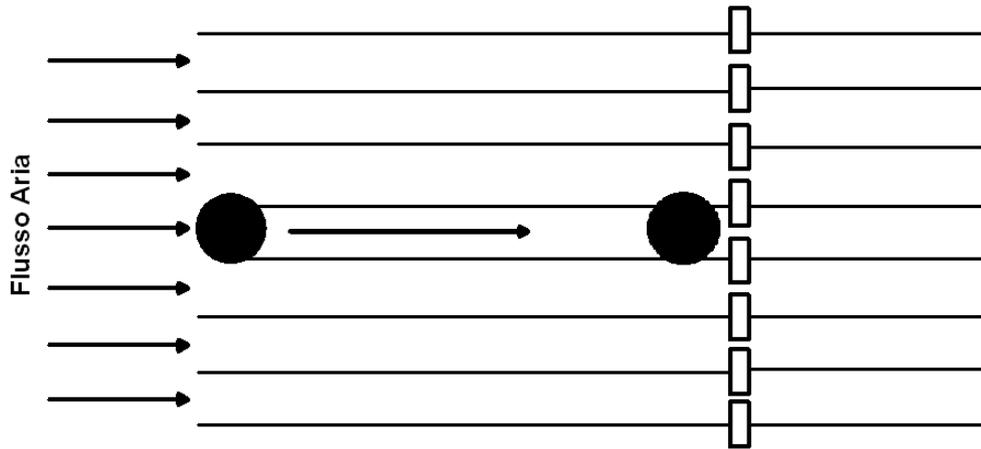
Esistono diversi meccanismi di filtrazione con efficienze differenti.

I dispositivi per la depurazione dell'aria possono essere inseriti all'interno dei canali, oppure consistono in apparecchi indipendenti, da installare all'interno dei locali o da appoggiare a terra o su ripiani (in locali quali bar e ristoranti).

Classificazione in base al principio di funzionamento

1. Meccanismo di setaccio;
2. Meccanismo di inerzia o collisione;
3. Meccanismo di intercettazione;
4. Meccanismo di diffusione;
5. Azione elettrostatica;
6. Meccanismo di adsorbimento

1. Meccanismo di setaccio



Sono costituiti da **fibres**;

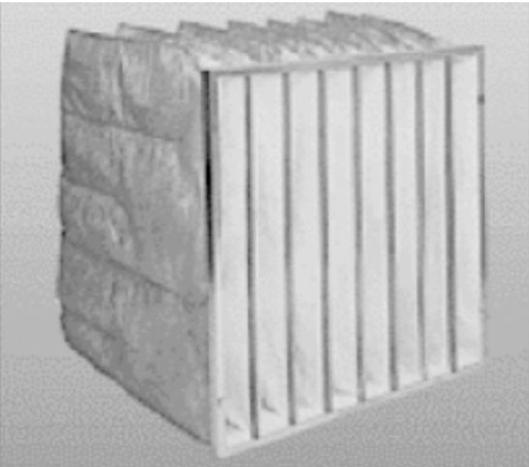
Il flusso d'aria attraversa le fibre del filtro:

- le particelle solide con diametro maggiore della distanza tra le fibre che costituiscono il filtro sono arrestate;
- le particelle più grossolane si fermano nei punti di intersezione delle fibre;
- le particelle più minute si depositano lungo le fibre stesse per l'azione di forze elementari di attrazione elettrostatica (effetto intercettazione).

Il meccanismo di setaccio **non è influenzato dalla velocità delle particelle** ed è il più efficiente per quelle con **dimensioni $\geq 5 \mu\text{m}$** ; per le particelle tra $0.3 \div 0.4 \mu\text{m}$, interviene il meccanismo di intercettazione.

