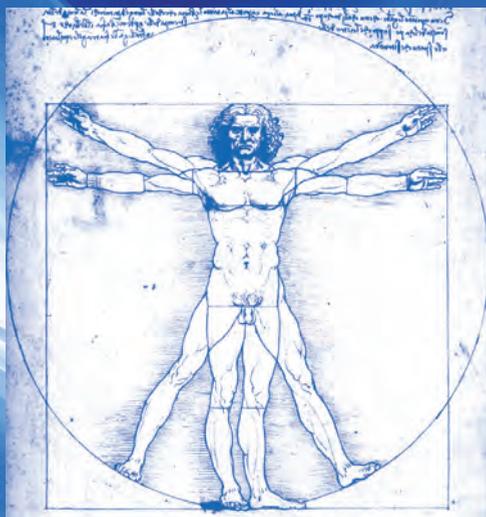


# PUBBLICAZIONI TECNICHE VORTICE

Luca Mersi - Roberto Perego

## IL RECUPERO ENERGETICO NEI SISTEMI DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA



[vortice.com](http://vortice.com)

# **PUBBLICAZIONI TECNICHE VORTICE**

**Luca Mersi - Roberto Perego**

**IL RECUPERO ENERGETICO  
NEI SISTEMI DI VENTILAZIONE  
MECCANICA CONTROLLATA**



## **Il recupero energetico nei sistemi di ventilazione meccanica controllata**

Copyright® 2018 Vortice Elettrosociali S.p.A.

Proprietà letteraria e tutti i diritti riservati alla Vortice Elettrosociali S.p.A..

La struttura ed il contenuto del presente volume non possono essere riprodotti, neppure parzialmente, salvo espressa autorizzazione.

Non ne è altresì consentita la memorizzazione su qualsiasi supporto (magnetico-ottico, ottico, fotocopie, ecc.).

### **AVVERTENZA**

I dati tecnici, i diagrammi e le formule riportate in questo quaderno, non possono essere utilizzati per il dimensionamento e la taratura di impianti o progetti.

Infatti, essi, pur essendo accurati e frutto di precisi esperimenti, sono riferibili a condizioni di laboratorio quali si riscontrano solo presso Vortice Elettrosociali S.p.A. e presso gli enti cui essa si è rivolta.

I tecnici aerulici che facciano uso di questi dati, dovranno calcolare impianti e progetti secondo la loro specificità, anche normativa, e le condizioni ambientali del caso, nonché in relazione agli obiettivi che essi vogliono raggiungere.

Vortice Elettrosociali S.p.A. declina ogni responsabilità nel caso non venga seguita questa avvertenza.

**Vortice Elettrosociali S.p.A.**

## INDICE

	<b>INTRODUZIONE</b>	4
<b>1.1</b>	<b>IL BENESSERE TERMOIGROMETRICO</b>	5
	INDICE PMV	6
	L'INFLUENZA DELLE VARIABILI SUL COMFORT	8
<b>1.2</b>	<b>LA QUALITÀ DELL'ARIA</b>	11
	I VANTAGGI DALLA VENTILAZIONE	17
<b>1.3</b>	<b>IL QUADRO LEGISLATIVO</b>	18
<b>1.4</b>	<b>PROGETTI DI NORMATIVA EUROPEA</b>	24
	CLASSIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	27
	LA CASA PASSIVA	29
	EFFICIENZA DELLA VENTILAZIONE	32
<b>2.1</b>	<b>VENTILAZIONE: TIPOLOGIE</b>	34
	VENTILAZIONE NATURALE	34
	VENTILAZIONE MECCANICA	35
<b>2.2</b>	<b>MACCHINE PER LA VENTILAZIONE</b>	39
	VENTILATORI ASSIALI	39
	VENTILATORI ELICOIDALI	40
	VENTILATORI CENTRIFUGHI	40
	VENTILATORI A FLUSSO MISTO	42
	VENTILATORI TANGENZIALI	43
	APPLICAZIONI	43
	SCELTA DI UN VENTILATORE	47
	CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO	48
<b>2.3</b>	<b>IL SILENZIATORE E IL RUMORE</b>	51
	IL RUMORE	51
<b>2.4</b>	<b>FILTRI E FILTRAZIONE</b>	55
<b>3</b>	<b>RECUPERATORI DI CALORE ARIA - ARIA</b>	58
	RECUPERATORI DI CALORE	59
	TIPOLOGIE DI SCAMBIATORI	67
	TIPOLOGIE DI IMPIANTO	72
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E CASE HISTORY</b>	77
	DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA	77
	TARATURA E BILANCIAMENTO DI UN IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA	78
	CASE HISTORY/1: I RECUPERATORI DI CALORE E L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO	78
	CASE HISTORY/2: ESEMPI DI REALIZZAZIONI	83
<b>5</b>	<b>L'ARIA È VITA</b>	87

## INTRODUZIONE

La salute è uno stato di completo benessere fisico, mentale e sociale, e non semplicemente l'assenza di malattia o infermità.  
(Organizzazione Mondiale della Sanità, 1948)

Con la nuova edizione di questo volume ritorniamo a divulgare lo stato dell'arte relativo alla Ventilazione Meccanica Controllata negli ambienti circoscritti.

Nuove tendenze e nuove logiche di progettazione, costruzione e valutazione degli edifici impongono che anche i sistemi tecnologici si evolvano parimenti: per questo motivo, in questa pubblicazione troverete un'ampia panoramica di prodotti e sistemi di distribuzione dell'aria, tale da permettere la risoluzione di qualsivoglia problematica applicativa.

Il tutto asservito alla garanzia delle condizioni di benessere irrinunciabili per chi vive nelle moderne abitazioni, o per chi lavora in moderni uffici, o esercizi pubblici, super-isolati dall'ambiente esterno per le ovvie logiche di risparmio energetico ma vulnerabili all'accumulo di umidità e di sostanze inquinanti derivanti dall'attività umana o dalle suppellettili.

Aggiornamenti normativi e legislativi completano poi il quadro d'insieme: ciò che risulta è un vademecum, un manuale teorico che fungerà da punto di riferimento per i professionisti, i quali quotidianamente si trovano a dover affrontare i problemi derivanti dalla coesistenza di impianti tecnologici sempre più complessi.

La sempre maggior consapevolezza, da parte degli utenti finali, dei benefici derivanti dalla corretta ventilazione negli

ambienti, impone scelte formative e dinamiche evolute nell'approccio a queste tematiche, la cui corretta applicazione permette di ottenere condizioni di elevato benessere ed al contempo un sensibile risparmio energetico.

Nell'epoca della progettazione integrata, sempre più necessaria per l'alto grado di sofisticazione dei sistemi tecnologici che governano i nostri spazi, questo libro deve costituire una piattaforma a cui deve convergere l'intero sistema casa, poiché... l'aria è vita!

Buona lettura.

**Vortice Elettrosociali S.p.A.**

## IL BENESSERE TERMOIGROMETRICO

L'uomo passa buona parte della sua vita in ambienti chiusi o confinati, siano essi residenziali o lavorativi: in tali ambiti, le condizioni di temperatura/umidità e la concentrazione di inquinanti nell'aria possono essere sensibilmente diverse rispetto a quelle dell'aria esterna, per la presenza sia di esseri viventi sia di apparecchiature in funzione all'interno dei locali.

Gli impianti termotecnici hanno quindi lo scopo di ricreare quella che viene chiamata **condizione di benessere**.

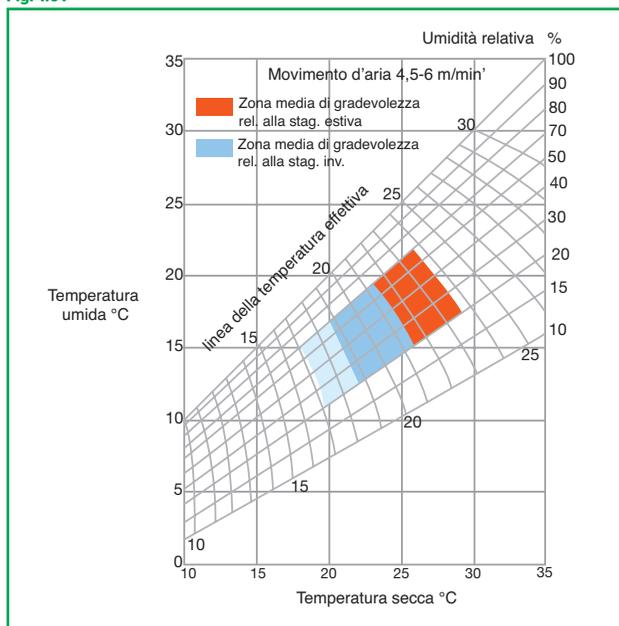
Tale condizione è prettamente soggettiva e dipende dall'attività svolta, dal metabolismo di ciascun individuo, dalle fonti di calore presenti all'interno ecc.

In generale, si definisce condizione di benessere termoisgrometrico lo stato psicofisico in cui un individuo si ritiene soddisfatto nei riguardi del microclima,

non avendo sensazione né di caldo né di freddo, trovandosi quindi in condizione di **neutralità termica**. La definizione risulta facilmente comprensibile, ma il difficile è quantificare oggettivamente il comfort termico e quindi anche lo scostamento da tale condizione di benessere in termini fisiologici o in termini di parametri microclimatici.

Una condizione necessaria (ma non sufficiente) affinché ci sia comfort è che il sistema termodinamico del corpo umano sia in equilibrio, cioè che l'energia interna del corpo non aumenti né diminuisca. Questo però non è sufficiente a realizzare la condizione di comfort: infatti potrebbe essere verificata la condizione di equilibrio termodinamico, ma l'individuo potrebbe avere comunque la sensazione di caldo o di freddo.

Fig. 1.01



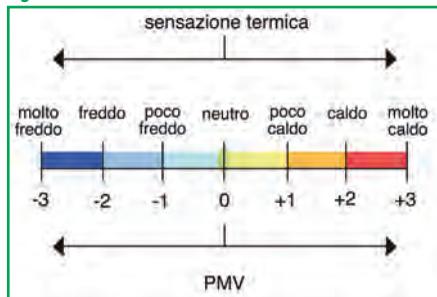
## INDICE PMV

Al fine di interpretare in maniera più semplice la situazione sono stati introdotti diversi strumenti che analizzano la sensazione di benessere o di stress al variare dei parametri che influenzano il microclima (ovvero quell'insieme di parametri ambientali come temperatura, umidità e velocità dell'aria di un dato punto individuato).

P. O. Fanger ha proposto l'indice di comfort globale **PMV** ("Predicted Mean Vote" cioè "voto medio previsto"), un indice adimensionale di sensazione di benessere o stress. **ASHRAE** ne ha recepito la scala psicofisica a 7 punti che fissa la corrispondenza tra un valore (voto) e la sensazione provata dall'individuo (fig. 1.02):

VOTO	SENSAZIONE
+3	MOLTO CALDO
+2	CALDO
+1	LEGGERMENTE CALDO
0	NEUTRA
-1	LEGGERMENTE FREDDO
-2	FREDDO
-3	MOLTO FREDDO

Fig. 1.02



Un valore 0 corrisponde alla condizione di comfort. Valori di +3, +2, +1, -1, -2, -3 indicano una sensazione più o meno marcata di insoddisfazione.

La sensazione di caldo o freddo di un individuo è proporzionale al carico termico  $L$  espresso in Watt:

$$L = (M - W) - E_{res} - C_{res} - E - C - R - K$$

dove:

**M** = potenza sviluppata per attività metabolica (W)

**W** = potenza meccanica dissipata per attività lavorativa (W)

**E<sub>res</sub>** = potenza termica per evaporazione nella respirazione (W)

**C<sub>res</sub>** = potenza termica scambiata per convezione nella respirazione (W)

**E** = potenza termica per evaporazione nella traspirazione (W)

**C** = potenza termica scambiata per convezione (W)

**R** = potenza termica scambiata per irraggiamento (W)

**K** = potenza termica scambiata per conduzione (W) (fig. 1.03)

Fig. 1.03



I parametri che intervengono nel determinare le condizioni di benessere sono:

**PARAMETRI AMBIENTALI**

- temperatura dell'aria ambiente, che influenza gli scambi termici convettivi
- temperatura media radiante, che influenza gli scambi termici radiativi
- velocità relativa dell'aria, che influenza gli scambi termici convettivi
- umidità relativa dell'aria, che influenza lo scambio evaporativo del corpo

**PARAMETRI INDIVIDUALI**

- dispendio metabolico M, correlato all'attività svolta
- potenza meccanica W utilizzata per attività lavorative (usualmente trascurata)
- resistenza termica conduttiva ed evaporativa del vestiario (**CLO**)

Da un esperimento condotto da Fanger su 1300 individui cui è stato richiesto un giudizio sul microclima dell'ambiente in cui si trovavano, è stata ricavata una equazione che lega l'indice PMV al valore del carico termico

$$PMV = [0,303 \exp(- 0,036 M) + 0,028]*L$$

L'indice di comfort globale rappresenta quindi il voto di un individuo medio, cioè la media dei voti espressi da un gruppo numeroso di soggetti posti nelle stesse condizioni microclimatiche.

Trattandosi di un indice statistico, è logico attendersi che i voti dei singoli individui possano discostarsi dal valore medio.

Fanger definisce quindi il parametro

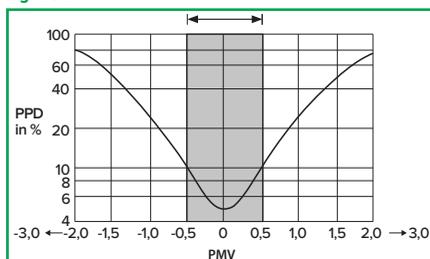
**PPD** ("Predicted Percentage of

*Dissatisfied*", cioè "percentuale prevista di insoddisfatti"), che può essere legato al valore di PMV attraverso la relazione (ricavata dal medesimo esperimento):

$$PPD = 100 - 0,95 \exp[-(0,03353*PMV^4 + 0,2179*PMV^2)]$$

La percentuale di insoddisfatti PPD è pari al 5% per PMV = 0 e diventa il 10% per valori di PMV uguali a -0,50 e +0,50, crescendo poi rapidamente all'allontanarsi del PMV da tali valori di comfort (fig. 1.04).

Fig. 1.04



PMV	PPD (%)	VALUTAZIONE AMBIENTE TERMICO
+3	100	MOLTO CALDO
+2	75,7	CALDO
+1	26,4	LEGGERMENTE CALDO
+0,85	20	AMBIENTE TERMICAMENTE ACCETTABILE
-0,5 < PMV < +0,5	< 10	BENESSERE TERMICO
-0,85	20	AMBIENTE TERMICAMENTE ACCETTABILE
-1	26,8	FRESCO
-2	76,4	FREDDO
-3	100	MOLTO FREDDO

## L'INFLUENZA DELLE VARIABILI SUL COMFORT

Si è visto come alla determinazione del comfort per un individuo in un ambiente confinato concorrano sei parametri (trascurando la potenza meccanica utilizzata per l'attività lavorativa), quattro dei quali ambientali e due individuali.

### PARAMETRI INDIVIDUALI

- dispendio metabolico
- esistenza termica conduttiva ed evaporativa del vestiario.

Due sono quindi le variabili individuali che influenzano il bilancio termico: il dispendio energetico metabolico viene solitamente espresso come potenza media oraria per superficie corporea erogata da un soggetto durante una attività lavorativa. Definendo l'unità tecnica **MET** secondo la quale

**1 MET = 58,15 W/m<sup>2</sup>**

ed essendo

**1 Kcal/h = 1,163 W,**

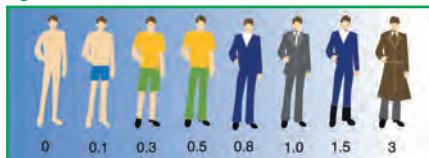
la norma ISO 7730 indica i seguenti valori caratteristici (considerando una superficie media di una persona pari a 1,8 m<sup>2</sup>):

ATTIVITÀ	MET	W/m <sup>2</sup>	Kcal/h
SDRAIATO, A RIPOSO	0,8	47	73
SEDUTO, A RIPOSO	1	58	90
ATTIVITÀ SEDENTARIA	1,2	70	108
IN PIEDI, A RIPOSO	1,2	70	108
ATTIVITÀ LEGGERA, IN PIEDI	1,6	93	145
ATTIVITÀ MEDIA, IN PIEDI	2	117	182
ATTIVITÀ PESANTE	3	175	271

Maggiore è il valore dell'indice **MET**, più è accentuata la sensazione di "caldo" e meno è sentita la sensazione di "freddo".

La resistenza termica del vestiario è misurata con l'unità tecnica CLO: 1 CLO è definito come il gradiente termico di 0,18 °C su un'area di 1 m<sup>2</sup> attraversata da un flusso termico di 1 Kcal/h (1 CLO = 0,155 m<sup>2</sup> K/W) (fig. 1.05):

Fig. 1.05



NUDITÀ	0 CLO
CALZONCINI	0,1 CLO
VESTITI LEGGERI ESTIVI	0,5 CLO
INSIEME DI CAPI LEGGERI	0,7 CLO
COMPLETO INVERNALE	1-1,5 CLO

Maggiore è il valore dell'indice CLO, più è accentuata la sensazione di "caldo" e meno è sentita la sensazione di "freddo".

## PARAMETRI AMBIENTALI

- Temperatura dell'aria ambiente,
- Temperatura media radiante
- Velocità relativa dell'aria
- Umidità relativa dell'aria.

Di queste, le grandezze che maggiormente influenzano la sensazione termica sono la temperatura dell'aria e la temperatura media radiante. Solitamente, per ambienti "termicamente moderati" la temperatura dell'aria è molto simile (se non addirittura uguale) alla temperatura media radiante. In tal caso si definisce come temperatura operativa la media della temperatura dell'aria e della temperatura radiante.

Le condizioni limite "classiche" per la temperatura operativa valide per l'inverno e per l'estate con una attività metabolica di 1,2 **MET** sono:

- estate tra 23 e 26 °C (0,5 CLO)
- inverno tra 20 e 24 °C (1,0 CLO)

La velocità dell'aria ambiente ha influenza sullo scambio termico per convezione tra l'individuo e l'ambiente. Al crescere della velocità dell'aria (mantenendo inalterati gli altri parametri) si ha una sensazione di disagio crescente. Per ripristinare le condizioni di benessere occorre quindi varia-

re il valore della temperatura operativa. Valori accettabili di velocità dell'aria sono inferiori a 1 m/s, anche se è buona norma non superare gli 0,15 m/s in inverno e 0,25 m/s in estate nella zona occupata.

L'umidità relativa ha un peso minore sulla sensazione termica descritta dall'indice PMV; tuttavia esistono valori di umidità relativa consigliati, in genere compresi tra il 30% ed il 70%, non tanto inerenti alla sensazione termica avvertita quanto a motivazioni diverse: per valori inferiori al 30% si verifica secchezza delle mucose e quindi la diminuzione delle difese da germi e batteri, mentre per valori superiori al 70% si hanno effetti sia sull'individuo (allergie) che sulle pareti dell'edificio (possibile formazione di condensa superficiale e conseguente formazione di muffe in corrispondenza dei ponti termici o comunque nei punti più freddi dell'involucro edilizio). La **ISO** (International Organization for Standardization) raccomanda l'uso dell'indice PMV in presenza dei seguenti ambiti di variazione dei parametri condizionanti il bilancio termico:

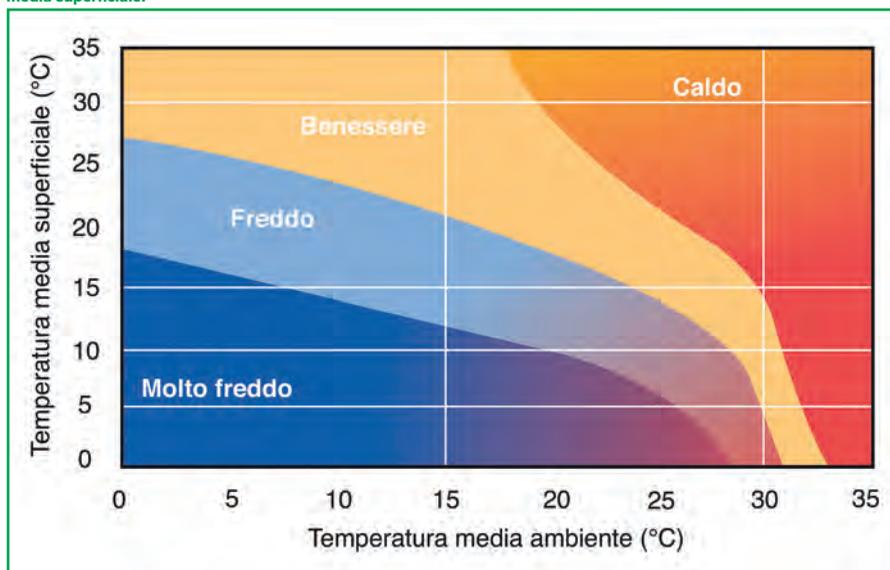
- dispendio energetico = 1-4 MET
- resistenza termica da abbigliamento = 0-2 CLO
- temperatura di bulbo secco = 10-30 °C
- temperatura media radiante = 10-40 °C
- velocità dell'aria = 0-1 m/s
- pressione di vapore = 0-2,7 kPa

VELOCITÀ DELL'ARIA (M/S)	ABBASAMENTO TEMPERATURA	SENSAZIONE
<0,25	<1,0	NESSUNA
0,26 – 0,50	1,1 – 1,6	Piacevole
0,51 – 0,75	1,7 – 2,2	Piacevole con consapevolezza del movimento
0,76 – 1,00	2,3 – 2,8	Da piacevole a leggermente disagiata
1,01 – 1,50	2,9 – 3,9	Da leggermente a notevolmente disagiata
>1,50	>3,9	Necessità di interventi correttivi

## CONDIZIONI DI ACCETTABILITÀ DI UN AMBIENTE

Relativamente al comfort globale, la normativa **ISO 7730** considera confortevole dal punto di vista termoisometrico un ambiente in cui il valore di PMV è compreso tra  $-0,5$  e  $+0,5$  (e quindi la percentuale di insoddisfatti PPD è pari o inferiore al 10%). Tale scelta tiene conto anche di considerazioni economiche: si accetta una percentuale di insoddisfatti del 10% a fronte di un minimo del 5% (corrispondente a  $PMV=0$ ), consentendo la realizzazione di impianti di climatizzazione che ricreino in ambiente valori controllabili per le variabili ambientali con minimi scarti rispetto al valore ottimale (solo il 5% in più di insoddisfatti), ma con grandi risparmi in termini di consumo di energia primaria rispetto al caso di  $PMV=0$ .

**Fig. 1.06** Variazione della sensazione termica avvertita al variare della temperatura media ambiente e della temperatura media superficiale.



## LA QUALITÀ DELL'ARIA

Il benessere termoigrometrico analizzato precedentemente non considera un altro importante fattore per gli ambienti interni: la qualità dell'aria (**IAQ: Indoor Air Quality**), che è legata alla presenza nell'aria degli ambienti confinati di inquinanti chimici, fisici o biologici non presenti, o poco presenti naturalmente, nell'aria esterna (definizione del Ministero

Fig 1.07



dell'Ambiente, 1991).

Alcuni inquinanti possono raggiungere negli ambienti confinati livelli 5 volte superiori rispetto alle concentrazioni degli stessi presenti nell'aria esterna.

Il problema è di grande attualità: nella nostra società le persone trascorrono fino al 90% del proprio tempo in luoghi chiusi, di cui il 30-40% nei luoghi di lavoro.

In tale situazione, l'inquinamento dell'aria proviene anche dalle particelle presenti nell'aria esterna che penetra all'interno, ma soprattutto da fonti interne, quali la presenza di persone e animali, comportamenti ed attività quali il fumo, il cucinare (fumi, odori, vapore) o il pulire (detersivi), la presenza di mobili, muri, tessuti e tappeti che possono rilasciare sostanze gassose anche nocive, quali la formaldeide, toluene, benzaldeidi, butanale, l'acetone, l'acetoneitrile.

Le condizioni insalubri degli ambienti possono anche facilitare lo sviluppo di colonie

di parassiti quali l'acaro della polvere.

Negli ultimi 40 anni sono state riportate numerose patologie correlate all'esposizione indoor, come la **SBS "Sick Building Syndrome"** o sindrome da edificio malato, la **BRI "Building Related Illness"** o sindrome provocata dagli edifici (causata dalla presenza di sostanze nocive come l'amianto o dovuta a polmoniti batteriche associate alla non corretta manutenzione degli impianti di climatizzatori, che colpiscono specialmente i soggetti asma allergici), la **MCS "Multiple Chemical Sensitivity"** o intolleranza a molteplici sostanze chimiche; le conseguenze vanno ad impattare sia sulla salute delle persone, ma ci sono anche risvolti economici e sociali da tenere in considerazione, quali il calo di produttività e l'incremento dell'assenteismo.

L'aria è, nel suo stato normale, costituita da un miscuglio gassoso contenente i seguenti gas:

- azoto (78%)
- ossigeno (20,96%)
- argon e altri gas (1,01%)
- anidride carbonica (0,03%)

Inoltre è presente vapore acqueo in quantità variabile.

La percentuale di anidride carbonica può variare a seconda della zona geografica considerata; inoltre nelle aree urbane, per effetto dell'inquinamento industriale e veicolare, sono presenti biossido di zolfo, biossido di azoto, monossido di carbonio, composti di piombo, particelle disperse di pulviscolo, ecc..

Come già accennato, in generale, gli inquinanti presenti nell'aria possono

suddividersi in tre grandi famiglie:

Inquinanti di tipo chimico (p. es. sostanze gassose, antiparassitari, composti organici volanti –COV-), di tipo fisico (polvere, derivati di combustione come i fumi e le polveri sottili, che spesso sono veicolo di agenti biologici), di tipo biologico (batteri, funghi/muffe, bioaerosol).

### **OSSIGENO (O<sub>2</sub>)**

L'ossigeno è l'elemento indispensabile alla vita: l'uomo può continuare a vivere anche respirando solo ossigeno. La carenza di ossigeno porta a sintomi che si manifestano con sensazione di apatia e stanchezza. Una riduzione di ossigeno del 25% può essere pericolosa per individui che soffrono di affezioni cardiache o respiratorie, ma se tale riduzione arriva al 50% anche soggetti in buone condizioni di salute ma non acclimatati possono correre seri rischi per la salute.

### **AZOTO e GAS INERTI (Ar, Ne, He, Kr, Xe)**

L'azoto, come pure l'argon e gli altri gas inerti quali neon, elio, krypton e xeno, non ha effetti fisiologici.

### **ANIDRIDE CARBONICA (CO<sub>2</sub>)**

Non provoca effetti significativi sull'organismo umano, ma riveste una particolare importanza al fine della valutazione delle condizioni di benessere ambientali.

Negli ambienti confinati infatti la purezza dell'aria è compromessa dagli occupanti e dalla loro attività, comprendendo in questo sia cause metaboliche che la presenza di macchinari di vario tipo.

Con la respirazione viene immessa in ambiente anidride carbonica e contemporaneamente si ha riduzione della quantità di ossigeno. Si può stimare

che il quantitativo medio di CO<sub>2</sub> prodotto da un individuo vari da 0,02 a 0,35 m<sup>3</sup>/h a seconda dell'attività svolta.

Il limite massimo di sopportabilità di anidride carbonica per l'organismo umano è stimato in una concentrazione del 5%, sebbene già con concentrazioni minori si possano avere disturbi di vario genere.

### **MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)**

Gli effetti provocati dalla presenza di monossido di carbonio nell'aria variano a seconda delle concentrazioni e si manifestano con effetti sempre più gravi all'aumentare di queste: riduzione dell'attenzione e della memoria, crisi cardiache fino alla morte per asfissia. Generalmente negli ambienti confinati non industriali le concentrazioni di CO sono legate all'inquinamento veicolare importato dall'aria esterna, dalla presenza di fumo di tabacco e dalla presenza di impianti di riscaldamento o apparecchiature di cucina non adeguatamente ventilati.

### **OZONO (O<sub>3</sub>)**

In concentrazioni superiori a 0,05 ppm provoca secchezza delle mucose, mal di testa e, per valori oltre 1,7 ppm perfino edema polmonare.

La fonte principale per l'inquinamento da ozono in ambienti non industriali è costituita da un utilizzo intenso di macchine fotocopiatrici e stampanti laser. Si tenga presente che il tempo di dimezzamento dell'ozono è piuttosto breve (circa 30 minuti).

### **RADON (Rn)**

Presente nella crosta terrestre, il Radon è un gas nobile inerte che se inalato non

viene assorbito ma espulso con l'espansione. Gli effetti dannosi sono prodotti dai suoi "discendenti" radioattivi che se inalati si depositano nell'epitelio bronchiale provocando malattie cancerogene che colpiscono l'apparato respiratorio. La concentrazione di Radon è molto bassa all'aria aperta, mentre può arrivare a livelli di pericolo in luoghi chiusi o sotterranei se non areati.

### COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (VOC)

Sono stati identificati e classificati numerosi composti organici in fase gassosa presenti nell'aria degli ambienti confinati:

- **VVOC** ("*Very volatile organic compounds*"), composti molto volatili
- **VOC** ("*Volatile organic compounds*"), composti organici volatili in senso stretto
- **SVOC** ("*Semivolatile organic compounds*"), composti organici semivolatili
- **POM** ("*Particulate organic matter*"), composti associati con il particolato.

La classe dei VOC riveste particolare importanza; è costituita da composti il cui punto di ebollizione è compreso tra un limite inferiore di 50-100 °C e superiore di 240-260 °C.

Idrocarburi alifatici, aromatici e clorurati, aldeidi, terpeni, alcoli, esteri e chetoni rientrano in questa classe.

I VOC possono causare effetti che vanno dal disagio sensoriale a gravi alterazioni dello stato di salute. Se presenti in concentrazioni elevate, alcuni VOC possono provocare effetti al sistema nervoso centrale (in genere tali effetti si riscontrano però con concentrazioni molto

superiori rispetto a quelle riscontrabili negli ambienti confinati). Alcuni VOC sono riconosciuti come cancerogeni (p.es. il benzene).

Fonti di inquinamento da VOC sono il fumo di sigaretta, i materiali di costruzione, gli arredi mobili, le moquettes e i rivestimenti, che possono determinare continue emissioni nell'arco di settimane o mesi. Anche la presenza di stampanti o fotocopiatrici (soprattutto in fase di riscaldamento) o l'utilizzo di materiali di pulizia, colle, adesivi e solventi possono aumentare la concentrazione di composti organici volatili nell'aria.

### PARTICOLATO AERODISPERSO

Nell'aria di una città inquinata, in zone a basso ricambio d'aria come la pianura padana, il particolato solido nei mesi invernali rappresenta un grave problema. Qualora la concentrazione di particolato solido superi i 50 µg/m<sup>3</sup> per un certo numero di giorni, si può giungere al blocco del traffico automobilistico

La situazione non è per nulla migliore in molti ambienti confinati: ad ogni atto respiratorio, particelle di particolato vengono trattenute negli alveoli polmonari e lungo le vie respiratorie per essere poi riespulse attraverso il muco. Tuttavia alcune particelle nocive possono restare intrappolate negli alveoli polmonari e causare complicazioni nel lungo termine. Inoltre il particolato aerodisperso può essere il veicolo meccanico per altri contaminanti chimici, fisici o biologici.

### CONTAMINANTI BIOLOGICI

Sono rappresentati da particelle organiche aerodisperse, costituite da microrganismi (sia vitali che non vitali), pollini,

spore, acari ecc...

Sorgenti di inquinamento microbiologico negli ambienti indoor sono rappresentate principalmente dall'uomo, dalla presenza di acqua stagnante, di manufatti tessili, di alimenti, di piante e di rifiuti.

Altre fonti possono essere rappresentate da umidificatori o condizionatori d'aria a seguito del proliferare di microorganismi in caso di pulizia inadeguata delle macchine (Legionella, Actinomyces...).

In alcuni soggetti particolarmente sensibili sono possibili manifestazioni allergiche causate da muffe, spore fungine, amebe, alghe, batteri, escrementi e derivati da acari, insetti e parassiti, pollini, endotossine ecc...

I **batteri** sono microrganismi unicellulari, procarioti, di dimensioni variabili da circa 0,2 µm fino a qualche decina di µm e sono responsabili di numerose patologie anche gravi, si trovano comunemente nell'aria, sui cibi, nell'acqua, su tutte le superfici.

Le **muffe** sono colonie di funghi pluricellulari, capaci di ricoprire le superfici sotto forma di miceli spugnosi e solitamente si riproducono per mezzo di spore; le spore di alcune muffe, causano potenti allergie e in alcuni casi (i.e. Stachybotrys) rilasciano potenti tossine che possono creare infiammazioni e lesioni polmonari. Gli ambienti caldi, umidi e con limitato ricambio d'aria sono ideali per la proliferazione dei microorganismi.

Quando gli agenti biologici vengono aerodispersi prendono il nome di **bioaerosol** ed in questa forma che consente una maggior facilità e velocità di diffusione, provocano un maggior rischio di contami-

nazione, tanto maggiore quanto più l'ambiente è affollato.

### VAPOR ACQUEO (H<sub>2</sub>O)

Inquinante apparentemente innocuo, è in realtà da non sottovalutare per una serie di fenomeni negativi ad esso associati: l'umidità presente nell'aria può essere assorbita dalle pareti, peggiorandone il comportamento termico; inoltre un eccesso di umidità in ambienti non ben ventilati può portare a formazione di muffe nei punti più freddi (ponti termici, pareti retrostanti armadi ecc...) e di condense sulle superfici interne più fredde (tipicamente superfici vetrate aventi basse performance di isolamento termico).

L'acqua (e l'umidità) costituiscono quindi una tra le prime cause di degrado delle abitazioni, non solo per quanto riguarda le facciate esterne, ma anche per il benessere ambientale indoor.

Le causa di ingresso di umidità nell'edificio si possono ricondurre alle seguenti:

- **Meteorologiche:** la soluzione del problema in questo caso consiste nell'impermeabilizzazione e nella sigillatura dell'involucro dell'edificio.
- **Rottura impianti:** una corretta manutenzione e verifiche degli impianti consentono di limitarne al massimo l'impatto.
- **Contatto col terreno:** anche in questo caso una buona impermeabilizzazione risolve il problema.
- **Risalita:** l'eliminazione dei ristagni è la soluzione.
- **Residui di costruzione:** non vi è soluzione: occorre solo attendere che col tempo l'umidità in eccesso venga smaltita.
- **Assorbimento igroscopico:** occorre

mantenere sotto controllo il tasso di umidità relativa e la temperatura dell'aria interna.

- **Condensazione:** tramite una corretta ventilazione si elimina il problema alla radice.

Al fine di contenere la spesa energetica, l'involucro dell'edificio deve essere tale da non consentire ingressi (od uscite) incontrollati di aria; ogni spiffero è infatti causa di spreco di energia: per questo motivo, l'eliminazione dell'umidità in eccesso contenuta nell'aria non è possibile mediante la sola traspirazione dei muri, che tra l'altro comprometterebbe il comportamento termico dell'involucro.

Il rimedio più efficiente per mantenere l'aria pulita è l'individuazione delle sorgenti di inquinamento e la loro totale rimozione, cosa che purtroppo non è sempre possibile o realizzabile.

Una buona ventilazione è pertanto spesso l'unico rimedio.

Il problema dell'eliminazione degli inquinanti può essere affrontato con diverse strategie: diluizione degli inquinanti e filtrazione.

In passato il problema è stato affrontato soprattutto mediante il ricambio d'aria con l'esterno (non solo apertura di finestre, ma anche introduzione di aria esterna negli impianti di condizionamento): oggi le nuove misure costruttive adottate al fine di favorire il risparmio energetico, costringono a

ridurre drasticamente il ricambio d'aria con l'esterno.

Con la filtrazione è possibile (riciccolando l'aria interna ed utilizzando filtri meccanici di opportuna efficienza) eliminare alcune tipologie di inquinanti, quali le polveri e gli inquinanti biologici; occorre però tenere presente che quanto più un filtro è efficiente, tanto maggiore risulta essere la perdita di carico ad esso associato; da non sottovalutare anche il fatto che gli eventuali inquinanti biologici trattenuti dal filtro rimangono vivi su di esso e pertanto occorre prestare molta attenzione anche in fase di manutenzione/sostituzione/smaltimento degli stessi.

Sono stati recentemente introdotti sistemi di filtrazione "attiva" in grado cioè di trattenere contaminanti solidi e biologici e di neutralizzare la carica batterica mediante l'impiego congiunto di sostanze antibatteriche naturali (quali il chitosano), che impregnano la media filtrante, unitamente ad un processo di fotocatalisi, che consente anche di ossidare gran parte delle specie chimiche inquinanti. In questo modo si raggiunge un significativo abbattimento della carica microbica aerodispersa, l'inattivazione (**microbial killing**) pressoché totale della carica microbiologica intrappolata sul mezzo filtrante, che risulta del 95% inferiore a quella presente sul filtro non trattato, ed un significativo abbattimento per fotocatalisi degli inquinanti ambientali, in particolare dei tenori di VOC e NOx. (vedi fig. 1.08.)

Fig. 1.08



## I PARAMETRI OLF E DECIPOL

I livelli di accettabilità dell'aria sono soggettivi e difficili da quantificare. Per cercare di quantificare il livello di qualità dell'aria negli ambienti chiusi, Fanger ha proposto il parametro OLF.

Analogamente a quanto visto nell'analisi del benessere ambientale, è possibile stabilire una percentuale di persone insoddisfatte dell'aria inspirata.

L'unità tecnica OLF rappresenta il carico inquinante, cioè la quantità di inquinanti aerodispersi percepibili da una persona adulta ed occupata in attività sedentaria.

1 OLF corrisponde alla quantità di bioeffluenti ( $\text{CO}_2$  e sostanze organiche volatili) prodotti da una persona in condizioni di comfort ambientale e con un corretto grado di igiene.

In corrispondenza di un carico inquinante pari ad 1 OLF, la qualità dell'aria percepita in un ambiente in presenza di un ricambio d'aria pari a  $36 \text{ m}^3/\text{h}$  è pari ad un Decipol (unità tecnica).

In corrispondenza di un valore di qualità dell'aria percepita pari ad 1 Decipol, la percentuale di insoddisfatti è pari al 15% (fig. 1.09 e 1.10).

Ovviamente tale percentuale di insoddisfatti aumenta all'aumentare dei Decipol

(a parità di portata d'aria di rinnovo).

Incrementando la portata dell'aria di rinnovo, a parità di Decipol la percentuale di insoddisfatti diminuisce.

Fig. 1.09

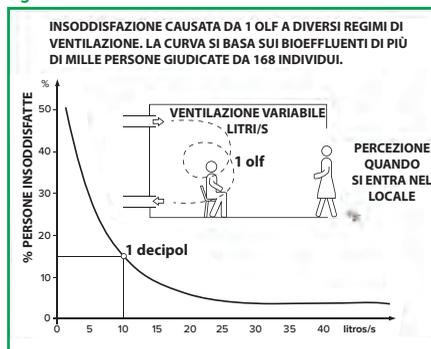
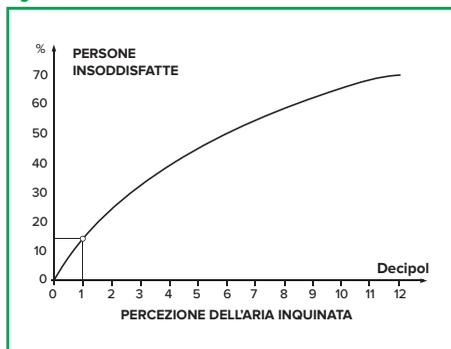


Fig. 1.10



## I VANTAGGI DALLA VENTILAZIONE

La ventilazione, naturale o meccanica, realizza il ricambio dell'aria negli ambienti confinati.

Tramite la ventilazione è possibile tenere sotto controllo parametri quali la temperatura dell'aria, l'umidità relativa dell'aria, la concentrazione di inquinanti. Il dimensionamento dell'impianto di ventilazione deve essere effettuato in modo da soddisfare le condizioni di benessere per gli occupanti dell'ambiente confinato. Emerge quindi che ventilazione e condizioni di benessere sono strettamente legate.

Le moderne tecnologie consentono la realizzazione di ambienti sempre meglio isolati termicamente (venendo incontro alle esigenze di un minor dispendio di energia per la conduzione degli impianti al servizio degli edifici), con soluzioni che rendono di fatto gli edifici dei contenitori

stagni. In tale maniera, senza un opportuno rinnovo dell'aria ambiente, gli ambienti confinati risulterebbero invivibili per la mancanza dei requisiti relativi alla qualità dell'aria indoor.

Con l'aumento dell'inquinamento atmosferico nelle città, la semplice operazione di spalancare le finestre risulta inaffidabile dal punto di vista del corretto ricambio dell'aria, in quanto non si ha il controllo né della quantità di aria ricambiata né tanto meno della concentrazione degli inquinanti presenti nell'ambiente.

Risulta quindi spesso utile ricorrere ad appositi impianti di ricambio dell'aria.

Fig. 1.11



## IL QUADRO LEGISLATIVO

### LEGISLAZIONE E NORMATIVE



Il fabbisogno di aria fresca di una persona è espresso in m<sup>3</sup>/h. In ambienti abitativi e negli uffici è consigliata una fornitura d'aria compresa tra 22 e 54 m<sup>3</sup>/h, quantità che può ridursi a 36 m<sup>3</sup>/h in caso di ventilazione meccanica e controllata. Maggiori forniture sono necessarie in ambienti più affollati (sale riunioni, mense, ristoranti) o in casi particolari (quali per es. i locali adibiti a fumatori, per i quali occorre sottostare a normative specifiche come, nel caso italiano, la Legge n.3 del 16 Gennaio 2003.).

Occorre precisare che la normativa tecnica non è "cogente"; fino a che non sia recepita all'interno di una legge o di un regolamento ha cioè valore di riferimento ma non obbligatorietà di applicazione.

#### **Il Decreto del Ministero della Sanità del 5 Luglio 1975** impone:

- che ciascun locale di abitazione deve avere una superficie finestrata apribile non inferiore ad un ottavo della superficie del pavimento con l'eccezione di servizi igienici, disimpegni, corridoi, vani scale, ripostigli (art.5)
- che è da assicurare, in ogni caso, l'aspirazione di fumi, vapori ed esalazioni nei punti di produzione (cucine, gabinetti ecc.) prima che si diffondano e che il posto di cottura sia adeguatamente munito di impianto di aspirazione forzata sui fornelli (art.6)
- che la stanza da bagno debba essere fornita di apertura all'esterno per il

ricambio dell'aria o dotata di impianto di aspirazione meccanica (art.7).

La **Legge n.10 (9 Gennaio 1991)** prescrive che *"gli edifici pubblici e privati, qualunque ne sia la destinazione d'uso, e gli impianti non di processo ad essi associati devono essere progettati e messi in opera in modo tale da contenere al massimo, in relazione al progresso della tecnica, i consumi di energia termica ed elettrica"* (art.26)

Secondo il regolamento di attuazione della Legge n. 10, al fine di limitare le dispersioni di calore invernali e favorire il raffrescamento estivo tramite la ventilazione naturale, i Comuni debbono tenere conto nella pianificazione urbanistica dell'ottimale esposizione ai venti degli edifici.

Inoltre si impone che vi sia un ricambio d'aria convenzionale minimo di 0,5 volumi/h; nel caso in cui tale valore non sia garantito dalla ventilazione naturale, occorre provvedere al ricambio dell'aria tramite un apposito impianto.

L'operazione di spalancare le finestre dell'abitazione almeno una volta al giorno (comportamento della *"buona massaia"*) non è prevista come modalità di ventilazione.

Secondo la **norma UNI 10339** *"Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta di offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura"*, un impianto di ventilazione, sia esso meccanico o naturale, deve garantire:

- l'immissione di una quantità minima di aria esterna a seconda della tipologia dell'ambiente

- la filtrazione minima convenzionale dell'aria esterna e dell'aria di ricircolo
- la movimentazione dell'aria nel volume convenzionale occupato (la zona occupata è definita come quella parte di ambiente delimitato dal pavimento, da una superficie orizzontale posta a 1,8 m dal

pavimento e da superfici verticali poste a 0,6 m dalle pareti e dalle apparecchiature per la climatizzazione).