Tipologie di filtri a setaccio

- Filtri a sacco;
- Filtri a pieghe;
- Filtri assoluti (HEPA; ULPA);
- Filtri viscosi

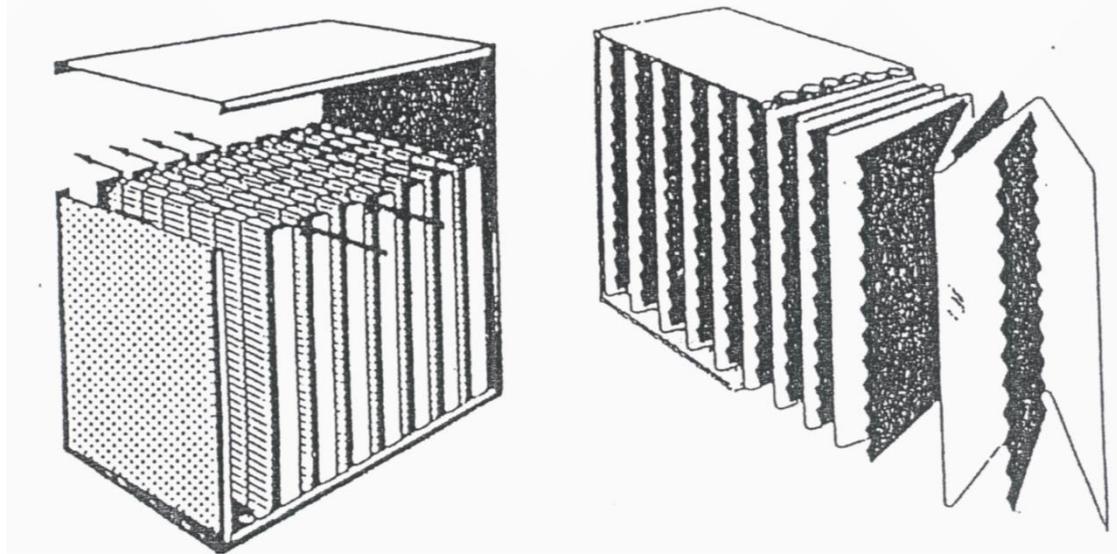


Filtro a sacco .

- Il mezzo filtrante è costituito da strati sovrapposti di fibre di diametro molto piccolo, dell'ordine di **1 μm** , tesi e **disposti in direzione parallela al flusso d'aria**, per formare delle profonde sacche.
- La velocità dell'aria all'ingresso può variare tra i 2 e i 3.5 m/s, mentre quella attraverso il materiale filtrante fra 0.25 e 0.4 m/s.
- Le perdite di carico iniziali variano tra i 50 e i 150 Pa. **La perdita di carico alla quale è opportuna la sostituzione è dell'ordine dei 100 - 150 Pa eccedenti i valori iniziali**

Filtro a pieghe.

Il mezzo filtrante utilizza una **carta – filtro**, costituita per il 95% di microfibre di vetro e per il 5% di leganti sintetici.

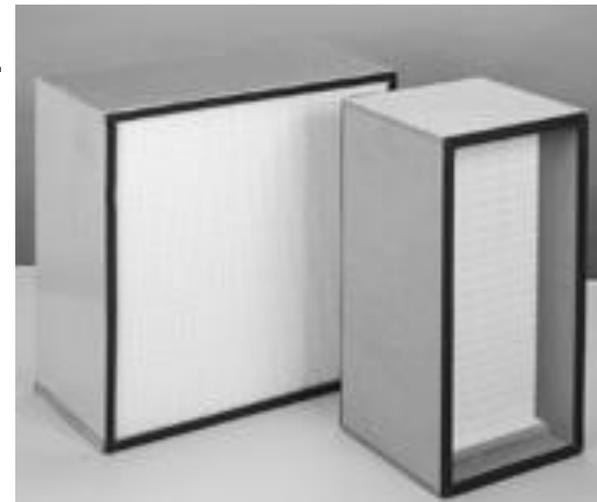


- L'ampia pieghettatura fa sì che, per una velocità all'ingresso che può essere di 2 o 3 m/s, quella di **attraversamento del media filtrante si riduca a 0.1 – 0.2 m/s.**
- La **perdita di carico iniziale varia tra 120 e 150 Pa, quella finale tra 350 e 450 Pa.**