CATEGORIE DI EDIFICI		PORTATA D'ARIA			
(TRATTO DA NORME UNI 10339-1995 - 30/06/1995 - IMPIANTI AEREAULICI AI FINI DEL BENESSERE. GENERALITÀ, CLASSIFICAZIONE, REQUISITI. REGOLE PER LA RICHIESTA D'OFFERTA, L'OFFERTA, L'ORDINE E LA FORNITURA)		IN BASE ALLO AFFOLLAMENTO (LITRI/S PERS.)	IN BASE ALLA SUPERFICIE (LITRI/S AL M <sup>2</sup> )	IN BASE AL VOLUME (RICAMBI ORARI)	INDICE DI AFFOLLAMENTO
		<b>EDIFICI RESIDENZIALI</b>	<b>Abitazioni civili</b>	Soggiorni e camere da letto	11
Cucina, bagni, servizi					4
<b>Abitazioni collettive</b>	Sale riunioni		9		0,6
	Camere		11		0,05
	Cucina			16,5	
	Bagni, servizi				4
	Ingresso, soggiorni		11		0,2
	Sale conferenze		5,5		0,6
<b>Alberghi</b>	Sale da pranzo		10		0,6
	Camere		11		0,05
	Bagni di camere				4
	Servizi				8
<b>UFFICI</b>	Singoli		11		0,06
	Open space		11		0,12
	Sale riunioni	10		0,6	
	Ced	7		0,08	
	Servizi			8	

<b>OSPEDALI</b>	Degenze	11		0,08	
	Corsie	11		0,12	
	Camere sterili	11		0,08	
	Sale mediche, soggiorni	8,5		0,05	
	Terapie fisiche	11		0,2	
	Servizi			8	
<b>EDIFICI PUBBLICI</b>	<b>Cinema, teatri, sale riunioni</b>	Aree pubbliche, sale, sale riunioni senza fumatori	5,5		1,5
		Palcoscenici, studi TV	12,5		1,5
		Sale riunioni con fumatori	30		0,7
		Servizi			8
		Borse titoli	10		0,5
		Sale d'attesa			8
	<b>Musei, biblioteche e luoghi di culto</b>	Sale mostre	6		0,3
		Sale lettura	5,5		0,3
		Depositi libri		1,5	
		Luoghi di culto	6		0,8
		Servizi			8
	<b>Bar, ristoranti, sale da ballo</b>	Bar	11		0,8
Pasticcerie		6		0,8	
Sale da pranzo		10		0,6	
Sale da ballo		16,5		1	
Cucine			16,5		
Servizi				8	
<b>EDIFICI COMMERCIALI</b>		<b>Grandi magazzini</b>	Piani interrati	9	
	Piani superiori		6,5		0,25
	<b>Negozi e reparti</b>	Barbieri, parrucchieri	14		0,2
		Abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	11,5		0,1
		Alimentari, lavasecco, farmacie	9		0,1
	<b>Zone pubbliche di banche, quartieri fieristici</b>		10		0,2

EDIFICI SPORTIVI	Piscine, saune	Sala vasca	2,5	0,3
		Spogliatoio, servizi		8
		Saune	2,5	
	Palestre	Palazzetti sportivi	6,5	1,5
		Bowling	10	0,6
		Campi da gioco	16,5	0,2
		Zone spettatori	6,5	1,5
		Spogliatoio, servizi		8
		Servizi pubblici		8
	EDIFICI SCOLASTICI	Asili nido, scuole materne	4	0,4
		Aule scuole elementari	5	0,45
		Aule scuole medie inferiori	6	0,45
Aule scuole medie superiori		7	0,45	
Aule universitarie		7	0,6	
Servizi			8	
Biblioteche, sale lettura		6	0,3	
Aule musica e lingue		7	0,5	
Laboratori		7	0,3	
Sale insegnanti		6	0,3	

La **norma UNI 10339** è applicabile solo per impianti di ventilazione meccanica. La quantità di aria esterna prescritta (che, ricordiamo, è da considerare come minima) potrebbe non essere sufficiente a garantire la diluizione degli inquinanti e a garantire le condizioni ideali negli ambienti ventilati; il corretto dimensionamento deve pertanto tenere conto della effettiva diluizione di tali inquinanti.

Un limite di tale norma è la mancanza di riferimenti alla qualità dell'aria nei locali in cui siano presenti fumatori.

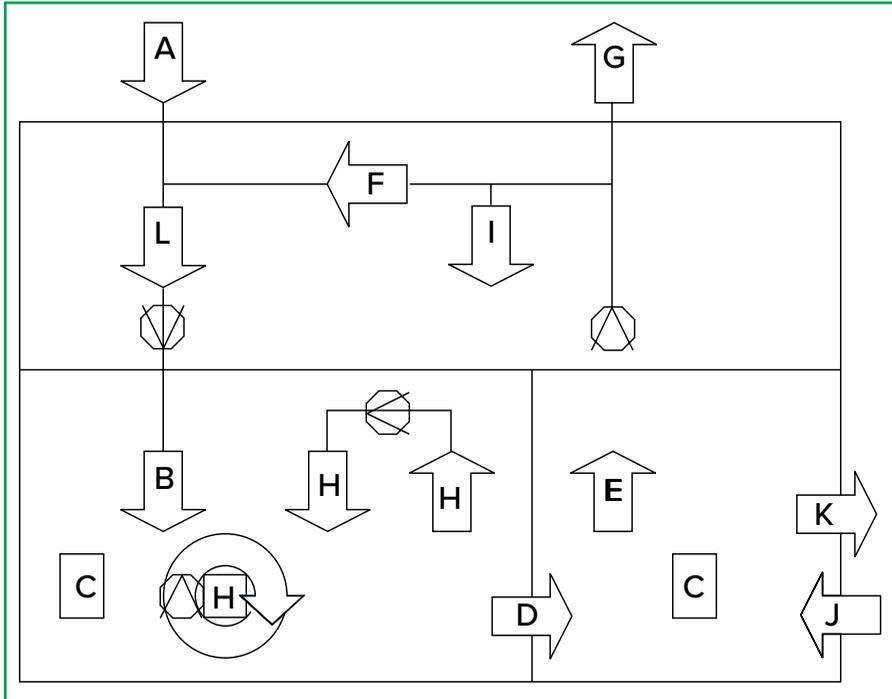
Da qualche anno a questa parte è in corso un tentativo di aggiornamento della UNI

10339, che è approdato alla formulazione di un progetto di norma in cui, specie per gli edifici residenziali, si propone un tasso di ricambio dell'aria legato sia al numero degli occupanti che alla superficie dei locali stessi; viene demandata al progettista la scelta del parametro da utilizzare tra i tre proposti, al fine dell'ottenimento di una qualità dell'aria interna elevata, media o bassa; per le estrazioni vengono invece suggeriti dei valori fissi per bagni e cucine a seconda che l'impianto sia a funzionamento continuo o discontinuo.

Secondo la norma EN 13779 ("ventilazione per edifici non residenziali, requisiti di prestazione per sistemi di ventilazione e climatizzazione dei locali") l'aria che

interessa gli ambienti da ventilare è definita secondo le seguenti tipologie (si faccia riferimento alla fig. 1.12):

Fig. 1.12



**A = OTA, outdoor air:** aria esterna (non ancora trattata) che entra nell'impianto e nell'ambiente

**B = SUP, supply air:** aria immessa in ambiente dopo trattamento

**C = IDA, indoor air:** aria ambiente

**D = TRA, transferred air:** aria di trasferimento da un ambiente all'altro

**E = ETA, extract air:** aria di estrazione

**F = RCA, recirculation air:** aria di ricircolo, estratta dall'ambiente e trattata

**G = EHA, exhaust air:** aria di espulsione esausta espulsa dal sistema all'esterno

**H = SEC, secondary air:** aria secondaria ripresa dall'ambiente, trattata e re-immessa (es: fan coil)

**I = LEA, leakage:** aria di trafilamento del sistema

**J = INF, infiltration:** aria di trafilamento dall'involucro dell'edificio verso l'esterno

**K = EXF, exfiltration:** aria di trafilamento dall'involucro dell'edificio verso l'interno

**L = MIA, mixed air:** aria di miscela tra due o più flussi d'aria

Secondo la norma **UNI 13779:2008** “*Ventilation for non residential buildings – Performance requirements for ventilation and room conditioning systems*” (Ventilazione degli edifici non residenziali – Requisiti prestazionali per i sistemi di ventilazione e condizionamento) i parametri di comfort e qualità dell’aria devono essere raggiunti solo nella zona occupata (e non in tutto l’ambiente). La norma classifica la qualità dell’aria interna ottenuta in 4 categorie, da IDA 1 (alta qualità) a IDA 4 (bassa qualità). A seconda della categoria che si desidera ottenere devono essere assicurate determinate portate d’aria. Per la valutazione della qualità dell’aria si può fare una classificazione in base:

- alla concentrazione di CO<sub>2</sub>
- alla concentrazione di specifici inquinanti
- alla qualità dell’aria percepita dagli occupanti
- al tasso di ricambio d’aria per persona occupante il locale
- al tasso di ricambio d’aria per metro quadrato di superficie

È necessaria una precisazione: il recepimento della EN 13779 come UNI

EN 13779 non comporta l’automatica “cancellazione” della UNI 10339: la direttiva europea indica degli indirizzi e degli obiettivi da raggiungere, ma non vincola le normative nazionali. Gli Stati Membri infatti, in presenza di normative nazionali di settore, possono recepire dalle norme comunitarie solo i punti dove queste risultano più restrittive. Nel caso in cui la norma nazionale sia in qualche modo più estesa nel campo di applicazione o più avanzata nei contenuti, essa prevarrà, per questi campi e contenuti, sulla norma europea. Segnaliamo che è in corso la revisione della UNI 10339 e la sostituzione della UNI EN 13779 con le En 16798-3 e EN 16798-4.

**La Legge n.3 (16 Gennaio 2003)**

regolamenta la ventilazione nei locali fumatori. La portata di aria supplementare minima da assicurare è pari a 30 litri/s per ogni persona che può essere ospitata nei locali in conformità della normativa vigente, sulla base di un indice di affollamento pari allo 0,7 persone/m<sup>2</sup>. Secondo la UNI EN 13779 tale tasso di ricambio permetterebbe di classificare la qualità dell’aria ottenibile come “media” (IDA2).

CATEGORIA	UNITÀ	AREA NON FUMATORI (*)	AREA FUMATORI (*)
IDA 1	m <sup>3</sup> /h pers. litri/s pers.	>54 >15	>108 >30
IDA 2	m <sup>3</sup> /h pers. litri/s pers.	36-54 10-15	72-108 20-30
IDA 3	m <sup>3</sup> /h pers. litri/s pers.	22-36 6-10	43-72 12-20
IDA 4	m <sup>3</sup> /h pers. litri/s pers.	<22 <6	<43 <12

(\*) Valori di range tipico



## PROGETTI DI NORMATIVA EUROPEA



**CEN prENV 1752** “Ventilation for buildings: design criteria for the indoor environment” (Ventilazione degli edifici: criteri di progettazione per l’ambiente interno)

Riprende il lavoro di Fanger relativo al benessere termoigrometrico, legando la portata dell’aria di rinnovo ad una percentuale massima di persone insoddisfatte (PDlim) a causa dell’inquinamento olfattivo.

**EUR 14449EN** “Indoor air quality and its impacts on men” (Qualità dell’aria interna e impatto sugli occupanti)  
Prescrive che per il calcolo della portata dell’aria di rinnovo occorre considerare il valore massimo tra:

- portata necessaria per la salute in base alla concentrazione degli inquinanti
- portata necessaria per il benessere (in base alla percentuale di insoddisfatti sulla qualità dell’aria percepita)

Inoltre si vorrebbe inserire nei calcoli il valore di efficienza della ventilazione.

### **ALTRE NORME SULLA VENTILAZIONE NELL’EDILIZIA AI FINI DELLA CERTIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI**

**EN 13465** “Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in dwellings”

Si applica per edifici fino a 1000 m<sup>2</sup> ed ha come scopo il calcolo dei consumi ener-

getici per la ventilazione, la determinazione dei carichi termici massimi connessi alla ventilazione e la valutazione della qualità dell’aria interna.

Fa riferimento a diversi sistemi di ventilazione: dalle infiltrazioni attraverso l’involucro edilizio alla aerazione (apertura di finestre), alla ventilazione naturale fino alla ventilazione meccanica sia a semplice flusso che a doppio flusso bilanciato.

**EN 15239** “Ventilation for building – Energy performance of buildings – Guidelines for inspection of air conditioning systems” (Ventilazione degli edifici – Prestazioni energetiche degli edifici – Linee guida per l’ispezione dei sistemi di ventilazione).

**EN 15240** “Ventilation for building – Energy performance of buildings – Guidelines for inspection of air conditioning systems” (Ventilazione degli edifici – Prestazioni energetiche degli edifici – Linee guida per l’ispezione dei sistemi di climatizzazione).

**EN 15241** “Ventilation for building – Calculation methods for energy losses due to ventilation and infiltration in commercial buildings” (Ventilazione degli edifici – Metodi per il calcolo delle perdite di energia dovute alla ventilazione e all’infiltrazione in edifici ad uso commerciale)

È finalizzata al calcolo energetico relativo alla ventilazione negli edifici per processi di riscaldamento o raffrescamento.

**EN 15242** “Ventilation for buildings – Calculation method for the determination of air flow rates in buildings including infiltration” (Ventilazione negli edifici – Metodi per la determinazione dei tassi di flusso d’aria in edifici dove sono presenti infiltrazioni).

Tocca aspetti relativi al calcolo dei consumi energetici per la ventilazione, calcolo dei carichi termici per riscaldamento e raffrescamento, comfort durante la stagione estiva e valutazione della qualità dell'aria interna.

Riguarda l'edilizia residenziale, si applica agli edifici dotati di ventilazione meccanica ma il metodo è anche esteso a sistemi di ventilazione naturale o ibrida.

**EN 15251** "Criteria for indoor environment including thermal indoor air quality (Ventilation), light and noise"

Fa dipendere le portate d'aria dal tipo di inquinanti interni che devono essere eliminati e sono in relazione con le attività svolte all'interno dei locali. Suggerisce per ogni ambiente un valore minimo di ricambi d'aria orari (da 0,5 a 1,0 vol/h).

**prEN 15217** "Energy performance of buildings – Method for expressing energy performance and for Energy certification"

Illustra le modalità secondo cui il modello di certificazione deve essere redatto.

Segnaliamo che (alla data della stesura del presente volume) è in fase di rilascio la serie di norme 16789 che supereranno ed andranno a sostituire alcune delle norme attualmente in vigore; nel dettaglio:

**prEN 16798-1** "Energy performance of building – Part 1 : Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic – Module M 1-6" – sostituirà la **EN 15251;2007**.

**prEN 16798-2** "Energy performance of building – Part 2 : Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustic – Module

M 1-6 – Technical report – Interpretation of the requirements in EN 16798-1" – Technical report relativo a come utilizzare la EN 16798-1.

**prEN 16798-3** "Energy performance of building – Part 3 : Ventilation for non-residential buildings – Module M 5-1, M5-4 – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems" – sostituirà la **EN 13779;2007**.

**prEN 16798-4** "Energy performance of building – Part 4 : Ventilation for non-residential buildings – Module M 5-1, M5-4 – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems – Technical report – Interpretation of the requirements in EN 16798-3" – Technical report relativo a come utilizzare la EN 16798-3.

**prEN 16798-5-1** "Energy performance of building – Modules M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8 – Ventilation for buildings – Calculation methods for energy requirements of ventilation and air conditionings systems – Part 5-1; Distribution and generation – method 1" – sostituirà la **EN 15241;2007** unitamente alla

**prEN 16798-5-2** "Energy performance of building – Modules M5-6.2, M5-8.2 – Ventilation for buildings – Calculation methods for energy requirements of ventilation systems – Part 5-2; Distribution and generation – method 2".

**prEN 16798-6** "Energy performance of building – Part 6: Ventilation for buildings – Modules M5-6, M5-8, M6-5, M6-8, M7-5, M7-8 - Calculation methods for energy requirements of ventilation and air conditionings systems – Technical report – interpretation of the requirements in EN 16798-5-1 and 16798-5-2" Technical report relativo a come utilizzare le EN 16798-5.

**prEN 16798-7** “Energy performance of building – Part 7: Ventilation for buildings – Modules M5-1, M5-5, M5-6, M5-8 - Calculation methods for determination of air flow rates in buildings including infiltration” – sostituirà la EN 15242;2007.

**prCEN/TR 16798-8** “Energy performance of building – Part 8: Ventilation for buildings – Modules M5-1, M5-5, M5-6, M5-8 - Calculation methods for determination of air flow rates in buildings including infiltration – Technical report – Interpretation of the requirements in EN 16798-7” – Technical report relativo a come utilizzare le EN 16798-7.

**prEN 16798-9** “Energy performance of building – Part 9: Ventilation for buildings – Modules M4-1, M4-4, M4-9 - Calculation methods for energy requirements of cooling systems - General” – sostituirà la EN 15243;2007 unitamente alla parte 13.

**prEN 16798-10** “Energy performance of building – Part 10: Ventilation for buildings - Calculation methods for energy requirements of cooling systems – General - Technical report – Interpretation of the requirements in EN 16798-9 – Modules M4-1, M4-4, M4-9” – Technical report relativo a come utilizzare le EN 16798-9.

**EN 16798-11** “Energy performance of buildings - Part 11 : Module M4-3 - Calculation of the design cooling load; German and English version prEN 16798-11:2015”.

**prCEN/TR 16798-12** “Energy performance of buildings – Module M4-3, Calculation of the design cooling load – Part 12: Technical report - interpretation of the requirements in EN 16798-11” – Technical report relativo a come utilizzare le EN 16798-11.

**prEN 16798-13** “Energy performance of building – Part 13: Module M4-8 - Calcula-

tion of cooling systems - Generation” – sostituirà la EN 15243;2007.

**prEN 16798-14** “Energy performance of building – Part 14: Module M4-8 - Calculation of cooling systems - Generation – Technical report - Interpretation of the requirements in EN 16798-13” – Technical report relativo a come utilizzare le EN 16798-13 - sostituirà la EN 15243;2007.

**prEN 16798-15** “Energy performance of building – Part 15: Module M4-7 - Calculation of cooling systems - Storage”.

**prCEN/TR 16798-16** “Energy performance of building – Module M4-7 - Calculation of cooling systems - Storage - Part 16: Technical report – Explanation of the requirements of 16798-15” - Technical report relativo a come utilizzare le EN 16798-15.

**prEN 16798-17** “Energy performance of building – Part 17: Ventilation for buildings – Guidelines for inspection of ventilation and air conditioning systems, Module M4-11, M5-11, M6-11, M7-11”.

**prEN 16798-18** “Energy performance of building – Part 18: Ventilation for buildings - Module M4-11, M5-11, M6-11, M7-11– Guidelines for inspection of ventilation and air conditioning systems - Technical report – Interpretation of the requirements in EN 16798-17” - Technical report relativo a come utilizzare le EN 16798-17

## CLASSIFICAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Fig. 1.13



L'Unione europea, impegnata a conseguire l'obiettivo 20-20-20 (ridurre del 20% il consumo di energia primaria entro il 2020), ha preso misure mirate all'efficienza energetica degli edifici, alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> degli impianti e alla realizzazione di impianti per la produzione di energia rinnovabile.

### Direttiva 2002/91/CE

La 2002/91/CE Directive on the energy performance of buildings mirava a raggiungere i seguenti obiettivi:

- diminuzione del 22% dei consumi energetici comunitari entro il 2010
- ottenimento di un risparmio di energia primaria pari a 55 milioni di tep
- riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> per un valore pari a 100 milioni di tonnellate
- introduzione di nuovi standard progettuali

La direttiva richiedeva agli stati membri di provvedere affinché gli edifici di nuova costruzione e quelli esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti soddisfacessero dei requisiti minimi di rendimento energe-

tico, monitorando i consumi dell'edificio, compresi, fra gli altri, il riscaldamento e il raffreddamento.

La prestazione energetica del sistema edificio-impianto è definita dal fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, EPH.

In funzione della zona climatica di appartenenza della località in cui sorge l'edificio ed in relazione alla sua destinazione d'uso, vengono definite 8 classi di consumo, dalla A+ (edifici a minor consumo) alla G (edifici a maggior consumo).

L'Attestato di Certificazione Energetica deve essere messo a disposizione in fase di costruzione, compravendita o locazione.

### Direttiva 2010/31/EU

Questa direttiva, che ha di fatto abrogato la direttiva 2002/91/CE, è volta al miglioramento della prestazione energetica degli edifici, tenendo conto degli impianti di condizionamento (riscaldamento e climatizzazione estiva), degli Impianti di illuminazione, delle condizioni climatiche interne, delle caratteristiche termiche (es. isolamento, capacità termica, ecc.), delle condizioni climatiche locali, dell'esposizione al sole dell'Illuminazione, dei sistemi di cogenerazione dell'elettricità, dell'eventuale presenza di teleriscaldamento, ecc.

Vengono fissati dei requisiti minimi, che dovranno essere differenti a seconda che si stia valutando un edificio di nuova costruzione o già esistente, e a seconda della tipologia edilizia. Inoltre la direttiva incoraggia l'introduzione di sistemi intelligenti per misurare il consumo energetico. Gli edifici che verranno ristrutturati dovranno

migliorare la loro prestazione energetica per soddisfare i minimi richiesti.

L'obiettivo è di arrivare entro il 31 dicembre 2020 a portare gli edifici di nuova costruzione a essere a energia quasi a zero (NZEB), mentre per gli edifici pubblici il termine è fissato al 31 dicembre 2018. L'attestato di prestazione energetica deve essere reso disponibile per tutte le operazioni di vendita o locazione; inoltre deve essere redatto in caso di nuova costruzione o di ristrutturazione edilizia.

Gli edifici vengono classificati in 10 classi prestazionali, dalla peggiore (G) alla migliore (A4).

Per accedere alle classi di consumo più elevate in termini di efficienza energetica, i criteri costruttivi ed i materiali devono garantire il miglior isolamento termico dell'involucro edificio; inoltre le apparecchiature degli impianti devono avere elevati rendimenti.

In quest'ottica, l'utilizzo di unità di ventilazione con recupero energetico contribuisce ad abbattere il fabbisogno energetico del sistema edificio-impianto, assicurando nel contempo il corretto ricambio dell'aria negli ambienti.

Questo argomento verrà approfondito nel capitolo **CASE HISTORIES**.

Nella figura seguente sono riportati i limiti per le classi energetiche.

**Fig. 1.14**

	<b>CLASSE A4</b>	$\leq 0,40 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$0,40 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE A3</b>	$\leq 0,60 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$0,60 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE A2</b>	$\leq 0,80 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$0,80 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE A1</b>	$\leq 1,00 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$1,00 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE B</b>	$\leq 1,20 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$1,20 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE C</b>	$\leq 1,50 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$1,50 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE D</b>	$\leq 2,00 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$2,00 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE E</b>	$\leq 2,60 EP_{gl,nren, rif, standard}$
$2,60 EP_{gl,nren, rif, standard} <$	<b>CLASSE F</b>	$\leq 3,50 EP_{gl,nren, rif, standard}$
	<b>CLASSE G</b>	$> 3,50 EP_{gl,nren, rif, standard}$

## LA CASA PASSIVA

Si definisce casa passiva un edificio in cui gli apporti di energia gratuiti provenienti da irraggiamento solare, calore proveniente dal terreno e calore generato all'interno siano quasi sufficienti a compensare le perdite di energia attraverso l'involucro durante la stagione invernale.

In tali edifici risultano di importanza fondamentale l'orientamento della costruzione e la scelta dei materiali.

L'energia termica è fornita tipicamente da impianti a pannelli solari e pompe di calore.

La definizione di case passive secondo l'Istituto Passive House (PHI) prevede che:

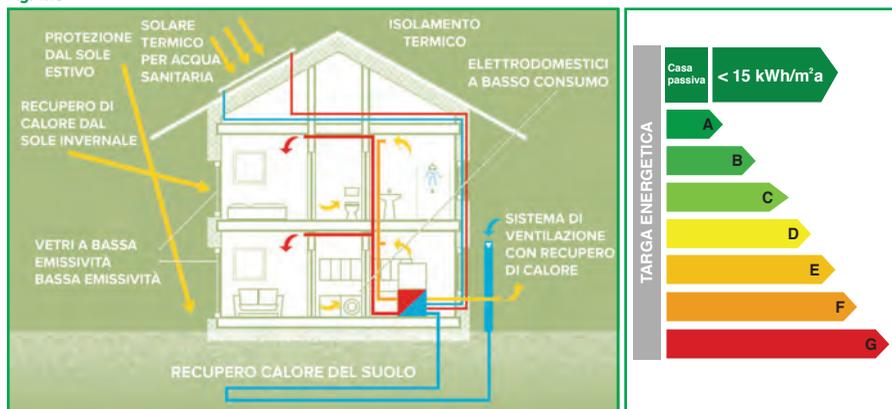
- il consumo energetico annuo per riscaldamento sia inferiore a  $15 \text{ kWh/m}^2$
- il fabbisogno termico di picco sia inferiore a  $10 \text{ W/m}^2$
- il consumo energetico annuo per raffrescamento sia inferiore a  $15 \text{ kWh/m}^2$
- il carico termico estivo sia inferiore a  $10 \text{ W/m}^2$

- la tenuta all'aria n50 sia inferiore a 0,6/h
- il fabbisogno energetico primario di energia sia inferiore a  $120 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$

Inoltre:

- il fabbisogno termico sia soddisfatto dalla portata d'aria di 0,3 vol/h
- sia previsto un impianto di recupero calore con efficienza superiore all'80%
- l'aria immessa tramite ventilazione meccanica sia preriscaldata geotermicamente
- l'involucro sia impermeabile al vento
- la forma sia compatta
- le finestre abbiano vetri a bassa emissività.

Fig. 1.15



## LA DIRETTIVA ERP



La **Direttiva Europea 2009/125/CE** per la Progettazione Ecocompatibile di prodotti che consumano energia, detta "**Direttiva ERP**"

(Energy Related Products), cioè relativa ai prodotti che riguardano l'energia, ha dato il via alla realizzazione di specifici Regolamenti Europei per tutti i componenti per impianti e prodotti che utilizzano e consumano energia.

I settori della VENTILAZIONE ne è stato fortemente coinvolto ed è stato interessato da una serie di Regolamenti applicativi, quali:

- **N° 640/2009/UE:** Regolamento dei motori elettrici trifase con potenza nominale compresa tra 0,75 e 375 KW ;
- **N° 327/2011/UE:** Regolamento ventilatori con potenza compresa tra 125 W e 500 Kw (ERP);
- **N° 1275/2011/UE:** Regolamento per la misura del consumo di energia in bassa potenza (STANDBY POWER);
- **N° 206/2012/UE:** Regolamento per la progettazione ecocompatibile dei Condizionatori d'aria e dei Ventilatori Comfort;
- **N° 1253/2014/UE:** Regolamento per le specifiche per la progettazione ecocompatibile delle Unità di ventilazione
- **N° 1254/2014/UE:** Regolamento per l'Etichettatura indicante il consumo di delle Unità di Ventilazione Residenziali

Tali regolamenti hanno lo scopo di rendere più efficienti i motori ed i ventilatori; a parità di prestazione erogata i consumi elettrici risultano quindi sensibilmente in-

feriori rispetto alle macchine costruite nel passato.

Il **Regolamento Europeo N° 1253/2014** definisce le specifiche per la progettazione ecocompatibile delle Unità di Ventilazione Residenziali (UVR) e Non Residenziali (UVNR), unidirezionali (UVU) e bidirezionali (UVB) con potenze assorbite uguali o superiori a 30W per singolo ventilatore.

Vengono definite le Unità di Ventilazione:

**UVR (residenziali)** la cui portata massima d'aria non è superiore a 250 m<sup>3</sup>/h, oppure compresa tra 250 m<sup>3</sup>/h e 1000 m<sup>3</sup>/h, e destinata, come dichiarato dal fabbricante, esclusivamente a fini di ventilazione in edifici residenziali;

**UVNR (non residenziali)** aventi portata massima d'aria superiore a 1000 m<sup>3</sup>/h oppure compresa tra 250 m<sup>3</sup>/h e 1000 m<sup>3</sup>/h, se il fabbricante ne dichiara l'impiego strettamente non residenziale;

Cambia il concetto di portata massima:

A seconda che si tratti di una unità residenziale o non residenziale, viene prescritto quanto segue:

**UVU (unidirezionali)** sono unità di ventilazione che produce un flusso d'aria in una sola direzione, sia essa proveniente dall'interno e diretta all'esterno (espulsione) o proveniente dall'esterno e diretta all'interno (immissione), in cui il flusso d'aria prodotto meccanicamente è bilanciato da sistemi naturali di immissione o espulsione dell'aria;

**UVB (bidirezionali):** unità di ventilazione che produce un flusso d'aria tra l'interno e l'esterno ed è dotata di ventilatori tanto di espulsione quanto di immissione.

**UNITÀ DI VENTILAZIONE RESIDENZIALI**

Data di applicazione fase 1: **1° gennaio 2016** in corso.

- il valore del SEC (Specific Energy Consumption) cioè il consumo specifico di energia, , calcolato per un clima medio, non deve essere superiore a **0 kWh/(m<sup>2</sup>.a)**.
- per le unità non da canale, comprese le unità di ventilazione destinate ad essere dotate di una connessione alla canalizzazione sul lato dell'immissione o dell'espulsione, il valore massimo della Potenza Sonora LWA non deve superare i **45 dB(A)**.
- tutte le UV, tranne le unità a doppio uso, devono essere dotate di azionamento a velocità multiple o variatore di velocità. Le unità a doppio uso sono quelle che possono essere utilizzate sia per ventilazione che per altri scopi come ad esempio l'estrazione di fumi caldi (400°C) secondo il Regolamento 305/20117UE.
- tutte le UVB devono essere dotate di un dispositivo di bypass termico.

Data di applicazione fase 2: **1° gennaio 2018**.

- il valore del SEC (Specific Energy Consumption) cioè il consumo specifico di energia, , calcolato per un clima medio, non deve essere superiore a **-20 kWh/(m<sup>2</sup>.a)**.
- per le unità non da canale, comprese le unità di ventilazione destinate ad essere dotate di una connessione alla canalizzazione sul lato dell'immissione o dell'espulsione, il valore massimo della Potenza Sonora LWA non deve superare i **40 dB(A)**.
- tutte le UV, tranne le unità a doppio uso,

devono essere dotate di azionamento a velocità multiple o variatore di velocità.

- Tutte le UVB devono essere dotate di un dispositivo di bypass termico.
- **Le unità di ventilazione dotate di filtro devono disporre di un segnale visivo di avvertimento della necessità di sostituire il filtro.**

**UNITÀ DI VENTILAZIONE NON RESIDENZIALI**

Le date di applicazione delle 2 fasi sono le stesse: **1° gennaio 2016 / 1° gennaio 2018**

I requisiti sono diversi e non si deve fornire l'etichetta energetica.

- tutte le UV, tranne le unità a doppio uso, devono essere dotate di azionamento a velocità multiple o variatore di velocità.
- tutte le UVB devono essere dotate di HRS (scambiatore di calore)
- l'HRS deve essere dotato di un dispositivo di by-pass termico
- l'efficienza termica minima di tutti gli HRS deve essere almeno 67% per la prima fase e 73% per la seconda fase.
- l'efficienza minima per le UVU è data dalla seguente formula  $6,2\% \cdot \ln(P) + 35\%$  con valori di  $P \leq 30\text{kW}$  (prima fase) e  $6,2\% \cdot \ln(P) + 42\%$  con valori di  $P \leq 30\text{kW}$  (seconda fase)
- si deve poi calcolare un altro parametro che determina la potenza specifica dei componenti della ventilazione SFPint il cui valore limite viene fuori da un'altra espressione abbastanza complessa.

### Norma Europea EN 15232 (2012)

È stato valutato che circa il 40% del consumo energetico europeo è imputabile agli immobili. Per questo motivo l'Unione Europea, oltre ad emanare Regolamenti di ecodesign per rendere i prodotti più efficienti e la Direttiva 2002/91/CE comunemente nota con il nome di EPBD (Energy Performance of Building Directive) per l'efficienza energetica degli edifici (aggiornata nel 2010 con la Direttiva 2010/31/UE), ha incaricato il Comitato Europeo di Normazione (CEN) di elaborare norme specifiche per il calcolo dell'efficienza degli edifici.

È nata quindi la norma **EN 15232** nel 2007 aggiornata poi nel 2012 dal titolo:

*«Prestazione energetica degli edifici – Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici»*

L'obiettivo della norma (valida sia per gli edifici esistenti che per quelli in via di progettazione o ristrutturazione) è stabilire l'impatto della Building Automation sul rendimento energetico degli edifici, definendo:

- una lista strutturata di controllo, funzioni di building automation e gestione tecnica degli edifici con un impatto sul rendimento energetico;
- un metodo per la definizione dei requisiti minimi da implementare in edifici di diversa complessità;
- metodi per la definizione dell'impatto delle funzioni di automazione su un dato edificio.

## EFFICIENZA DELLA VENTILAZIONE

Fig. 1.17



Non sempre la ventilazione è effettuata in maniera corretta e questo comporta che, a parità di portata d'aria, uno stesso ambiente risulti meglio ventilato di un altro con le stesse caratteristiche e di conseguenza abbia una qualità dell'aria migliore.

L'efficienza di ventilazione viene definita come la capacità di un sistema di ventilazione di rimuovere gli inquinanti da un ambiente confinato. Un sistema ad alta efficienza permette quindi di raggiungere una qualità dell'aria ottimale con portate d'aria di rinnovo inferiori rispetto ad un sistema a bassa efficienza.

L'efficienza di ventilazione dipende da fattori quali:

- caratteristiche dell'impianto
- caratteristiche e posizionamento dei terminali di distribuzione
- tipologia del locale

Viene quantificata in un parametro adimensionale: valori inferiori ad 1 indicano che nel volume trattato sono possibili formazioni di "sacche" d'aria che vengono

rinnovate meno frequentemente rispetto al valore di progetto.

Maggiore è il valore dell'efficienza di ventilazione, più il sistema di ventilazione garantisce una uniforme miscelazione dell'aria in tutto il volume trattato (fatta eccezione per il sistema di ventilazione a dislocamento).

In caso di utilizzo di particolari diffusori a turbolenza, il valore dell'efficienza di ventilazione può essere superiore ad 1: questo significa che il sistema è particolarmente efficiente ed è possibile ridurre la portata d'aria complessiva pur garantendo il rinnovo dell'aria ambiente e di conseguenza evitare di sovradimensionare inutilmente l'impianto.

Qui sotto alcuni valori convenzionali per l'efficienza di ventilazione secondo ASHRAE STANDARD 62.1-2004:

APPLICAZIONE	EFFICIENZA DI VENTILAZIONE
Immissione di aria fredda dall'alto	1,0
Immissione di aria calda dall'alto con temperatura di immissione <8°C rispetto alla temperatura ambiente	1,0
Immissione di aria calda dall'alto con temperatura di immissione >8°C rispetto alla temperatura ambiente	0,8
Immissione di aria dal basso con perfetta miscelazione	1,0
Immissione di aria fredda dal basso ed estrazione dall'alto (ventilazione a dislocamento)	1,2
Immissione di aria calda dal basso ed estrazione dall'alto	0,7

Si analizzeranno nel capitolo successivo i metodi con cui si realizza la ventilazione degli ambienti interni e quali componenti vengono utilizzati negli impianti di ventilazione.

## VENTILAZIONE: TIPOLOGIE

Fig. 2.01



Nel capitolo precedente sono state presentate le argomentazioni che portano a capire l'esigenza di ricambiare l'aria nei locali interni (benessere termoigrometrico e qualità dell'aria). In questo capitolo si affronteranno argomenti relativi a come realizzare la ventilazione e tenere sotto controllo la qualità dell'aria, a quali macchine e componenti di impianto occorre fare ricorso, a come scegliere il ventilatore idoneo per ciascun impianto e quali vantaggi comporta ciascun tipo di impianto. Inoltre si affronteranno brevemente le problematiche connesse con un altro aspetto molto rilevante dal punto di vista del comfort negli ambienti confinati: il rumore.

### VENTILAZIONE NATURALE

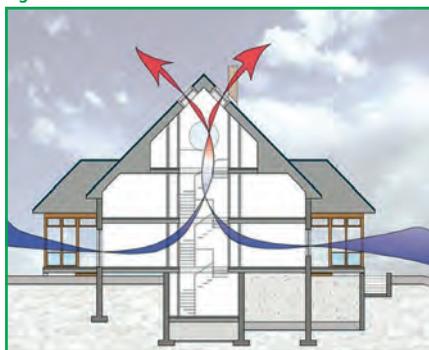
La ventilazione naturale degli edifici viene realizzata tramite le aperture sull'involucro edilizio: camini, finestre o aperture su tetto, sfruttando l'effetto camino, le differenze di temperatura e pressione, l'irraggiamento solare differenziato, la presenza di altri aspiranti o torri di ventilazione...

Nei vecchi edifici le infiltrazioni attraverso gli infissi garantivano in qualche misura un ricambio dell'aria interna, mentre nei

nuovi edifici, per ridurre le dispersioni termiche verso l'esterno, l'introduzione di infissi più efficienti fa sì che le infiltrazioni siano molto limitate.

Il sistema più diffuso consiste nella apertura delle finestre; l'efficacia è maggiore se le finestre sono poste su lati opposti dell'ambiente. Possono bastare pochi minuti per realizzare il ricambio dell'aria.

Fig. 2.02



L'effetto camino (fig. 2.02) può essere sfruttato per la ventilazione naturale: affinché si abbia una ventilazione continua occorre predisporre una presa d'aria esterna ed opportuni passaggi d'aria tra un locale e l'altro. L'aria entra dalla presa d'aria esterna e viene espulsa tramite il camino. In alcune condizioni il flusso d'aria potrebbe invertirsi ed è pertanto necessario inserire nell'impianto un ventilatore (ventilazione ibrida). L'effetto camino viene sfruttato anche nelle cosiddette "doppie facciate".

Negli stabilimenti industriali è possibile operare il ricambio dell'aria tramite opportuni esalatori posizionati a tetto, la cui apertura può essere manuale o automatica.

In alcuni edifici è possibile inoltre sfruttare il flusso ascensionale che si genera in ambienti centrali, quali gli atrii per la ventilazione continua di ambienti che si affacciano sugli stessi.

E' da sottolineare che mentre gli impianti per la ventilazione meccanica presentano un limitato livello di interferenza con l'edificio (essendo in genere sufficiente garantire spazi tecnici per il passaggio delle condotte dell'aria e per l'installazione delle macchine), nel caso della ventilazione naturale (e ibrida) il progetto deve per definizione integrare l'aspetto architettonico a quello impiantistico.

In termini di portate d'aria, studi energetici indicano che l'apertura delle finestre corrisponde a ricambi attorno a 1,2 vol/h contro valori standard dei sistemi meccanici di 0,5 vol/h o 0,4 vol/h nel caso di sistemi igroregolabili. I sistemi a tiraggio naturale corrispondono a tassi di 0,8 vol/h, mentre sistemi per infiltrazione attraverso le finestre a 0,05 vol/h.

### Vantaggi

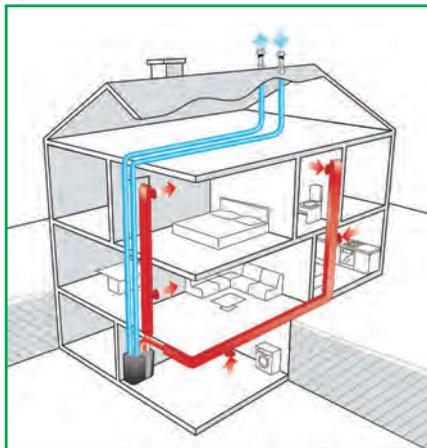
- economicità

### Svantaggi

- mancanza di controllo della portata d'aria
- perdita di energia nella stagione fredda
- ingresso di aria troppo calda in estate o troppo fredda in inverno
- mancanza di controllo sulla qualità dell'aria di rinnovo (possibile presenza di inquinanti)
- possibile aumento della rumorosità in ambiente
- possibile fastidio causato da correnti d'aria
- necessità della progettazione integrata
- poca versatilità

## VENTILAZIONE MECCANICA

Fig. 2.03



Per ovviare alla mancanza di controllo della portata, svantaggio insito nella ventilazione naturale, è possibile progettare un sistema di ventilazione meccanico che garantisca il corretto ricambio dell'aria negli ambienti. In questi impianti, la portata d'aria viene garantita tramite l'utilizzo di uno o più ventilatori.

Possiamo distinguere in impianti con o senza canalizzazioni.

I primi consistono nel posizionare uno o più ventilatori a parete o a soffitto. Nel caso più semplice avremo uno o più ventilatori di estrazione e una serie di aperture che consentano l'afflusso di aria all'interno dell'ambiente. Il posizionamento e l'ampiezza delle aperture devono essere tali da consentire una ventilazione il più uniforme possibile nell'ambiente.

Le aperture possono essere sostituite da ventilatori di immissione, posizionati solitamente su pareti opposte rispetto a quelli di estrazione. Impianti di questo tipo sono spesso realizzati in ambienti industriali.

A volte non è possibile collocare su di una parete i ventilatori: si ricorre in questi casi a canalizzazioni che convogliano l'aria fino a terminali di immissione o di ripresa. In ambito residenziale e commerciale, la preferenza va verso impianti canalizzati che hanno il vantaggio di avere il ventilatore in posizione remota, con vantaggi in termini di silenziosità negli ambienti.

Un sistema di ventilazione meccanica consente i seguenti vantaggi:

- dosaggi calibrati dell'aria di rinnovo
- controllo delle correnti d'aria
- assenza di rumori esterni e limitazione di rumori interni
- controllo sulla qualità dell'aria interna
- contenimento delle dispersioni termiche
- possibilità di recupero energetico tramite scambiatori di calore
- ottimizzazione di cavedi tecnici.

Analizzeremo le seguenti tipologie:

- Ventilazione Meccanica Controllata a semplice flusso
- Ventilazione Meccanica Controllata a doppio flusso.

## SEMPLICE FLUSSO

Gli impianti di questa tipologia realizzano l'aspirazione di aria dall'ambiente e la convogliano tramite canalizzazioni all'esterno, generalmente a tetto. Il ventilatore è solitamente collocato in posizione remota rispetto all'ambiente. L'immissione in ambiente è effettuata tramite apposite feritoie posizionate sui muri perimetrali o sugli infissi; a volte tali feritoie vengono posizionate dietro i radiatori in modo che l'aria in ingresso sia parzialmente riscaldata prima di diffondersi negli ambienti.

Affinché l'impianto funzioni è necessario che tutti i locali asserviti siano attraversati dal flusso d'aria e questo comporta che le porte interne debbano avere griglie di transito idonee al passaggio dell'aria, dimensionate in modo da non avere eccessive perdite di carico e non permettere all'aria di avere in ambiente velocità superiori a 1 m/s.

In ambito residenziale l'aspirazione avviene di norma negli ambienti "umidi" (cucina, bagni, lavanderie...) mentre l'immissione avviene in soggiorno e nelle camere da letto (fig. 2.04 e 2.05).

Fig. 2.04

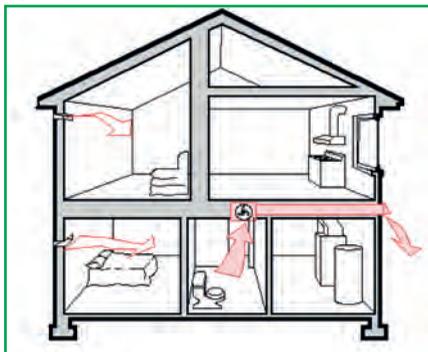
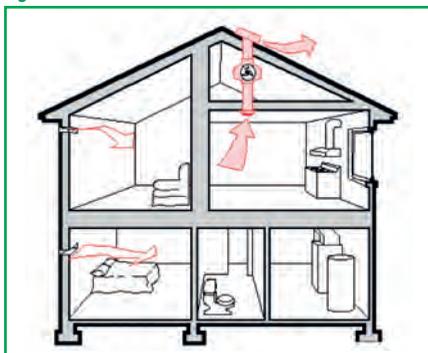


Fig. 2.05



In edifici amministrativi l'immissione avviene negli uffici e l'aspirazione dai corridoi tramite griglie collocate a soffitto e collegate alla canalizzazione di

espulsione; il canale può essere portato in copertura dove normalmente si trovano anche i ventilatori.