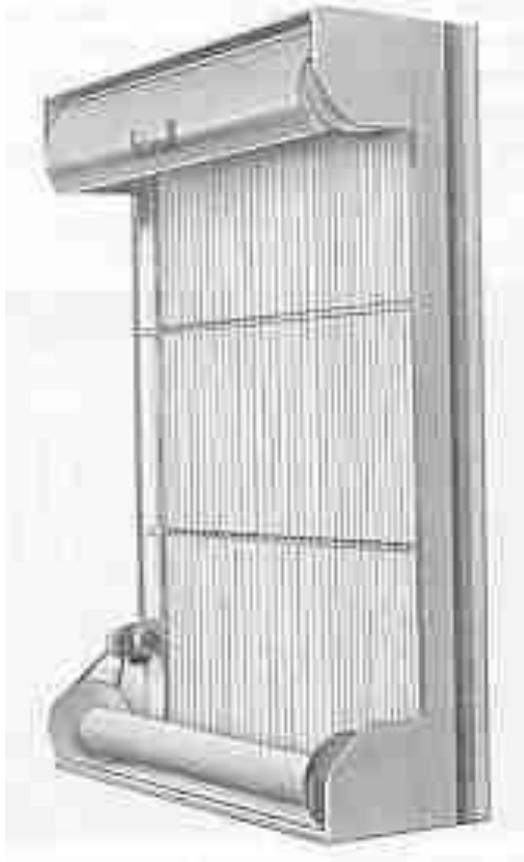
Filtri HEPA (High Efficiency Particulate Air).

- Simili a quelli a pieghe, il mezzo filtrante costituito da **fibre di solo 0,1 μm** .
- Le perdite di carico di tali filtri sono, **inizialmente, di almeno 200 o 250 Pa., vengono sostituiti quando le perdite di carico raddoppiano.**
- le velocità può arrivare a 0.025 m/sec.
- Tali filtri trovano impiego in ambienti nei quali debba essere garantita un'elevata **asetticità (sale operatorie, camere bianche);**
- **in particolari lavorazioni o processi si** ricorre ai filtri **ULPA (Ultra Low Penetration Air)**, che presentano valori di efficienza ancora più elevati.

Esempio di filtro assoluto (Tiemmeffc).



Filtri viscosi

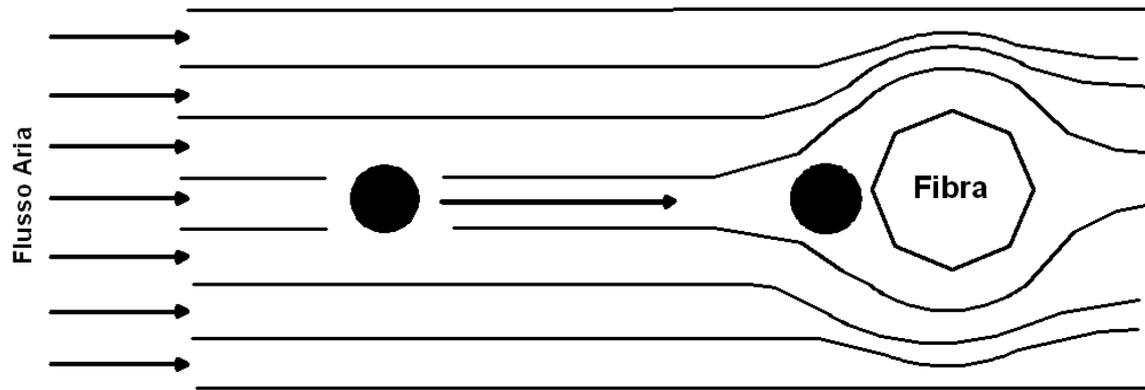


- Le fibre sono coperte da sostanze viscosi, le particelle che urtano sulle fibre **sono trattenute dall'adesivo oleoso**.
- Le velocità di attraversamento vanno da 1.2 a 3.0 m/s e il valore di efficienza, in funzione della velocità, è ottimale nel campo compreso tra 1.5 e 2.5 m/s, mentre decresce per valori minori o maggiori della velocità.
- **L'efficienza è mediamente attorno al 75%** e pertanto sono spesso utilizzati come **prefiltri** a quelli di maggiore efficienza.
- La **perdita di carico, alle velocità ottimali, è attorno a 30-40 Pa a filtro nuovo**.

I filtri viscosi possono essere di due tipi:

- **a perdere** (come quelli a rullo continuo)
- **rigenerabili** (lavaggio con acqua o vapore, poi spruzzo o immersione su sostanze oleose),

2. Meccanismo di inerzia o collisione



Le particelle contenute in un flusso d'aria soggetto ad una brusca variazione di direzione seguono una traiettoria generalmente diversa dalle molecole che compongono il gas, **per la loro inerzia, e urtano con le fibre dove aderiscono per effetto di oli o altri agenti.**

- **L'efficienza di questa tipologia di filtri aumenta con la velocità dell'aria;**
- attualmente esistono separatori in grado di far depositare particelle di dimensione minima dell'ordine di $1 \mu\text{m}$.



Esempio di separatore inerziale (Sarel).

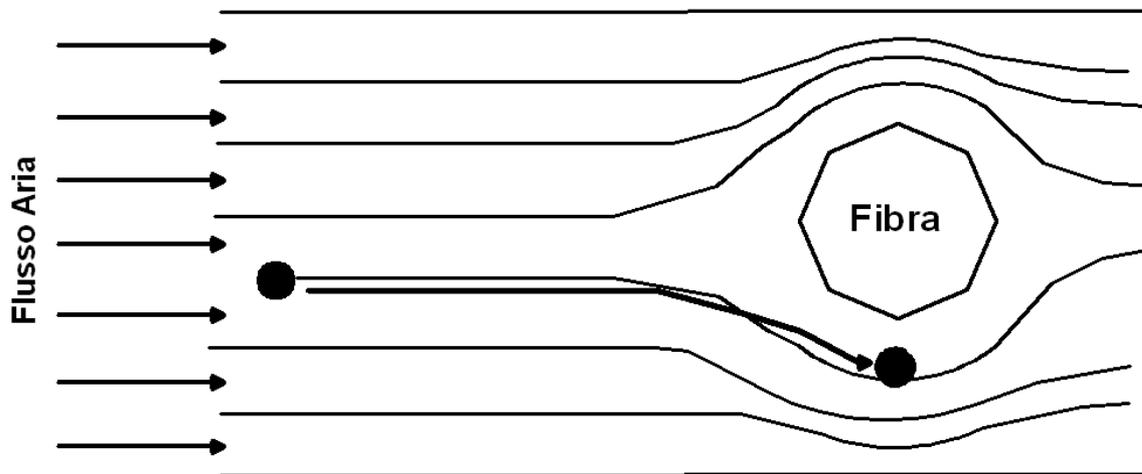
3. Meccanismo di intercettazione

Il flusso d'aria in prossimità delle fibre del filtro tende a seguirne il contorno, trascinando le particelle più fini e leggere.

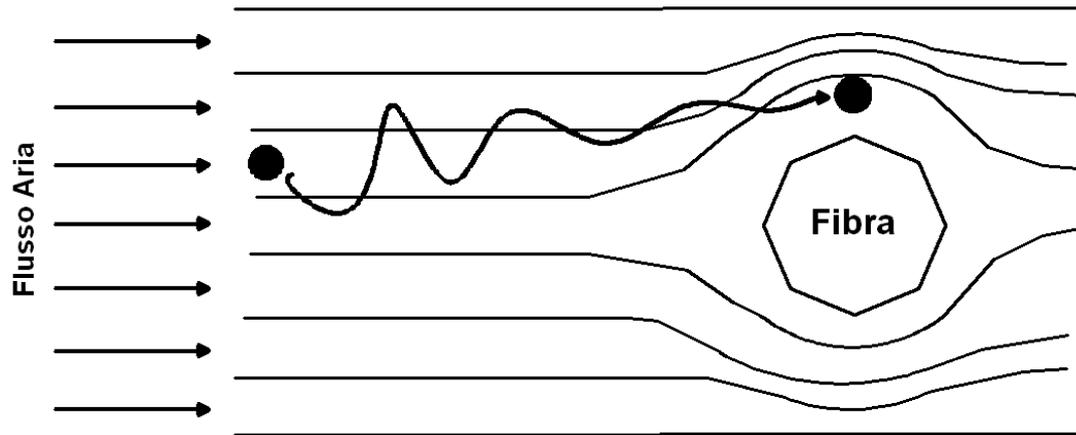
Se la traiettoria delle particelle passa a una distanza dalla fibra inferiore al raggio delle particelle stesse, esse si fissano per forze elementari di attrazione elettrostatica.