### Vantaggi

- controllo della portata d'aria
- possibilità di integrazione con la ventilazione naturale
- indipendenza da fenomeni meteorologici incostanti o comportamenti casuali degli occupanti
- adattabilità alle condizioni climatiche stagionali
- limitazione della rumorosità in ambiente
- controllo della velocità dell'aria in ambiente

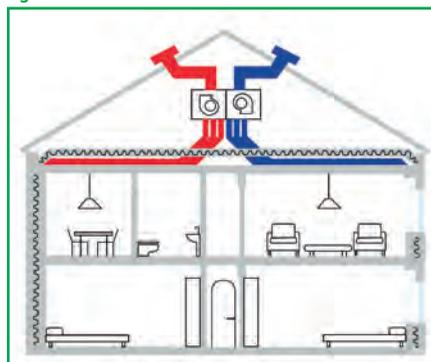
### Svantaggi

- costo dell'impianto e della conduzione dello stesso
- impossibilità di controllo sulla qualità dell'aria di rinnovo
- perdita di energia nella stagione fredda
- ingresso di aria troppo calda in estate

## DOPPIO FLUSSO

Un impianto a doppio flusso provvede meccanicamente sia alla mandata che alla ripresa dell'aria in ambiente (fig. 2.06).

Fig. 2.06



L'estrazione avviene come descritto per un impianto a semplice flusso.

Anche l'immissione è realizzata tramite canalizzazioni e bocchette, con un circuito separato dal precedente. L'aria di rinnovo viene spinta da un ventilatore lungo la canalizzazione e viene distribuita in ambiente da diffusori. I flussi d'aria immessa ed estratta sono coordinati da un sistema di regolazione.

In sistemi più complessi è possibile trattare l'aria di rinnovo prima di immetterla nell'ambiente ossia filtrarla, raffreddarla o riscaldarla, umidificarla o deumidificarla.

Con sistemi a doppio flusso infine è possibile anche il recupero energetico dall'aria di espulsione attraverso i recuperatori di calore.

### Vantaggi

- controllo della portata d'aria
- possibilità di abbinare un recuperatore di calore
- possibilità di integrazione con la ventilazione naturale
- indipendenza da fenomeni meteorologici incostanti o comportamenti casuali degli occupanti
- adattabilità alle condizioni climatiche stagionali
- limitazione della rumorosità in ambiente
- possibilità di controllo sulla qualità dell'aria di rinnovo
- controllo della velocità dell'aria in ambiente

### Svantaggi

- costo dell'impianto e della conduzione dello stesso

## VENTILAZIONE MECCANICA IGROREGOLABILE

Fig. 2.07



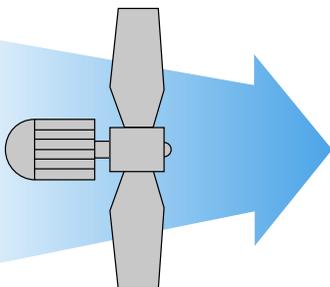
L'autoregolazione delle bocchette di immissione ed estrazione avviene in base al tasso di umidità presente nei locali, il quale influenza direttamente il valore delle portate di rinnovo; in questo modo viene limitata la dispersione termica.

Il funzionamento di tali bocchette è tale per cui all'aumentare dell'umidità, la sezione di passaggio aumenta di dimensioni consentendo maggiori portate d'aria e quindi estrazione di aria umida. Mano a mano che l'umidità in ambiente decresce, la sezione torna a restringersi e di conseguenza la portata d'aria diminuisce.

Il cuore di un impianto di ventilazione meccanica è rappresentato dal ventilatore; verranno di seguito presentate le varie tipologie di ventilatori ed analizzate le specificità di ciascuna. Inoltre si introdurranno i parametri da considerare per la scelta della macchina idonea all'impianto.

## MACCHINE PER LA VENTILAZIONE

Fig. 2.08



Un ventilatore è una macchina che ha lo scopo di imprimere movimento all'aria. È costituito da un motore (tipicamente elettrico) che mette in rotazione una ventola o girante la quale trasferisce l'energia al fluido.

La pressione totale fornita da un ventilatore corrisponde all'incremento della pressione totale subita dal flusso tra la sezione di aspirazione e quella di mandata. La pressione totale è la somma della pressione dinamica (legata al quadrato della velocità del fluido) e della pressione statica (atta a vincere le resistenze opposte dal circuito al passaggio del fluido).

A seconda della traiettoria del flusso dell'aria e quindi della tipologia delle giranti utilizzate, si classificano varie tipologie di ventilatori.

### VENTILATORI ASSIALI

La girante è costituita da un mozzo centrale cui sono collegate le pale; viene posta in rotazione all'interno di un involucro cilindrico, la cosiddetta cassa (fig. 2.09).

La direzione del flusso è parallela all'asse di rotazione della ventola: l'aria

Fig. 2.09



quindi attraversa la girante ricevendo energia da essa e procede in direzione quasi rettilinea, in quanto a causa della rotazione della ventola, al flusso viene trasmesso anche un movimento rotatorio. Per limitare il movimento rotatorio, possono essere installate in serie giranti controrotanti oppure è possibile utilizzare apposite alette raddrizzatrici a valle della girante che hanno anche lo scopo di trasformare questa componente della velocità in pressione statica.

Le prestazioni di un ventilatore assiale dipendono dal tipo di pala, dal profilo alare, dal numero di pale utilizzate, dalla superficie delle pale stesse, dall'angolo di calettamento.

La cassa è spesso flangiata e questo consente l'accoppiamento con canali circolari. Essendo il flusso d'aria assiale, sono idonei per il funzionamento "in-line". In termini prestazionali, i ventilatori assiali hanno in genere buone portate con pressioni statiche non eccessivamente elevate. Esistono però soluzioni costruttive che consentono di incrementare le pressioni statiche, utilizzando per

esempio più ventole come nel caso di ventilatori multistadio.

Invertendo il senso di rotazione della girante si ha l'inversione del senso del flusso d'aria; questo può essere utile in alcune tipologie di impianti dove al variare delle condizioni interne può essere necessaria l'immissione oppure l'estrazione di aria. In genere un ventilatore reversibile è progettato per ottimizzare il funzionamento nel convogliare aria in un senso: invertendo la rotazione il rendimento subisce una diminuzione, quindi anche la portata d'aria decresce.

Il campo di impiego di questi ventilatori spazia dall'ambito industriale a quello commerciale e residenziale.

Esecuzioni particolari li rendono idonei per applicazioni speciali: convogliamento di fluidi corrosivi, funzionamento ad alte temperature (con flusso biforcuto), funzionamento in locali con atmosfera potenzialmente esplosiva (con motore, giranti e pale anticintilla) ecc...

## VENTILATORI ELICOIDALI

Simili ai ventilatori assiali, i ventilatori elicoidali montano una girante a flusso assiale. La differenza tra un ventilatore elicoidale ed uno assiale consiste nella assenza della cassa, spesso sostituita da un boccaglio (fig. 2.10). Le prestazioni di questi ventilatori sono buone in termini di portata, ma con pressioni statiche limitate. In genere sono impiegati in assenza di condotto (funzionamento a bocca libera) o con canalizzazioni di lunghezza molto limitata. Nel funzionamento a bocca libera, l'aria, proveniente da tutte le direzioni, attraversa la girante e da qui prosegue in direzione

Fig. 2.10



quasi assiale.

Anche i ventilatori elicoidali, come i ventilatori assiali possono essere realizzati in versione reversibile.

Nell'impiantistica trovano impiego in ambito industriale (ventilazione di capannoni industriali) o commerciale (ventilazione di serre, stalle ecc...) fino al residenziale (estrazione di aria da bagni).

## VENTILATORI CENTRIFUGHI

Una girante centrifuga è costituita da un certo numero di pale posizionate lungo le direttrici di un cilindro messo in rotazione attorno al proprio asse. Oltre alla girante le altre componenti di un ventilatore centrifugo sono la coclea, un involucro a forma di chiocciola al cui interno ruota la girante e ovviamente il motore (fig. 2.11). La coclea ha in corrispondenza della parte centrale della girante una apertura (bocca di aspirazione).

Messa in rotazione, la girante, a causa delle forze aerodinamiche che si sviluppano, richiama aria nella sua parte centrale attraverso la bocca di aspirazione e convoglia questa aria radialmente. La coclea consente di indirizzare l'aria

Fig. 2.11



attraverso una bocca (di mandata) con moto “quasi” rettilineo.

La direzione dell'aria subisce quindi una deviazione di 90° tra la bocca di aspirazione e la bocca di mandata.

È possibile realizzare ventilatori a semplice aspirazione (con cioè una sola bocca di aspirazione) o a doppia aspirazione (in questo caso le bocche di aspirazione sono posizionate l'una opposta all'altra in corrispondenza delle basi del cilindro che forma l'involuppo della girante).

A seconda della forma delle pale possiamo distinguere i seguenti tipi di pala:

- pale diritte radiali
- pale in avanti (curvate cioè in direzione del senso di rotazione)
- pale rovesce (curvate all'indietro rispetto al senso di rotazione)

Ventilatori a pale diritte radiali hanno in genere modeste prestazioni. Trovano applicazione nel trattamento di aria particolarmente sporca, in quanto a causa della loro configurazione non consentono l'accumulo di sporcizia sulla girante; per questo vengono talvolta definiti

autopulenti.

I ventilatori a pala in avanti hanno prestazioni maggiori in termini di portata d'aria rispetto ad altri ventilatori centrifughi.

Ventilatori a pala rovescia sviluppano invece pressioni molto elevate.

Un ventilatore con girante a pale rovesce, ad alta efficienza, azionato da un motore direttamente accoppiato, quindi senza trasmissione cinghia-puleggia, prende comunemente il nome di Plug fan.. (Fig. 2.12)

Fig. 2.12



In generale, rispetto a ventilatori assiali ed elicoidali, a parità di portata i ventilatori centrifughi sviluppano pressioni statiche maggiori e questo li rende particolarmente idonei al funzionamento in impianti che prevedano una canalizzazione.

Contrariamente ai ventilatori assiali, i centrifughi non sono reversibili; invertendo cioè il senso di rotazione non si ha l'inversione del flusso d'aria.

## VENTILATORI A FLUSSO MISTO

Come il nome suggerisce, il ventilatore a flusso misto (o a impulso assiale) combina le caratteristiche di un ventilatore assiale con quelle di un ventilatore centrifugo, nonostante abbia un disegno più simile al convenzionale tipo assiale (fig. 2.13).

**Fig. 2.13**



Le pale sono fissate ad un mozzo conico. Il flusso d'aria entra in direzione assiale e viene espulso verso l'esterno con un angolo genericamente compreso tra 30° e 50° rispetto all'asse di rotazione.

La cassa, che contiene appositi deflettori, ha il compito di indirizzare il flusso in direzione assiale e solitamente è sagomata in modo da convertire l'energia cinetica in pressione statica utile.

In termini prestazionali sviluppano pressioni statiche maggiori rispetto ai ventilatori assiali e possono raggiungere livelli di rendimento simili a quelli di ventilatori centrifughi a pale rovesce, col vantaggio rispetto a questi di essere più compatti.

## VENTILATORI TANGENZIALI

La girante ha una forma simile a quella centrifuga a pale in avanti, ma solitamente è più allungata in senso assiale. Essa è messa in rotazione all'interno di una coclea, similmente alle giranti dei centrifughi (fig. 2.14).

Fig. 2.14



Il principio di funzionamento è però differente: l'aria infatti entra in direzione radiale da un lato della girante e viene scaricata dalla parte opposta. Il movimento dell'aria è causato da un vortice che si crea a seguito della rotazione della girante, che si sviluppa con asse parallelo all'asse della girante e posizionato vicino alla superficie del cilindro involuppo della girante stessa.

Questo tipo di ventilatore non trova molti impieghi nell'impiantistica. Vengono invece impiegati diffusamente in piccole apparecchiature quali unità interne di condizionatori (split), fan coils ecc...

## APPLICAZIONI

Fig. 2.14



A seconda dell'impiego previsto per il ventilatore occorre scegliere la corretta tipologia di girante. Ciascun modello infatti ha le proprie peculiarità, pertanto risulterà più idoneo a svolgere certi compiti rispetto ad un altro; inoltre al variare dei parametri

relativi all'aria da trattare ed all'ambiente in cui occorre inserire un ventilatore occorre operare un'oculata scelta della macchina.

## APPLICAZIONI SPECIALI

I ventilatori di ciascuna tipologia sopra descritta possono essere realizzati in esecuzioni speciali per impieghi particolari come:

- funzionamento ad alte temperature o funzionamento in emergenza, come i ventilatori impiegati per l'evacuazione di fumi in caso di incendio: in questo caso il motore non deve essere investito dal flusso dell'aria (come accade per i ventilatori assiali biforcati o per i ventilatori centrifughi con trasmissione a cinghia). Per temperature molto elevate occorre impiegare materiali di costruzione appositi quali acciai speciali.
- convogliamento di aria contenente contaminanti corrosivi: si devono proteggere le parti investite dal flusso dell'aria con pellicole, vernici protettive o trattamenti particolari. I ventilatori idonei per il funzionamento in ambienti acidi spesso hanno la struttura in materiale plastico.
- funzionamento in ambienti con rischio di esplosione: vengono denominati antideflagranti e per la loro costruzione sono impiegati materiali e accurately costruttive tali da non produrre scintille durante il funzionamento.

Altre esecuzioni particolari possono rendersi necessarie per incrementare la resistenza ad agenti atmosferici (pioggia, umidità, radiazione solare), per il convogliamento di aria contenente polvere abrasiva o per evitare la formazione di muffe od altro.

## VENTILATORI DOMESTICI

Sono ventilatori di piccola portata adatti all'estrazione di aria esausta da un ambiente (fig. 2.16).

Fig. 2.16



Prelevano direttamente l'aria dall'ambiente in cui sono installati e la convogliano all'esterno in maniera diretta o mediante una canalizzazione. Ne esistono sia con gruppi ventilanti elicoidali, idonei per scarico diretto all'esterno o canalizzazioni di lunghezza limitata, sia con gruppi ventilanti centrifughi, i quali avendo una prevalenza maggiore riescono a convogliare l'aria lungo canalizzazioni più estese.

Vengono utilizzati spesso per l'estrazione da locali quali bagni.

Possono essere dotati di dispositivi di funzionamento automatico (si attivano nel caso di superamento di una soglia stabilita di umidità, o di inquinamento dell'aria, o di presenza di persone nel locale e così via).

### TORRINI

Il torrino è un ventilatore che provvede all'estrazione dell'aria da tetto (fig. 2.17).

È costruito in maniera da poter essere applicato all'esterno.

Può essere installato per funzionamento a

bocca libera, aspirando aria direttamente dall'ambiente ed espellendola all'esterno in direzione radiale o verticale a seconda della tipologia della macchina.

Fig. 2.17



La girante è spesso di tipo centrifugo a scarico radiale, ma esistono anche torrini con girante assiale (che consentono anche l'inversione del flusso e quindi l'immissione di aria in ambiente) o con girante a flusso misto; nella versione con girante centrifuga o a flusso misto è possibile raccordare il torrino ad una canalizzazione per l'estrazione dell'aria prelevata dall'ambiente.

### IN-LINE

Un ventilatore in-line è studiato per essere posizionato lungo una condotta d'aria (fig. 2.18).

Ne esistono con giranti centrifughe, assiali ed a flusso misto.

A parità di diametro delle bocche di aspirazione ed espulsione e a parità di portata d'aria, il centrifugo risulta il ventilatore con maggiore pressione statica, seguito da quello a flusso misto ed infine dall'assiale. In termini di ingombro, il più compatto risulta essere l'assiale, seguito dal ventilatore a flusso

misto mentre il centrifugo ha dimensioni maggiori.

Anche la rumorosità è solitamente maggiore in un centrifugo.

I ventilatori in-line hanno il vantaggio di poter essere inseriti facilmente in una qualsiasi posizione lungo la canalizzazione e per questo motivo sono molto impiegati nell'impiantistica.

**Fig. 2.18**



fungono da plenum per i ventilatori contenuti all'interno.

I più comuni montano all'interno gruppi ventilanti centrifughi a coclea, ma ne esistono anche con gruppi centrifughi o a flusso misto senza coclea: in tal caso la cassa verrà conformata internamente per consentire l'indirizzamento del flusso dell'aria ed il recupero di parte dell'energia cinetica in pressione statica. L'impiego di questa tipologia di ventilatori (plug fan) consente di ottenere prodotti molto più performanti dal punto di vista delle prestazioni specifiche (consumi elettrici più contenuti) e molto ben regolabili.

## VENTILATORI CASSONATI

**Fig. 2.19**



Sono ventilatori posizionati all'interno di appositi involucri (tipicamente a forma di parallelepipedo) che oltre ad avere la funzione antinfortunistica e di protezione del ventilatore da agenti atmosferici, isolano acusticamente la macchina e

### CENTRALI DI TRATTAMENTO ARIA

Sono macchine per la ventilazione costituite da più sezioni che consentono non solo di provvedere alla portata dell'aria ma anche di trattare l'aria stessa (fig. 2.20). È possibile quindi avere centrali di trattamento aria con sezioni di filtrazione, di riscaldamento, di raffreddamento, di umidificazione o deumidificazione, recupero calore ecc. Possono essere macchine che provvedono alla sola immissione o estrazione dell'aria (in questo caso montano un solo ventilatore) o a doppio flusso, provvedendo sia all'immissione che all'estrazione (in questo caso ci saranno a bordo due ventilatori). Possono provvedere anche al parziale ricircolo dell'aria. Vengono utilizzate prevalentemente in grandi impianti.

### RECUPERATORI DI CALORE

Sono macchine a doppio flusso, provvedono cioè all'immissione e all'estrazione dell'aria dagli ambienti da trattare (fig. 2.21). Consentono di recuperare energia dal flusso dell'aria esausta e di cedere tale energia al flusso dell'aria di rinnovo, permettendo un significativo risparmio energetico.

Ne esistono di varie taglie, consentendo

l'applicazione sia in ambito residenziale che commerciale e perfino industriale.

Montano solitamente a bordo dei filtri e spesso delle batterie di riscaldamento o di raffreddamento.

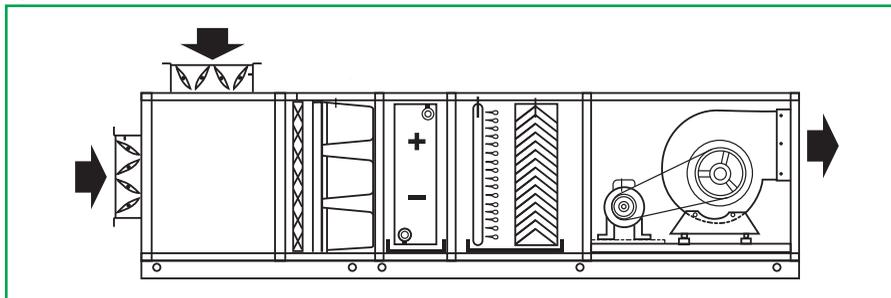
Possono essere anche corredate di un circuito frigorifero in pompa di calore diventando in tale maniera unità autonome per il trattamento di aria primaria. In questo modo il vantaggio di carattere energetico si somma alla compattezza e alla semplicità impiantistica.

Approfondiremo il discorso relativo alle macchine per recupero energetico nel capitolo successivo.

Fig. 2.21



Fig. 2.20



## SCELTA DI UN VENTILATORE

Per scegliere il ventilatore adatto ad una rete di condotti è necessario stabilire due dati essenziali:

- la portata d'aria necessaria
- la pressione che il ventilatore dovrà sviluppare per vincere le resistenze del circuito aeraulico.

Fissata la portata d'aria in dipendenza delle reali esigenze dell'ambiente da ventilare, occorre calcolare le perdite di carico della rete di canalizzazioni o più in generale del circuito aeraulico.

Tali perdite sono in funzione della portata dell'aria e della geometria degli elementi componenti il circuito.

### PRESSIONE TOTALE

È la pressione generata dal ventilatore per mettere in movimento l'aria e vincere la resistenza che si oppone a tale movimento.

$$PT = PS + PD \text{ (Pa)}$$

Nel seguito si descriveranno brevemente entrambe, ricordando però che nella selezione di un ventilatore il parametro fondamentale è la pressione statica.

Occorre quindi prestare attenzione, nella scelta del ventilatore a considerare la pressione statica PS e non la pressione totale PT.

### PRESSIONE DINAMICA

L'aria, così come tutti i fluidi in movimento, esercita una certa pressione contro gli ostacoli che incontra lungo il suo percorso; è quello che si sperimenta mettendo una mano davanti ad un ventilatore: all'aumentare della velocità di rotazione

(e quindi all'aumentare della portata d'aria) percepiamo una forza crescente applicata alla nostra mano.

La pressione dinamica è quella legata al movimento dell'aria e viene definita come:

$$PD = \frac{1}{2} \rho v^2$$

Dove:

PD è la pressione dinamica (Pa)

$\rho$  è la densità dell'aria (1,225 kg/m<sup>3</sup> in condizioni standard a livello del mare)

v è la velocità dell'aria (m/s).

### PRESSIONE STATICA

È la pressione che mantiene il moto dell'aria opponendosi alla resistenza causata dagli attriti di tubazioni e dalla presenza di ostacoli.

È definita come:

$$PS = PO - PA$$

Dove:

PS è la pressione statica (Pa)

PO è la pressione assoluta nel punto considerato (Pa)

PA è la pressione atmosferica barometrica (Pa).

Consideriamo una canalizzazione di grande sezione percorsa da una certa quantità d'aria che fluisce liberamente; se aggiungiamo un diaframma che ne riduce la sezione libera di passaggio aumenta la resistenza del condotto, la portata diminuisce e si crea a monte del diaframma una certa pressione all'interno del condotto. Questa pressione, non legata alla velocità dell'aria è chiamata pressione statica.

## CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

Per stabilire quale pressione statica debba sviluppare il ventilatore per garantire la portata d'aria richiesta occorre considerare tutti gli elementi componenti il circuito aeraulico che possono introdurre perdite di carico cioè riduzioni di pressione.

Le perdite di carico sono espresse nel Sistema Internazionale in Pa.

Gli elementi da considerare sono quindi:

- perdite all'entrata del sistema
- perdite dovute all'attrito nei condotti
- perdite provocate da variazioni di sezione
- perdite create da cambiamenti di direzione
- perdite causate dalla divisione del flusso in diversi rami
- perdite dovute ad ostruzioni, griglie, diffusori
- perdite provocate dai filtri
- perdite generate da batterie di scambio termico
- perdite all'uscita del sistema

### PERDITE DI CARICO NEI CONDOTTI

Anche una canalizzazione rettilinea di breve lunghezza a sezione costante rappresenta una resistenza al flusso dell'aria a causa dell'attrito tra l'aria in movimento e le pareti interne della canalizzazione. Le perdite di carico risultano tanto più elevate quanto più alta è la velocità dell'aria (proporzionalmente al quadrato della velocità) e quanto più rugose sono le superfici della canalizzazione.

Visto che portata volumetrica e velocità sono legate dalla relazione:

$$v = Q / A$$

dove:

$v$  = velocità media nel condotto (m/s)

$Q$  = portata d'aria (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = sezione del condotto (m<sup>2</sup>)

si ottiene che a parità di portata le perdite di carico crescono al diminuire della sezione: dimezzando la sezione le perdite di carico quadruplicano.

Per tenere conto della diversa rugosità dei canali, si introduce un fattore moltiplicativo  $K$ , tanto più elevato quanto meno lisce sono le pareti.

Le perdite di carico nel caso di un breve tratto di condotto rettilineo risultano essere:

$$\Delta P = K * \frac{1}{2} \rho v^2 = K * \frac{1}{2} \rho (Q/A)^2$$

dove  $\rho$  la densità media dell'aria,  $v$  la velocità media dell'aria.

Per canali circolari di lunghezza  $L$  e diametro  $D$  possiamo considerare:

$$K = f * (L/D)$$

Per canali rettangolari di lunghezza  $L$  e sezione  $a \times b$  avremo:

$$K = f * L/D_h$$

$D_h = 2 * (a * b) / (a + b)$  = diametro idraulico.

$f$  rappresenta il fattore di attrito. Esso varia in funzione delle proprietà dell'aria, della velocità, delle dimensioni del condotto e dell'effettiva rugosità delle pareti.

Ecco alcuni esempi di valore del coefficiente di correzione  $K$  delle perdite di pressione in funzione del materiale di costruzione dei condotti.

TIPOLOGIA DI CONDOTTO	COEFFICIENTE DI CORREZIONE K
Lamiera zincata con giunti ogni 1,2 m	1,00
Lamiera zincata con lavorazione molto accurata	0,90
Lamiera zincata senza giunti	0,95
Alluminio	0,90
Legno liscio o masonite	1,30
Eternit	1,50
Muratura lisciata	1,55
Intonaco civile	1,75

### PERDITE DI CARICO ACCIDENTALI

Il calcolo delle perdite di carico accidentali, dovute cioè a variazioni di sezione delle condotte, alle curve, alle biforcazioni e all'ingresso e uscita dal condotto, viene effettuato tramite un fattore di perdita K della pressione dinamica:

$$\Delta P = K * \frac{1}{2} \rho v^2$$

TIPOLOGIA	COEFFICIENTE DI CORREZIONE K	NOTE
Ingresso in tubazione	Da 0,10 a 1,25	Valori minori per ingressi con invito, maggiori per ingressi senza invito
Uscita dal condotto	1,00	
Curve a 90° a segmenti rettilinei in canalizzazioni circolari o rettangolari	Da 0,20 a 1,30	K diminuisce all'aumentare del numero di segmenti e all'aumentare del rapporto tra raggio di curvatura e diametro (idraulico) del condotto
Curve a 90° in canalizzazioni circolari o rettangolari	Da 0,10 a 1,00	K diminuisce all'aumentare del rapporto tra raggio di curvatura e diametro (idraulico) del condotto
Giunto a 90° in canalizzazione rettangolare con un'aletta deflettoria curva interna	Da 0,80 a 1,40	Valori bassi di K si hanno per valori di R/W pari a 0,5 (R=raggio curvatura deflettore, W=larghezza tubazione)
Curve a 90° in canalizzazioni rettangolari con alette deflettrici interne	0,3	

Curve a 90° in canalizzazioni circolari con alette deflettrici interne	Da 0,10 a 0,50	K diminuisce all'aumentare del raggio di curvatura
Curve a 45°	Da 0,50 a 0,70	
Biforcazione a T	1,40	K varia in funzione della ripartizione delle portate
Biforcazione ad Y	Da 0,10 a 1,00	K varia in funzione della ripartizione tra le portate e dell'angolo tra le uscite e l'ingresso
Diminuzione di sezione con diffusore (angolo diffusore tra 15 e 45°)	0,10	
Aumento di sezione con diffusore (fino a 45°)	Da 0,15 a 0,90	Valori maggiori per angoli maggiori
Diminuzione di sezione senza diffusore	Da 0,10 a 0,45	In funzione del rapporto tra le superfici delle sezioni
Aumento di sezione senza diffusore	Da 0,10 a 1,00	In funzione del rapporto tra le superfici delle sezioni

In generale le perdite di carico risultano quindi maggiori quando si ha una brusca variazione di sezione o un cambio brusco di direzione. Per ottenere valori migliori (più bassi) di K e quindi minori perdite di carico risulta quindi utile progettare le canalizzazioni in modo che le curve siano dolci, vi siano modeste variazioni nelle sezioni; l'impiego di alette deflettrici nelle curve abbatte di molto le perdite di carico. Data la proporzionalità diretta alla pressione dinamica e quindi al quadrato della velocità media dell'aria, l'utilizzo di canali a sezione maggiore abbatte in maniera significativa le perdite di carico.

### PERDITE DI CARICO NEI COMPONENTI D'IMPIANTO

Altri elementi che comportano una resistenza nel circuito aerulico sono componenti dell'impianto stesso quali i filtri, le batterie di scambio termico e i terminali di distribuzione.

Le perdite di carico di tali componenti

sono dichiarate dai costruttori.

Per i filtri non basta conoscere la perdita di carico a filtro pulito; durante l'utilizzo infatti la perdita di carico del filtro aumenta a causa della parziale occlusione della sezione di passaggio dovuta al fatto che il filtro trattiene le impurità presenti nell'aria che lo attraversa e che sono indesiderate in ambiente. Le case costruttrici consigliano una perdita di carico limite oltre la quale occorre pulire o sostituire il filtro.

Una volta stabilito quale ventilatore impiegare in un determinato impianto (tipologia, portata d'aria, pressione statica utile) occorre prestare attenzione alla rumorosità introdotta in ambiente dallo stesso e alla qualità dell'aria di rinnovo; nei prossimi paragrafi si accennerà alle problematiche legate al rumore, all'abbattimento dello stesso ed alla filtrazione dell'aria immessa nei locali interni.

## IL SILENZIATORE E IL RUMORE

### IL RUMORE

Fig. 2.22



Il problema del rumore negli ambienti ha assunto livelli di elevata importanza. È accertato l'impatto che il rumore può avere sugli occupanti un ambiente rumoroso: dal fastidio al disturbo della concentrazione fino a danni uditivi. Il suono è percepibile quando la pressione in prossimità dell'orecchio fluttua al di sopra e al di sotto della pressione barometrica ad una frequenza compresa tra i 20 e i 20000 Hz. La minima pressione sonora che il nostro orecchio è in grado di udire, ovvero la soglia di udibilità, è pari a 0,00002 Pa. La soglia del dolore è invece di 63,2 Pa. Per praticità si è

pensato di introdurre delle misurazioni su scala logaritmica espresse in decibel. Il decibel è una particolare unità di misura adimensionale, definita sulla base del modo di esprimere la misura stessa. È da sottolineare che esistono diverse definizioni di potenza sonora e pressione sonora.

Definizioni comunemente accettate sono:

Potenza sonora:

$$L_w = 10 \cdot \text{Log}(W/W_0)$$

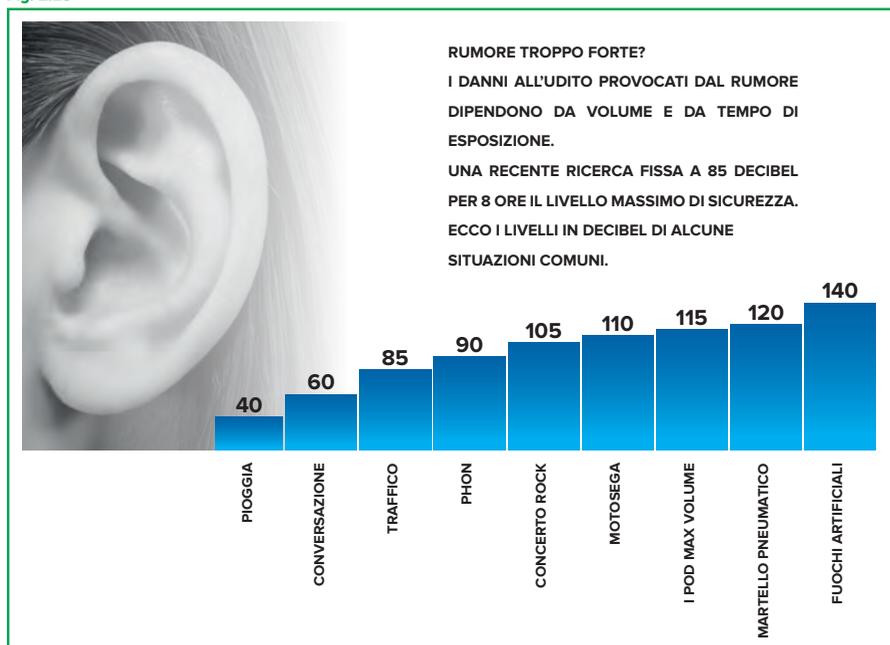
Dove Log è il logaritmo in base 10

**W** è la potenza dell'emissione sonora misurata in Watt

**W<sub>0</sub>** è la potenza di riferimento pari a  $10 \cdot \text{exp}(-12)$  W.

**L<sub>w</sub>** è espresso in decibel (dB)

Fig. 2.23



Pressione sonora:

$$L_p = 10 \cdot \text{Log}(P/P_0)$$

dove **Log** è il logaritmo in base 10

**P** è la pressione dell'emissione sonora misurata in Pa

**P0** è la pressione di riferimento pari a 20 µPa (soglia di udibilità)

**Lp** è espresso in decibel (dB)

In letteratura si trova a volte la seguente definizione per la pressione sonora:

$$L_p = 10 \cdot \text{Log}[(P/P_0)^2] = 20 \cdot \text{Log}(P/P_0)$$

Si noti che essendo il decibel espresso in scala logaritmica, posizionando due identiche sorgenti di rumore vicine e misurando per esempio la potenza sonora, si ottiene un valore corrispondente a quello causato da una sola sorgente incrementato di 3 dB; infatti:

$$L_{w2} = 10 \cdot \text{Log}(2W/W_0) = 10 \cdot \text{Log} 2 + 10 \cdot \text{Log}(W/W_0) = 3 + L_w$$

Mentre la potenza sonora esprime un valore assoluto, la pressione sonora dipende da fattori quali la distanza della fonte di rumore, l'orientamento dell'osservatore rispetto alla fonte, l'ambiente in cui viene effettuata la misurazione ecc.

Il livello di rumorosità espresso in potenza oppure in pressione sonora non basta

però a caratterizzare l'emissione sonora; l'orecchio umano infatti è sensibile in maniera differente a rumorosità emesse a frequenze diverse. La misurazione quindi viene effettuata a tutte le frequenze udibili. Per praticità si è diviso lo spettro sonoro udibile in fasce denominate bande d'ottava.

Le bande centrate attorno alle frequenze 16, 31,5, 63, 8000, 16000 sono soggette a incertezza nella misurazione e talvolta vengono trascurate senza compromettere i risultati del calcolo acustico.

Le misurazioni effettuate in ogni singola banda d'ottava vengono corrette per tener conto delle diverse reazioni dell'orecchio umano a suoni di analoga intensità ma differente frequenza. A seconda della ponderazione introdotta si avranno quindi livelli di rumorosità espressi in dBA, dBB, dBC, dBD.

Il filtro maggiormente utilizzato è il dBA, corrispondente alla curva isofonica a 40 phons dell'orecchio umano; che consente misurazioni precise di pressioni e potenze sonore modeste.

Sommando logaritmicamente i valori di rumorosità delle singole bande d'ottava così corretti si ottengono i valori globali. In tabella alcuni esempi di valori tipici del rumore espressi in pressione sonora.

FREQUENZA CENTRALE (HZ)	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
INTERVALLO FREQUENZE (HZ)	11 -22	22 -44	44 -88	88 -177	177 -355	355 -710	710 -1420	1420 -2840	2840 -5680	5680 -11360	11360 -22720



ESEMPIO DI CAUSA	LIVELLO DI PRESSIONE SONORA LP (DB)	PERCEZIONE UMANA
Soglia dell'udibile	0	
Rumore in uno studio professionale, fruscio delle foglie	20	Calma
Bisbiglio, camera da letto silenziosa di notte	30	
Biblioteca	40	
Musica a rumore basso, ristoranti tranquilli, strada tranquilla, casa di giorno	50	Intrusione nella privacy
Uffici, conversazione normale	60	
Ristorante, uffici rumorosi, autostrada, aspirapolvere a 1 m	70	Difficoltà ad utilizzare un telefono
Asciugacapelli, sveglia a 60 cm	80	Fastidioso
Veicolo pesante a 10 m	90	
Petardi, discoteca	100	Molto fastidioso. Occorre utilizzare protezioni
Concerto rock	110	
Clacson a 1 m	120	Doloroso
Tuono	130	
Sirena antiaerea, jet al decollo a 30 m	140	Danni all'udito
Razzo al decollo	180	

I valori di pressione e potenza sonora non sono da confondere tra di loro: mentre la potenza sonora è un valore assoluto, dipende cioè solo dalla potenza (espressa in W) generata da una sorgente acustica, la pressione, come abbiamo visto, è un valore relativo. Occorre quindi prestare attenzione quando si comparano valori di pressione e potenza sonora.

In base alle definizioni date, riferendosi ad una sorgente puntiforme che irradia rumore uniformemente in tutte le direzioni, i valori della pressione sonora diminuiscono notevolmente all'aumentare della distanza tra sorgente e osservatore

(raddoppiando la distanza i valori di Lp diminuiscono di 6 dB), mentre ovviamente i valori della potenza sonora rimangono invariati; i valori Lp e Lw misurati sono circa uguali attorno ai 30 cm mentre a 3 m il valore di Lp è già inferiore di 20 dB rispetto a Lw.

## L'ABBATTIMENTO DEL RUMORE

Una delle preoccupazioni sia del progettista che degli occupanti di un edificio in cui è presente un impianto di ventilazione meccanica è il comfort acustico.

L'impianto di ventilazione è spesso realizzato per evitare l'apertura delle finestre e quindi isolare l'edificio dal rumore esterno.

L'impianto di ventilazione però, se non accuratamente studiato e realizzato, può essere fonte di rumore.

Tipicamente il rumore è prodotto dal funzionamento del ventilatore e dal movimento dell'aria all'interno delle tubazioni, oltre che dalle bocchette e dai diffusori dell'aria in ambiente.

La scelta del posizionamento dell'unità ventilante condiziona la rumorosità trasmessa all'interno degli ambienti. Qualora non fosse possibile installare le unità ventilanti all'esterno, occorre posizionarle lontano da locali quali camere da letto, sale riunioni ecc. Possono invece ospitare i ventilatori locali tecnici, ripostigli o lavanderie.

L'impiego di materiali fonoassorbenti può limitare la rumorosità emessa dall'unità ventilante, come pure l'utilizzo di staffaggi antivibranti limita la trasmissione di vibrazioni dalla macchina alla struttura dell'edificio.

Per evitare che si generi rumorosità all'interno delle tubazioni, la velocità dell'aria

deve essere contenuta (3-5 m/s),

Per i terminali di distribuzione la velocità massima è bene sia inferiore a 0,3 m/s.

Nonostante tutto però è a volte necessario abbattere ulteriormente la rumorosità; a tale scopo possono essere molto utili i silenziatori da posizionare lungo la canalizzazione; l'aria, attraversando il silenziatore, rimbalza contro le pareti interne di materiale fonoassorbente e di conseguenza il suono viene smorzato.

Esistono varie tipologie di silenziatori (fig. 2.24):

- a sezione circolare con o senza ogiva, sono costituiti da una carcassa cilindrica contenente un materassino di materiale fonoassorbente; forniscono in genere moderate attenuazioni acustiche
- a sezione rettangolare con setti, specialmente impiegati in impianti commerciali o industriali, sono più performanti. Solitamente sono costituiti da una cassa a sezione rettangolare al cui interno vengono alloggiati uno o più setti contenenti il materiale fonoassorbente. Per ridurre efficacemente le basse frequenze si usa rivestire con un lamierino metà della superficie del setto.

Fig. 2.24 silenziatore circolare, silenziatore circolare con ogiva e silenziatore rettangolare a setti



## FILTRI E FILTRAZIONE

Oltre che a provvedere al ricambio dell'aria, l'impianto aeraulico deve garantire il raggiungimento di un livello consono di qualità dell'aria interna. Utili a tale scopo sono le sezioni filtranti.

Esistono diverse tipologie di filtri per l'aria; i più utilizzati sono i filtri ad azione meccanica, costituiti da un media filtrante che, attraversato dall'aria, trattiene le impurità presenti in essa. In genere sono costituiti da un telaio (in lamiera zincata o materiale plastico) che supporta il media filtrante (in fibra sintetica, poliestere, fibra di vetro ecc) tramite una rete di protezione posta su entrambi i lati della stessa. Ne esistono a celle piane, ondulate, a tasche. I filtri a tasche offrono il vantaggio di avere una superficie filtrante maggiore (a parità di dimensioni di telaio) rispetto alle celle piane.

Per trattenere particelle di grasso si utilizzano filtri con media filtrante in metallo.

Per l'adsorbimento di odori e gas organici vengono impiegati filtri a carboni attivi.

Filtri elettrostatici sono indicati contro il

fumo di tabacco.

Per i filtri per ventilazione generale, l'efficienza viene indicata tramite le varie classi di filtrazione: in particolare la norma **EN 779** classifica i filtri per polvere grossolana (G) in base al valore dell'efficienza ponderale (arrestanza) ed i filtri per polveri fini (F) in base al valore di efficienza media in numero ricavata da test nei confronti di particelle di  $0,4 \mu\text{m}$  di diametro.

La **UNI 10339** classifica i filtri in base ad un numero da 1 a 14 suddividendo in filtri a media efficienza (M), ad alta efficienza (A) e ad altissima efficienza (AS).

Fig. 2.25



Classe (EN 779)	Efficienza media ponderale (Am%)	Efficienza media per particelle di $0,4 \mu\text{m}$ (Em%)	Efficienza con metodo di prova "fiamma di sodio" (E%)	Caduta di pressione finale (Pa)	Classe (UNI 10339)	Efficienza di filtrazione
G1	$50 \leq Am < 65$			250	1	M
G2	$65 \leq Am < 80$			250	2	M
G3	$80 \leq Am < 90$			250	3	M
G4	$Am \geq 90$			250	4	M
M5		$40 \leq Em < 60$		450	5	A
M6		$60 \leq Em < 80$		450	6	A
F7		$80 \leq Em < 90$		450	7	A
F8		$90 \leq Em < 95$		450	8	A
F9		$Em \geq 95$		450	9	A
			$95 \leq E < 99,9$		10	AS
			$99,9 \leq E < 99,97$		11	AS
			$99,97 \leq E < 99,99$		12	AS
			$99,99 \leq E < 99,999$		13	AS
			$E \geq 99,999$		14	AS

Ogni filtro avente una data efficienza di filtrazione deve essere preceduto d un filtro avente efficienza compresa nella categoria precedente; si possono quindi avere tre casi:

**M**

**M + A**

**M + A + AS.**

La **UNI 10339** prescrive classi di filtri ed efficienza di filtrazione diverse a seconda delle categorie di edifici:

CLASSIFICAZIONE DEGLI EDIFICI PER CATEGORIE	CLASSE DI FILTRI MIN MAX		EFFICIENZA DI FILTRAZIONE
Abitazioni civili	4	7	M, M+A
Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi	4	7	M, M+A
Alberghi, pensioni	5	7	M+A
Uffici in genere	5	7	M+A
Locali riunione	5	7	M+A
Centri elaborazione dati	6	9	M+A
Degenze ospedaliere (2-3 letti)	6	8	M+A
Corsie ospedaliere	6	8	M+A
Camere sterili e infettivi	10	11	M+A+AS
Reparti maternità, anestesia, radiazioni	10	11	M+A+AS
Reparti prematuri, sale operatorie	10	12	M+A+AS
Reparto visite mediche	6	8	M+A
Ospedali: soggiorni e terapie fisiche	6	8	M+A
Cinematografi, teatri, sale congressi	5	6	M+A
Musei, biblioteche	7	9	M+A
Luoghi di culto	4	6	M, M+A
Bar in genere	3	5	M, M+A
Sale pranzo ristoranti	5	6	M+A
Sale da ballo	3	5	M, M+A
Cucine (bar, ristoranti)	2	4	M
Grandi magazzini	4	6	M, M+A
Negozi in genere	4	6	M, M+A
Negozi di alimentari	5	6	M+A
Negozi di fotografia	5	6	M+A
Farmacie	5	6	M+A
Zona pubblico banche	4	6	M, M+A
Quartieri fieristici	2	3	M
Piscine, saune ed assimilabili	4	6	M, M+A
Palestre ed assimilabili	2	4	M
Scuole materne ed elementari	7	9	M+A
Aule scolastiche in genere	5	6	M+A
Aule scolastiche di musica e lingue	6	7	M+A
Laboratori scolastici	6	7	M+A

La **UNI 13779:2005** lega l'efficienza di filtrazione da adottare per ottenere una data qualità di aria interna (IDA) alla qualità dell'aria esterna (ODA):

QUALITÀ ARIA ESTERNA	QUALITÀ ARIA INTERNA			
	IDA 1 (ALTA)	IDA 2 (MEDIA)	IDA 3 (MODERATA)	IDA 4 (BASSA)
ODA 1 (aria pura)	F9	F8	F7	F6
ODA 2 (alta concentrazione di sostanze particolate)	F7/F9	F6/F8	F5/F7	G4/F6
ODA 3 (alta concentrazione di inquinanti gassosi)	F7/F9	F8	F7	F6
ODA 4 (alta concentrazione di inquinanti polverosi e gassosi)	F7/F9	F6/F8	F6/F7	G4/F6
ODA 5 (altissima concentrazione di inquinanti polverosi e gassosi)	F6/GF/F9	F6/GF/F9	F6/F7	G4/F6

GF = Gas filter (filtro a carboni attivi) e/o filtri chimici

La nuova UNI 10339 dovrebbe indicare anch'essa il dimensionamento dei filtri differenziato in base al grado di inquinamento dell'aria esterna su una scala di tre livelli e al livello della qualità dell'aria interna desiderato.