L'efficienza di questo meccanismo aumenta con il diametro e la distanza tra le fibre del filtro.

La velocità dell'aria, entro certi limiti, non ha influenza.



4. Meccanismo di diffusione

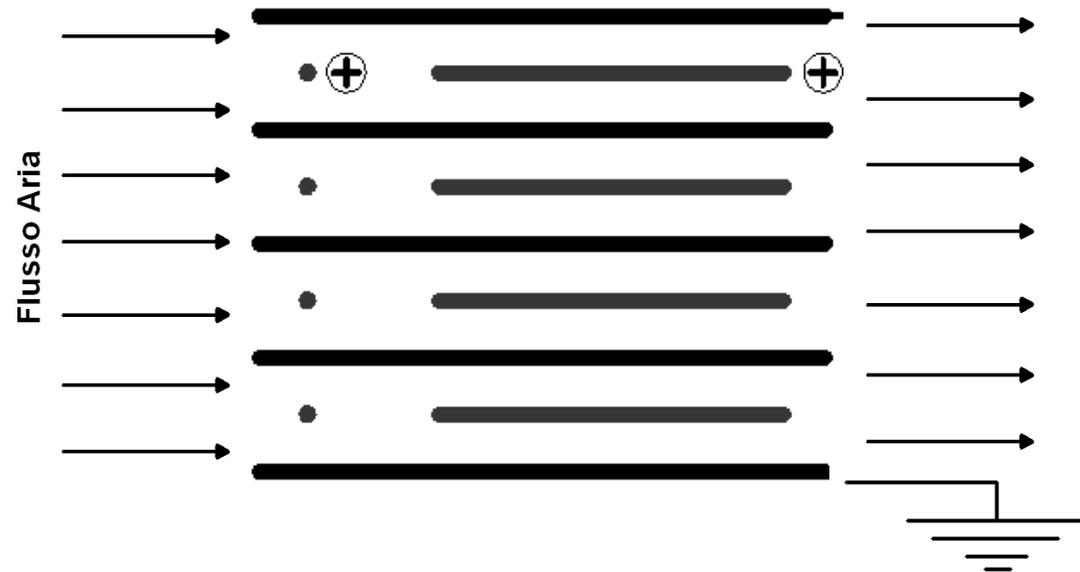


- Le particelle **più piccole**, in un **flusso d'aria**, sono **sogette a moti oscillatori di tipo browniano**; nel corso di tali moti, lungo la generale direzione del flusso d'aria, esse giungono a contatto con le fibre del filtro.
- La **probabilità che le particelle incontrino la fibra del filtro aumenta con il diminuire del diametro**, sia delle particelle che delle fibre, e con il **ridursi della velocità dell'aria**.
- Anche in questo meccanismo le particelle aderiscono alle fibre per effetto di forze elettriche elementari;

5. Azione elettrostatica

- Il flusso d'aria è fatto passare attraverso un intenso **campo elettrico, che ionizza le molecole d'aria.**
- Gli ioni colpiscono le particelle sospese, trasferendo loro la propria carica elettrica positiva;
- successivamente il flusso d'aria attraversa un campo elettrico più debole, dove le **particelle, cariche positivamente, si depositano su apposite piastre caricate negativamente.**

Le particelle devono essere periodicamente rimosse attraverso l'azione detergente di un liquido oppure un'azione meccanica di percussione o vibrazione.



6. Meccanismo di adsorbimento



- Utilizzati per l'eliminazione di **gas e polveri**.
- Sulla base della natura delle forze che impegnano il materiale adsorbente e l'inquinante, cioè la sostanza adsorbita, si possono distinguere l'adsorbimento **chimico e quello fisico**:

- L'adsorbimento chimico consiste nella reazione degli inquinanti con opportuni agenti chimici (**permanganato di potassio, carbonato di sodio**) che li **trasformano o fissano definitivamente**.
- Nell'adsorbimento fisico, **la molecola contaminante contenuta nei vapori è trattenuta sulla superficie esterna del materiale adsorbente da deboli forze elettrostatiche**.
- In quelli chimici occorre reintegrare la sostanza adsorbente (forti legami) mentre quelli ad adsorbimento fisico possono essere rigenerati (esempi: zeoliti o carboni attivi)
- L'efficienza è inversamente proporzionale alla temperatura e alla velocità di attraversamento.