Le nuove norme della serie **ISO 16890** saranno nei prossimi anni l'unico riferimento per la filtrazione; esse permetteranno di capire l'efficienza di rimozione (in %) di un particolare tipo di particolato (PM1, PM2,5 e PM10); verranno abolite le tradizionali classi G, M, F.

È riportata di seguito la tabella indicante i gruppi di filtri considerati dalla normativa. È necessario ricordare che con l'utilizzo prolungato i filtri si intasano, aumentando le perdite di carico del circuito aerulico;

occorre pertanto provvedere alla periodica manutenzione e alla sostituzione dei filtri quando essi siano esausti.

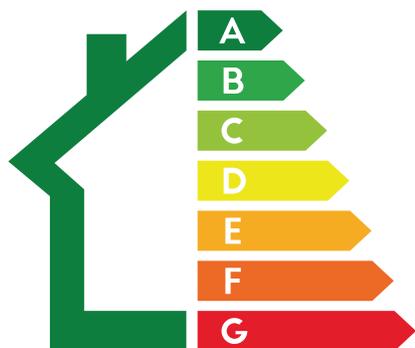
Sono stati illustrati in questo capitolo vantaggi e svantaggi delle varie tipologie di impianti di ventilazione; si è discusso della rumorosità introdotta dall'impiego dei ventilatori, della necessità di limitarla e della filtrazione come metodo per tenere sotto controllo gli agenti inquinanti nell'aria di rinnovo. Ne risulta che la ventilazione meccanica a doppio flusso è il metodo migliore per ricambiare l'aria all'interno dei locali, in particolare se abbinati ad un sistema di recupero di calore.

Nel prossimo capitolo prenderemo in esame le macchine che realizzano il recupero energetico.

GROUP DESIGNATION	REQUIREMENT			Class reporting value
	ePM <sub>1min</sub>	ePM <sub>2,5min</sub>	ePM <sub>10</sub>	
ISO Coarse	—	—	<50%	Initial grav. arrestance
ISO ePM10	—	—	≥50%	ePM <sub>10</sub>
ISO ePM2,5	—	≥50%	—	ePM <sub>2,5</sub>
ISO ePM1	≥50%	—	—	ePM <sub>1</sub>

## RECUPERATORI DI CALORE ARIA - ARIA

Fig. 3.01



Sempre più spesso l'esigenza del mercato è di garantire il miglioramento del comfort ambientale nei locali chiusi. A tal fine è utile provvedere al ricambio dell'aria. La semplice operazione dell'apertura delle finestre realizza sì il ricambio dell'aria ma l'aria di rinnovo può a volte contenere sostanze inquinanti che pregiudicano il buon esito dell'operazione. Per evitare tale inconveniente o almeno ridurre sensibilmente gli inquinanti introdotti si può ventilare meccanicamente gli ambienti, filtrando in maniera opportuna l'aria di rinnovo. La tendenza degli ultimi anni porta a realizzare impianti di ventilazione canalizzata per il ricambio dell'aria e la filtrazione della stessa.

La realizzazione di un impianto canalizzato ha sia un costo di installazione che un costo di gestione.

Un semplice ricambio dell'aria che preveda un sistema di canalizzazione per l'immissione di aria opportunamente

filtrata e l'estrazione dell'aria viziata può risultare costoso sia dal punto di vista della installazione che dal punto di vista della gestione, contemplando intrinsecamente sprechi energetici (l'aria viziata è stata trattata termicamente per ottenere le condizioni di comfort in ambiente!).

Fig. 3.02



Una via per ridurre i costi di gestione è quella del **RECUPERO ENERGETICO**, attraverso sistemi che recuperano l'energia termica contenuta nell'aria

esausta che viene espulsa all'esterno (e che quindi va persa) e la trasferiscono all'aria di rinnovo a costo zero (fatti salvi i costi di installazione, manutenzione e ventilazione per le perdite di carico aggiuntive).

I recuperatori di calore (o meglio recuperatori energetici) svolgono proprio questa funzione: trasferiscono parte dell'energia del flusso d'aria espulso e la re-immettono in ambiente tramite il flusso di rinnovo, garantendo nel contempo il ricambio dell'aria e la filtrazione.

## RECUPERATORI DI CALORE

Un recuperatore di calore è una unità ventilante a doppio flusso, provvede cioè alla immissione nell'ambiente da trattare di aria "pulita" e contemporaneamente all'estrazione dall'ambiente stesso dell'aria viziata. I due flussi scambiano calore all'interno della macchina stessa (o meglio all'interno del cuore della macchina stessa, lo scambiatore) così che il flusso più caldo cede parte della sua energia termica a quello più freddo (fig. 3.03).

Nella sua configurazione tipo il recuperatore energetico non è un generatore di calore né un refrigeratore d'aria, pertanto deve essere utilizzato ad integrazione di un impianto di riscaldamento e/o climatizzazione.

La macchina è costituita principalmente dai seguenti componenti:

**Involucro** - oltre ad avere la funzione di alloggiare i vari componenti della macchina provvede ad isolare acusticamente la stessa; può essere realizzato in lamiera zincata, lamiera plastofilmata, in semplice o doppia pannellatura o materiali plastici. All'interno può essere applicato un isolante acustico al fine di diminuire la rumorosità irradiata.

**Ventilatori** - impongono il movimento all'aria: sono presenti un ventilatore di immissione (flusso dall'esterno del locale

verso l'interno) ed un ventilatore di espulsione (flusso dall'interno del locale verso l'esterno).

**Scambiatore di calore** - è il cuore del recuperatore. È qui che avviene lo scambio termico tra i flussi di immissione e di espulsione. Esistono varie tipologie di pacco di scambio (si veda più avanti "classificazione").

**Filtri** - all'interno della macchina sono solitamente inseriti dei filtri che hanno lo scopo di proteggere i motori dei ventilatori da eventuale pulviscolo, ma soprattutto di filtrare l'aria sia immessa che espulsa.

### CLASSIFICAZIONE dei recuperatori di calore:

I recuperatori di calore si possono classificare secondo vari criteri.

Un primo criterio è quello che distingue la **MODALITÀ DI RECUPERO**.

In questo caso distingueremo tra:

**RECUPERATORI STATICI** – scambiatori recuperativi

**RECUPERATORI DINAMICI** – scambiatori rigenerativi.

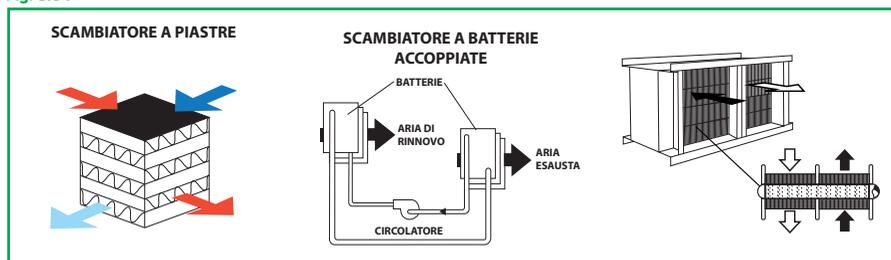
Fig. 3.03



### RECUPERATORI STATICI

Negli scambiatori di questa tipologia, lo scambio termico avviene tra i due flussi d'aria che lambiscono una parete che li separa e attraverso cui viene scambiato calore. I due flussi non vengono a contatto fisicamente tra di loro. Esempi di recuperatori statici sono scambiatori di calore a piastre, batterie accoppiate, scambiatori a tubi... (fig. 3.04).

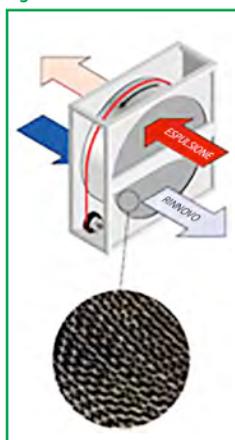
Fig. 3.04



### RECUPERATORI DINAMICI

Negli scambiatori di questo tipo i due flussi d'aria vengono messi alternativamente a contatto con un elemento dotato di capacità termica: è tale elemento che trasmette il calore da un flusso all'altro riscaldandosi a contatto con il flusso più caldo e raffreddandosi a contatto con il flusso più freddo. Esempi di recuperatori dinamici sono i recuperatori rotativi, le ruote entalpiche... (fig. 3.05).

Fig. 3.05



Un altro criterio di classificazione è quello che si basa sul TIPO DI RECUPERO, vale a dire se si ha recupero della sola parte sensibile del calore o an-

che di quella latente.

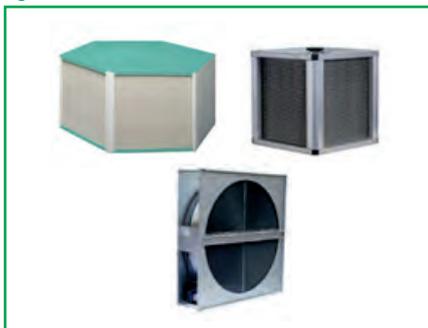
Si hanno in tale caso:

- **RECUPERATORI SENSIBILI** (recupero della sola parte sensibile del calore)
- **RECUPERATORI ENTALPICI O TOTALI** (recupero della parte sensibile e di quella latente del calore)

### RECUPERATORI SENSIBILI

In tali recuperatori i due flussi d'aria non vengono a contatto diretto tra di loro; lo scambio termico avviene solo in base alla differenza di temperatura dei due flussi che lambiscono le pareti dello scambiatore. Esempi di questa tipologia sono gli scambiatori con pacchi di scambio in metallo o PVC a flussi incrociati o in controcorrente o rotativi (in alluminio) (fig. 3.06).

Fig. 3.06



## RECUPERATORI TOTALI

Nelle macchine a recupero entalpico o totale lo scambiatore è in grado di trasmettere anche il carico latente da un flusso d'aria all'altro tramite trasferimento di vapore.

Questo avviene attraverso il particolare materiale con cui è costruito lo scambiatore: speciale carta impregnata o particolari materiali metallici lavorati in modo da rendere la superficie rugosa, materiali polimerici, silica gel, zeolite, allumina (fig. 3.07).

Fig. 3.07



## I VANTAGGI DELLE UNITÀ DI RECUPERO CALORE

- sono unità a doppio flusso, quindi rinnovano l'aria ambiente.
- grazie ai filtri a bordo macchina vengono tenuti sotto controllo gli agenti inquinanti introdotti in ambiente.
- pre-riscaldano o pre-raffrescano l'aria di rinnovo recuperando energia termica a costo zero dall'aria estratta, energia che in un impianto di ventilazione senza recupero di calore andrebbe perduta (con conseguente spreco economico e danno ambientale).
- grazie al recupero energetico è possibile dimensionare in maniera più contenuta gli apparecchi dell'impianto di riscaldamento e condizionamento (caldaie, climatizzatori, roof-top, refrigeratori d'acqua ecc).
- riducono l'usura delle apparecchiature degli impianti termotecnici.
- nel tempo l'impianto si ripaga gradatamente da solo.

Tipologia scambiatore	Recuperativo a piastre	Recuperativo a piastre	Recuperativo a tubi di calore	Recuperativo a batterie accoppiate	Rigenerativo rotativo	Rigenerativo a ruote entalpiche
MODALITÀ DI RECUPERO	Statico	Statico	Statico	Statico	Dinamico	Dinamico
TIPOLOGIA DI RECUPERO	Sensibile	Totale	Sensibile	Sensibile	Sensibile	Totale
MATERIALE	Alluminio, PVC	Carta impregnata	Vetro o Rame	Rame-Alluminio	Alluminio trattato	Carta o Alluminio goffrato
INSTALLAZIONI TIPICHE	Ovunque (*)	Ovunque, tranne sale fumatori e atmosfere corrosive	Industria	Industria	INDUSTRIA/VENTILAZIONE	Laboratori, ambienti ad umidità controllata (no sale fumatori e atmosfere corrosive)

(\*) Per l'utilizzo in atmosfere corrosive è necessario un trattamento speciale per lo scambiatore.

## IL RENDIMENTO ENERGETICO

Si possono dare molte definizioni di rendimento per una unità di recupero calore.

L'efficienza di uno scambiatore è data dal rapporto tra l'energia termica effettivamente scambiata e la massima energia termica scambiabile (ASHRAE Standard '84).

Una definizione molto usata, considerando le portate in peso ed il calore specifico dell'aria di immissione ed espulsione uguali, è la seguente:

$$\eta = \Delta T_A / \Delta T \text{ (rapporto di temperatura)}$$

Dove  $\Delta T_A$  è la differenza di temperatura tra aria immessa e aria esterna e  $\Delta T$  è la differenza tra le temperature dell'aria di rinnovo e esterna.

Il rendimento dipende dalle temperature dell'aria di rinnovo e dell'aria del flusso di espulsione, oltre che da altri parametri quali l'umidità relativa dell'aria espulsa. Non viene invece influenzato dall'umidità relativa dell'aria di rinnovo.

I classici valori di riferimento sono:

**$\Delta T = 25^\circ\text{C}$**  (temperatura aria di rinnovo prima dello scambio termico =  $-5^\circ\text{C}$ , temperatura aria espulsa prima dello scambio termico =  $20^\circ\text{C}$ ).

**ur% = 50%** (umidità relativa dell'aria espulsa prima dello scambio termico).

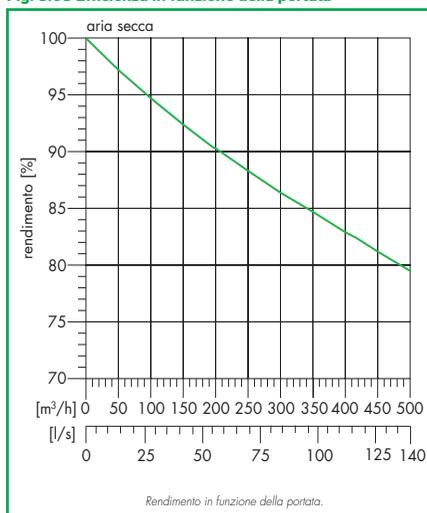
Il valore di  $\Delta T$  influenza il rendimento: maggiore è il  $\Delta T$ , minore è il rendimento.

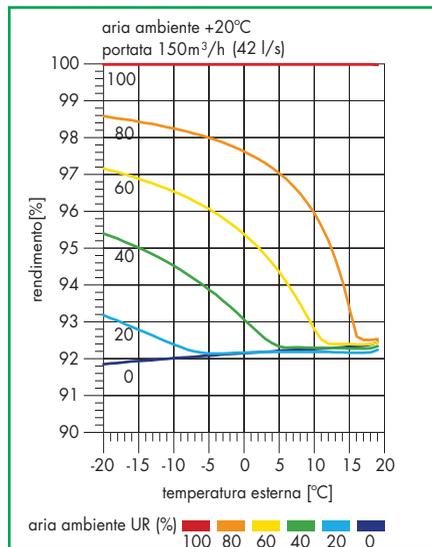
Il rendimento è anche influenzato dall'umidità relativa dell'aria espulsa: al crescere del valore di ur% aumenta il rendimento in quanto cresce la quota parte di energia termica latente recuperata.

Esistono comunque altre definizioni di rendimento, tutte valide. A seconda della definizione utilizzata, il valore di rendimento può variare; è per questo che, onde non generare confusione, si preferisce utilizzare al fine di confrontare tra di loro scambiatori diversi il parametro **POTENZA RECUPERATA (espresso in kW)**.

L'energia termica recuperata dipende dal rendimento: macchine a maggior rendimento (a parità di portata) consentono maggiori recuperi energetici. È inoltre legata alla portata d'aria: a parità di macchina aumentando la portata aumenta il recupero energetico (anche se il rendimento diminuisce).

**Fig. 3.08 Efficienza in funzione della portata**



**Fig. 3.09 Efficienza in funzione del calore di condensazione**


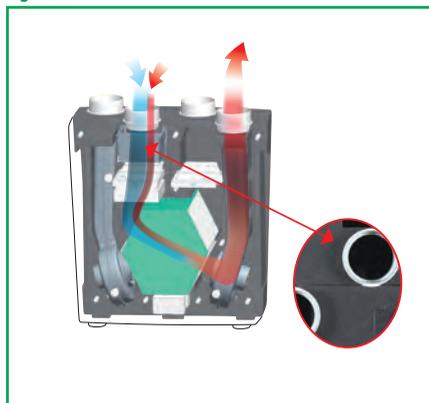
## PRE-RISCALDAMENTO E POST-RISCALDAMENTO

In alcuni periodi dell'anno o in alcune zone geografiche, la temperatura dell'aria esterna potrebbe essere tale da produrre brinamento sul pacco di scambio, ostruendo in tal modo le sezioni di passaggio e diminuendo notevolmente l'energia scambiata. Nel caso di scambiatori in polietilene o carta impregnata questo fenomeno potrebbe addirittura comportare un danneggiamento irreversibile.

Per ovviare a questo problema spesso i recuperatori di calore montano delle batterie di pre-riscaldamento il più delle volte costituite da resistenze elettriche.

Un altro sistema è quello di ricircolare parte dell'aria ambiente, più calda rispetto all'aria esterna, in modo da portare il pacco di scambio al di fuori della situazione critica di temperatura (fig. 3.10).

Con scambiatori di calore ad efficienza non elevata (ad esempio nel caso di

**Fig. 3.10**


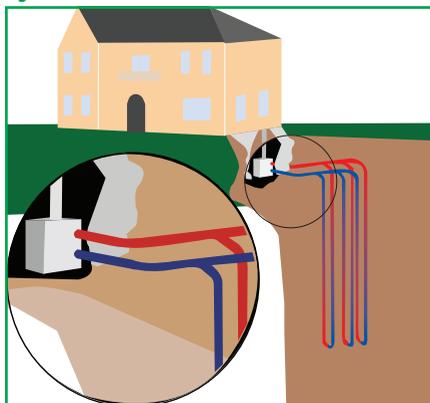
scambiatori a flussi incrociati in alluminio) potrebbe, in funzionamento "invernale", essere necessario l'inserimento di batterie di post-riscaldamento (elettiche o ad acqua calda) per portare la temperatura dell'aria immessa a valori simili o superiori a quelli dell'aria dell'ambiente interno.

Analogamente, durante il funzionamento "estivo", grazie ad una batteria alimentata ad acqua fredda è possibile post-raffreddare l'aria di rinnovo prima di immetterla in ambiente. Opportunamente dimensionata, la batteria di post raffreddamento può anche eliminare parte dell'umidità presente nell'aria di rinnovo.

**Fig. 3.11 batteria di riscaldamento ad acqua calda, batteria di raffreddamento ad acqua fredda, riscaldatore elettrico**


## PRE TRATTAMENTO GEOTERMICO

Fig. 3.12



Si tratta di una applicazione che sta prendendo piede negli impianti con recupero di calore. L'aria esterna, anziché entrare direttamente nella macchina, viene prima convogliata in un canale posto sotto la superficie del suolo. Lungo il percorso, l'aria scambia calore con la terra (la cui temperatura è costante).

In funzionamento invernale la terra ha una temperatura superiore rispetto all'aria, pertanto si ha un pre-riscaldamento; oltre al vantaggio di avere aria di immissione più calda, si ha un secondo vantaggio in termini di rendimento: infatti diminuendo il  $\Delta T$  il rendimento dello scambiatore aumenta.

In funzionamento estivo, al contrario, la terra ha una temperatura inferiore rispetto all'aria quindi si ha un pre-raffreddamento della stessa.

Da notare che il pre-trattamento geotermico è a costo zero se si eccettuano i costi di installazione dell'impianto stesso ed il sovradimensionamento dei ventilatori necessario per vincere le perdite di carico delle tubazioni interrate. In alternativa è possibile sfruttare la geotermia facendo

circolare, in apposite canalizzazioni interrate, un fluido vettore che andrà ad alimentare una batteria di scambio posizionata lungo il canale di ripresa d'aria esterna; l'impianto in questa maniera risulta maggiormente garantito dal punto di vista igienico (si evitano formazioni di condensa nei canali interrati).

## FORMAZIONE DI CONDENSA

Gli scambiatori a piastre in materiale non permeabile non permettono il passaggio di umidità da un flusso all'altro, ma possono utilizzare nel recupero parte del calore latente contenuto nell'aria umida espulsa; ciò avviene soprattutto in caso di temperature esterne molto basse, dove la portata d'aria di espulsione viene raffreddata fino a raggiungere la sua temperatura di rugiada con conseguente formazione di condensa.

Tale liquido di condensa deve pertanto essere eliminato tramite un apposito tubo di scarico.

Gli scambiatori "entalpici" permeabili (p.es. quelli realizzati in carta impregnata) consentono invece il passaggio del vapor acqueo da un flusso all'altro e pertanto non è necessario provvedere allo scarico della condensa (anche se comunque consigliato).

## UMIDITÀ NEL FLUSSO DI IMMISSIONE

Fig. 3.13



I recuperatori di calore hanno la capacità di pre-riscaldare (in inverno) o pre-raffreddare (in estate) l'aria di immissione. Tanto più l'efficienza di scambio termico è elevata, tanto più la temperatura dell'aria introdotta nell'ambiente è

prossima alla temperatura dell'ambiente stesso. Per il benessere ambientale occorre tuttavia badare anche al contenuto di umidità dell'aria di immissione.

Tipicamente in stagione invernale il contenuto di umidità nell'aria esterna è inferiore rispetto a quello dell'aria interna e di conseguenza, nel processo di ventilazione, l'ambiente viene deumidificato, fatto molto positivo per poter tenere sotto controllo l'eccesso di umidità che può provocare condense e favorire il proliferarsi di muffe.

In stagione estiva spesso le condizioni dell'aria esterna sono tali per cui effettuando il ricambio dell'aria la macchina introduce più umidità di quanta ne estrae; questo fenomeno si verifica tipicamente nelle giornate calde ed afose.

Volendo mantenere in funzione la macchina, per ovviare all'eccesso di umidità in ambiente si può accoppiare all'impianto di ventilazione un deumidificatore che può essere separato od integrato nella macchina.

Dal punto di vista del controllo dell'umidità, gli scambiatori di tipo entalpico risultano migliori rispetto agli scambiatori sensibili.

### FREE COOLING

Lo scambio termico è utile sia in fase invernale (con temperature interne agli ambienti superiori a quelle dell'aria esterna) che estiva (con temperature interne inferiori a quelle esterne).