EFFICIENZA DEI FILTRI

- ✓ L'**efficienza** è la capacità di un filtro di arrestare, e quindi di separare, le particelle contenute nel flusso di aria che lo attraversa.
- ✓ Il grado di efficienza media nel corso della durata di un filtro è, per molte applicazioni, la caratteristica più significativa
- ✓ L'efficienza può essere determinata in base a tre differenti metodologie di prova adottate dalle norme ASHRAE (*Test Standard for Air Cleaning Devices*)
 - 1) metodo gravimetrico (o ponderale);
 - 2) metodo opacimetrico (o colorimetrico);
 - 3) metodo DOP (dioptilftalato).

EN 779		
Prefiltri		Arrestanza media A_m (%)
Perdita di carico finale (massimo 250 Pa)	G1	50 – 65
	G2	65 – 80
	G3	80 – 90
	G4	> 90
Filtri medi		Efficienza media E_m (%) (per particelle di 0.4 μ)
Perdita di carico finale (massimo 450 Pa)	F5	40 – 60
	F6	60 – 80
	F7	80 – 90
	F8	90 – 95
	F9	> 95
EN 1822		
Filtri assoluti		Efficienza globale MPPS (%)
Hepa	H10	85
	H11	95
	H12	99.5
	H13	99.95
	H14	99.995
Ulpa	U15	99.9995
	U16	99.99995
	U17	99.999995

Criteri di scelta

- Purezza dell'aria da ottenere: efficienza di filtrazione;
- Concentrazione in ingresso dell'aria da trattare;
- Dimensione delle particelle;
- Manutenzione e durata;

Area	Zona	Concentrazione (mg/m ³)	Dimensione media (µm)	Dimensione massima (µm)
Campagna	Tempo umido	0.05	0.8	4
	Tempo secco	0.15	2	25
Città	Residenziale	0.4	7	60
	Periferia	0.75	20	100
Industriale	Industriale	3	60	1000

Durata e manutenzione

- I costi di manutenzione e sostituzione dipendono dalla **VITA OPERATIVA**.
- **La vita operativa di un filtro rappresenta il tempo necessario affinché sia raggiunta la perdita di carico finale indicata dai produttori;**
- La vita operativa è funzione delle caratteristiche tecniche del filtro e dell'ambiente in cui lavora (es. polveroso, poco polveroso, pulito, sterile);

h = vita operativa del filtro (h);

CR = capacità di ritenzione delle polveri (g/m^2);

$$h = CR / [(G / Su) * TPA * E]$$

G = portata in volume di aria trattata (m^3/h);

Su = superficie utile del filtro (m^2);

TPA = tasso di polverosità dell'aria, funzione della località considerata (g/m^3);

E = efficienza di filtrazione.

Campi di applicazione di diversi filtri

Tipologia di filtro	Applicazioni
FILTRI ASSOLUTI	Camere bianche, locali sterili per ospedali e laboratori farmaceutici, industrie elettroniche e fotografiche, industria nucleare – arresto della contaminazione
FILTRI AD ALTISSIMA EFFICIENZA	Locali per elaboratori, condizionamento dell'aria – cabine di verniciatura, industria chimica e meccanica di precisione, filtri per motori esotermici
FILTRI A MEDIA EFFICIENZA	Ventilazione locali pubblici ed officine, prefiltri per filtri assoluti, filtri per compressori

Tipologie di filtri in funzione della perdita di carico massima

Tipologia di filtro	Manutenzione/Sostituzione
Filtro a grana grossa (diametro particelle captate 1 – 3 μm)	Incremento della perdita di carico di 100 Pa rispetto al filtro nuovo (50 Pa) PERDITA DI CARICO FINALE 150 Pa
Filtro a grana fine (diametro particelle captate < 1 μm)	Incremento della perdita di carico di 150 - 100 Pa rispetto al filtro nuovo (50 - 100 Pa) PERDITA DI CARICO FINALE 200 Pa
Filtro assoluto	Incremento della perdita di carico di 250 Pa rispetto al filtro nuovo (250 Pa) PERDITA DI CARICO FINALE 500 Pa