In funzionamento "invernale" l'aria estratta dagli ambienti interni, più calda, riscalda l'aria di immissione presa dall'esterno. Il contrario accade in funzionamento "estivo".

Esistono situazioni in cui lo scambio

termico può risultare controproducente: basti pensare a ciò che succede in una notte estiva, quando negli ambienti interni la temperatura, a causa dell'accumulo termico durante il giorno, può essere superiore a quella dell'aria esterna. In tal caso se si utilizzasse il recuperatore di calore per ventilare, l'aria esterna verrebbe riscaldata dall'aria espulsa prima di essere immessa in ambiente. Per ovviare a questo inconveniente occorre non effettuare lo scambio termico tra i due flussi tramite un by-pass dello scambiatore applicato sul flusso d'aria di rinnovo (fig. 3.14).

Fig. 3.13

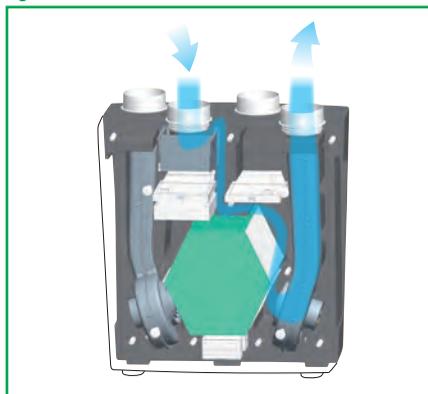
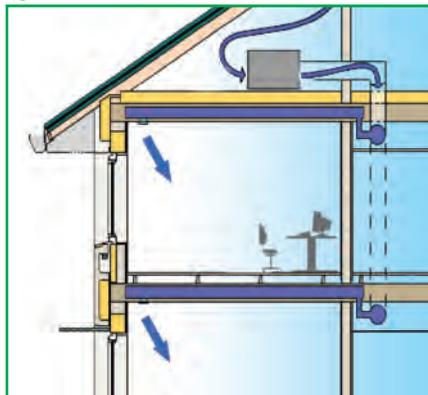


Fig. 3.14



## REGOLAZIONE: CONTROLLO DEI PARAMETRI AMBIENTALI

Il dimensionamento di un impianto di ventilazione viene effettuato considerando dei parametri standard (temperature, umidità relativa, affollamento ecc). Al variare però delle condizioni potrebbe essere necessario modificare la portata dell'aria del nostro impianto per consentire il mantenimento della qualità dell'aria opportuna nell'ambiente.

Per fare ciò è possibile agire manualmente (tramite regolatori di velocità dei ventilatori) o delegare il controllo ad un sistema automatico.

I sistemi di controllo possono essere sia meccanici che elettronici.

Molto diffusi per il controllo dell'umidità relativa in ambiente sono i sistemi igrometrici: in pratica la portata d'aria viene regolata tramite delle prese d'aria che aumentano o diminuiscono la sezione di passaggio in funzione dell'umidità. Aumentando la sezione di passaggio le perdite di carico del circuito aeraulico diminuiscono e pertanto il ventilatore riesce a fornire una maggiore portata d'aria, ricambiando più velocemente l'aria in ambiente. Quando le condizioni di umidità sono tali per cui le prese d'aria restringono la sezione di passaggio, le perdite di carico del sistema aumentano e di conseguenza la portata d'aria diminuisce.

Tra i sensori elettronici più semplici citiamo quelli comunemente chiamati ON-OFF. Si tratta di sensori per un certo parametro tarati con una soglia di intervento che aprono o chiudono un contatto pulito a seconda che la soglia sia superata o meno. La soglia è spesso tarabile, in modo da fare entrare in funzione l'impianto quando effettivamente necessario. Esistono sensori di temperatura, presenza (occupanti), di

inquinamento dell'aria (fumo, CO<sub>2</sub>, VOC), di umidità, ecc.

Sensori più sofisticati danno in risposta alla modifica dei parametri ambientali un segnale proporzionale (tipicamente in bassa tensione) che può essere utilizzato da particolari motori (accoppiati ad una scheda elettronica o ad un inverter) per modificare la portata dell'aria legando la portata stessa al segnale di controllo.

Oltre che per controllare la portata, tali sistemi possono essere utilizzati per il funzionamento automatico del by-pass, per fare intervenire sistemi di pre o post riscaldamento ecc...

Gli enormi progressi dell'elettronica fanno sì che sia possibile integrare l'impianto aeraulico nell'edificio, facendolo lavorare in maniera sincrona con gli altri impianti presenti (DOMOTICA).

I vantaggi di un impianto a parametri controllati sono indubbi: in ogni istante si avrà la corretta ventilazione senza inutili sprechi energetici.

## TIPOLOGIE DI SCAMBIATORI

### SCAMBIATORI DI CALORE ROTATIVI

Queste macchine sono costituite da un elemento di forma cilindrica rotante attorno al proprio asse e fissato su di un telaio. I flussi d'aria espulsa e di rinnovo attraversano lo scambiatore mantenendosi separati. Lo scambiatore è dotato di un opportuno settore di pulizia per evitare contaminazioni incrociate.

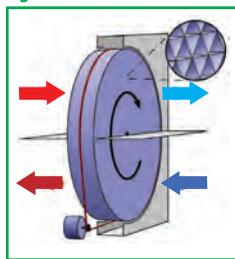
L'aria attraversando lo scambiatore scambia energia termica con esso. Il flusso più caldo cede calore all'elemento ruotante; compiuta la rotazione, tale energia viene ceduta al flusso più freddo.

La rotazione dello scambiatore è generata solitamente da un motore elettrico a velocità costante (fig. 3.14).

I materiali con cui è realizzato lo scambiatore possono essere:

- alluminio (in tal caso si ha solo il recupero sensibile)
- alluminio con trattamento igroscopico o adsorbente (recupero sensibile + latente)

Fig. 3.14



Uno dei vantaggi di queste apparecchiature consiste nel fatto di poter fermare la rotazione dello scambiatore e consentire la ventilazione degli

ambienti senza scambio di calore: non necessitano quindi di by-pass per poter effettuare il free-cooling (sebbene il ventilatore debba comunque vincere le perdite di carico prodotte dal dispositivo).

### SCAMBIATORI DI CALORE A FLUSSI INCROCIATI

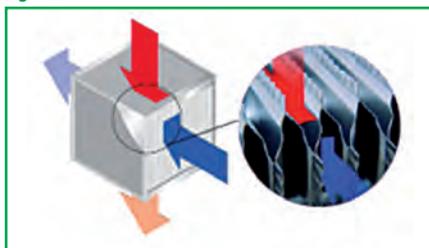
Questo tipo di scambiatore è costituito da fogli sovrapposti. I flussi d'aria passano attraverso lo scambiatore tra foglio e foglio, scambiando energia termica.

Nella tipologia più diffusa i fogli sovrapposti vanno a formare un parallelepipedo a base quadrata. I flussi d'aria vengono convogliati in modo che attraversino il pacco così formato parallelamente ai lati dei fogli ma con direzioni perpendicolari l'uno rispetto all'altro.

Il flusso viene suddiviso e procede all'interno dello scambiatore percorrendolo da parte a parte con moto laminare.

Nell'interspazio tra foglio e foglio viene convogliato solo un flusso in modo che non si abbia contatto diretto tra i due, alternando strati in cui passa aria di rinnovo e strati in cui passa aria di espulsione (fig. 3.15).

Fig. 3.15



Lo scambio termico avviene mediante il materiale di cui è costituito il pacco di scambio (trasmissione di calore per conduzione).

Per aumentare l'efficienza di scambio termico spesso i fogli non sono piani ma corrugati in modo da aumentare la superficie di scambio.

Un'evoluzione dello scambiatore a flussi incrociati è lo scambiatore a flussi incrociati in controcorrente (fig. 3.16).

Fig. 3.16



In tal caso i filetti fluidi non percorrono all'interno del pacco di scambio traiettorie rettilinee e perpendicolari tra di loro, ma

traiettorie quasi parallele con direzioni opposte, in modo da aumentare l'efficienza dello scambio termico.

I rendimenti di uno scambiatore di questo tipo sono tipicamente più elevati (a parità di materiale e dimensioni del pacco) rispetto a quelli a pianta quadrata.

I materiali con cui è realizzato lo scambiatore possono essere:

- alluminio (solitamente corrugato): recupero sensibile
- polietilene: recupero sensibile
- acciaio inox (per applicazioni speciali): recupero sensibile
- carta impregnata: recupero sensibile + latente

Il recupero del calore latente nei pacchi di carta impregnata è possibile in quanto lo speciale trattamento rende la carta permeabile al vapore acqueo. Se i contenuti di umidità dei due flussi sono differenti, si ha un trasferimento di vapor acqueo dal

flusso più umido a quello più secco. Questo consente durante il funzionamento "invernale" di umidificare (parzialmente) l'aria di rinnovo ed in quello "estivo" di deumidificarla (parzialmente).

Per poter realizzare il free-cooling, macchine che montano scambiatori a flussi incrociati o in controcorrente devono avere una sezione di by-pass.

Fig. 3.17



### SCAMBIATORI A TUBI DI CALORE

Sono costituiti da un fascio tubiero tipicamente in rame e da alette in alluminio in maniera del tutto simile ad una batteria alettata a pacco. Vengono realizzati anche con tubi di vetro.

Nei tubi è presente un fluido bifase che cambia stato (passando da liquido a vapore) al variare della temperatura (p.es. R134a). I due flussi d'aria di rinnovo e di espulsione attraversano lo scambiatore in zone tenute separate mediante un setto divisorio.

Lo scambiatore è classicamente posizionato con i tubi in verticale, facendo sì che il flusso di aria calda lo attraversi nella parte inferiore e quello di aria fredda nella parte superiore. L'aria calda, attraversando lo scambiatore nella parte inferiore, riscalda il fluido bifase contenuto all'interno dei tubi, provocandone una parziale

evaporazione. Il vapore, più leggero del liquido, migra nella parte superiore dei tubi dove agisce il flusso di aria fredda che riscaldandosi, toglie calore al vapore che ricondensa. Il liquido quindi torna per gravità nella parte inferiore e il ciclo può ricominciare.

L'impiego di tali scambiatori è prevalentemente industriale.

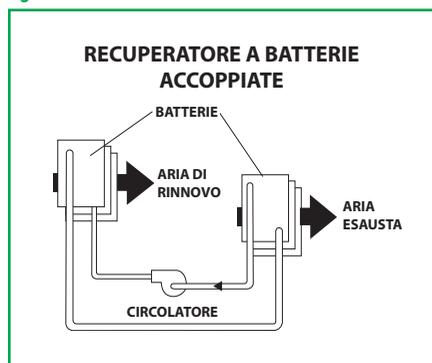
### SCAMBIATORI A BATTERIE

Sono costituiti da due batterie alettate in cui circola acqua (messa in movimento da una pompa di circolazione).

Il flusso di aria calda attraversa la prima batteria, cedendo calore all'acqua che circola all'interno di essa e raffreddandosi a sua volta. L'acqua riscaldata viene quindi inviata alla seconda batteria e qui cede il calore al flusso di aria fredda (fig. 3.18).

L'impiego di tali recuperatori è prevalentemente industriale.

Fig. 3.18



### SCAMBIATORI A DOPPIO FLUSSO ALTERNATO

Sono macchine costituite da un ventilatore reversibile che periodicamente inverte il senso di rotazione (fig. 3.19) e da un pacco di scambio ad accumulo (i modelli più diffusi montano pacchi di scambio ceramici opportunamente sagomati per po-

ter trattenere quanto più calore possibile dall'aria che lo attraversa). Tipicamente vengono montati praticando un foro passante in una parete perimetrale del locale da ventilare.

Ipotizzando di essere in stagione invernale ed avendo un ambiente riscaldato internamente, il ventilatore convoglia durante la fase di estrazione l'aria calda ed inquinata attraverso il pacco di scambio il quale si riscalda; nella fase successiva, quando cioè il ventilatore inverte il senso di rotazione, l'aria fredda ma pulita passando nello scambiatore si pre-riscalda prima di essere immessa nell'ambiente. L'applicazione di tali apparecchiature è tipicamente in ambito domestico.

Fig. 3.19



### UNITÀ DI RECUPERO CON CIRCUITO FRIGORIFERO INTEGRATO

Accoppiando un recuperatore di calore con un circuito frigorifero in pompa di calore si ottiene una macchina per il condizionamento che oltre a ricambiare l'aria negli ambienti e ventilare, provvede anche a climatizzare i locali (fig. 3.20).

Fig. 3.20



Il circuito frigorifero è costituito da due batterie di scambio termico posizionate all'interno della macchina in corrispondenza della bocche di mandata verso l'interno dei locali e della bocca di espulsione verso l'esterno. All'interno delle batterie circola un fluido frigorifero (p.es. R407C) che trasferisce il calore da un flusso all'altro, comportandosi l'una da batteria condensante e l'altra da evaporante.

In funzionamento estivo la batteria evaporante sarà quella posizionata in corrispondenza dell'immissione, e quella condensante sarà quella posizionata in corrispondenza dell'espulsione.

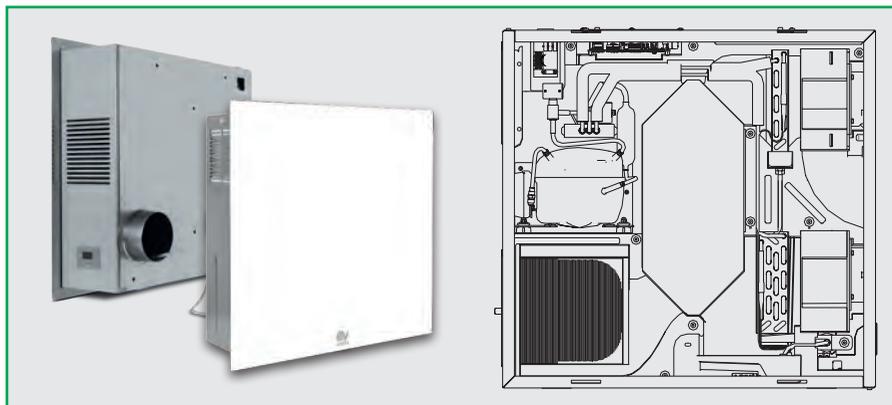
L'aria, dopo lo scambio termico all'interno dello scambiatore, viene quindi trattata ulteriormente per diminuire la temperatura di immissione.

In funzionamento invernale al contrario il circuito di condizionamento funzionerà in pompa di calore aria-aria pertanto l'aria di immissione verrà post-riscaldata dal circuito di condizionamento.

I vantaggi di una macchina simile sono molteplici: oltre al recupero di calore, garantiscono il condizionamento degli ambienti serviti: con un'unica macchina è possibile climatizzare tutto l'ambiente, controllando più efficacemente sia le temperature che l'umidità relativa. Non si ha inoltre necessità di avere unità esterne di condizionamento, spesso difficilmente posizionabili e antiestetiche. Dimensionando correttamente il circuito frigorifero risultano spesso superflue le batterie di post riscaldamento e post raffreddamento. Lavorando su salti di temperatura limitati (l'aria che attraversa le batterie ad espansione diretta ha già attraversato lo scambiatore) il rendimento del ciclo frigorifero (COP, EER) è molto elevato.

È chiaro che la presenza nella macchina del circuito di climatizzazione e quindi del compressore può creare problemi di rumorosità: occorre pertanto provvedere ad isolare acusticamente la macchina stessa.

Fig. 3.21



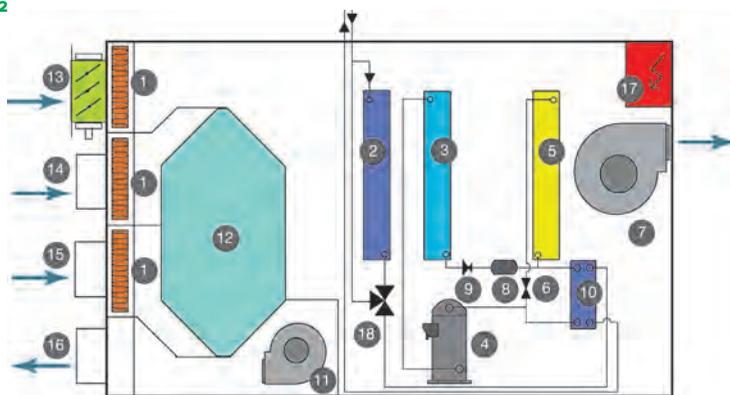
## UNITÀ DI RECUPERO CON DEUMIDIFICATORE INTEGRATO

Sono macchine che provvedono alla ventilazione con recupero di calore e che, in caso di necessità, attivano un deumidificatore in pompa di calore installato a bordo. In fase invernale, quando il semplice ricambio di aria provvede a mantenere sotto controllo l'umidità interna, la macchina si comporta esattamente come una unità di tipo classico. In stagione estiva, in caso di superamento della soglia impostata di umidità relativa, il ventilatore di mandata aumenta la portata in modo da consentire oltre al prelievo di aria esterna in quantità tale da bilanciare le estrazioni, anche il prelievo di aria interna attraverso una serranda di ricircolo.

L'aria proveniente dall'esterno effettua lo scambio termico con l'aria di estrazione nel pacco di scambio, dopo di che si unisce all'aria di ricircolo prima di attraversare nell'ordine una batteria idronica (alimentata ad acqua refrigerata) e quindi le batterie ad espansione diretta.

La batteria evaporante effettua l'abbattimento della temperatura ed esegue la deumidificazione, la batteria condensante post-riscalda l'aria al fine di introdurre in ambiente aria a temperatura neutra rispetto all'ambiente (fig. 3.22).

Fig. 3.22



- |   |  |
|---|--|
| 1 - Filtro aria.  | 10 - Condensatore ad acqua.                                    |
| 2 - Batteria idronica pre-raffreddamento (funz. estivo) post-riscaldamento (funz. invernale). | 11 - Ventilatore di espulsione con EC.                         |
| 3 - Evaporatore.  | 12 - Recuperatore a flussi incrociati ad altissima efficienza. |
| 4 - Compressore.  | 13 - Serranda motorizzata di ripresa (ricircolo).              |
| 5 - Condensatore ad aria.   | 14 - Aria di ripresa locali umidi.                             |
| 6 - Elettrovalvola.   | 15 - Aria esterna.   |
| 7 - Ventilatore di mandata con motore EC.   | 16 - Aria espulsa.   |
| 8 - Filtro deidratatore.  | 17 - Quadro elettrico.   |
| 9 - Organo di laminazione.  | 18 - Valvola modulante a tre vie.                              |

## TIPOLOGIE DI IMPIANTO

In **ambito residenziale**, si possono classificare gli impianti di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore in tre famiglie:

- Impianti centralizzati autonomi
- Impianti centralizzati condominiali
- Impianti decentralizzati

Gli impianti **CENTRALIZZATI AUTONOMI** provvedono alla ventilazione di una singola unità abitativa mediante un'unità di ventilazione, che preleva l'aria dagli ambienti umidi (bagni, cucina, lavanderia ecc..) e immette l'aria di rinnovo negli ambienti nobili (sala, studio, camere da letto ecc..) attraverso terminali di estrazione ed immissione, collegati tramite canalizzazioni alla macchina.

### Vantaggi

- vengono trattati tutti i locali (migliore efficienza di ricambio aria);
- le macchine sono solitamente ad alta efficienza di recupero energetico;
- gestione personale dell'impianto.

### Svantaggi

- necessità di tubazioni;
- serve una macchina per ogni alloggio (spazi interni).

Gli impianti **CENTRALIZZATI CONDOMINIALI** prevedono una macchina di grande portata che serva contemporaneamente più alloggi: una scala, un piano, l'intero stabile. Si ovvia in questa maniera al problema degli spazi interni da dedicare alla macchina autonoma, mentre l'impianto delle canalizzazioni aeree è analo-

go a quello dell'impianto autonomo. Le macchine utilizzate sono in genere molto sofisticate e dotate di una sensoristica evoluta, per poter adeguare il proprio funzionamento a seconda delle richieste in termini di portata degli alloggi.

### Vantaggi

- serve una sola macchina;
- vengono trattati tutti i locali (migliore efficienza di ricambio aria);
- le macchine sono solitamente ad alta efficienza di recupero energetico;

### Svantaggi

- necessità di tubazioni;
- necessità di avere ventilatori con controllo di portata/pressione (per adeguare portate in funzione delle richieste);
- gestione complessa dell'impianto: ripartizione portate e contabilizzazione;
- costi maggiori rispetto al centralizzato autonomo se il numero di alloggi è basso;
- possibili disturbi sonori tra appartamenti.

Nel caso vi sia l'impossibilità di posare le canalizzazioni si può ricorrere alla realizzazione di **IMPIANTI DECENTRALIZZATI**, che impiegano una macchina per ogni singolo ambiente da ventilare. Essendo in genere i ventilatori montati nelle macchine per gli impianti decentralizzati a bassa prevalenza, la macchina viene installata solitamente in corrispondenza di una parete perimetrale. Grazie alla facilità di installazione ed all'assenza di canalizzazioni, i recuperatori per impianti decentralizzati

sono spesso installati per risolvere problemi legati all'eccesso di umidità interna di alcuni ambienti domestici.

### Vantaggi

- assenza di tubazioni (pratico per ristrutturazioni)

### Svantaggi

- sono trattati solo i locali in cui le macchine sono installate;
- solitamente l'efficienza è inferiore alle macchine per impianti centralizzati;
- sono possibili problemi di «cortocircuiti» aeraulici;
- spesso l'efficienza di filtrazione è bassa:
- se si inseriscono molte macchine l'impianto risulta poco economico.

## SISTEMI E COMPONENTI DEGLI IMPIANTI DI DISTRIBUZIONE IN AMBITO RESIDENZIALE

Il mercato offre diverse soluzioni per rispondere alle innumerevoli e particolari richieste di sistemi di distribuzione: in sostanza ogni singolo progetto ovvia criticità ed esigenze disparate: problemi di spazio, di design, di impedimenti strutturali... non esistono due impianti uguali.

Esaminiamo ora alcune dei sistemi di distribuzione più utilizzati.

### SISTEMA MEDIANTE PLENUM CON TUBO CORRUGATO SEMIFLESSIBILE LISCIO INTERNAMENTE

Si basa su un tubo realizzato normalmente in PEAD (Polietilene Ad Alta Densità), che può subire vari trattamenti (antistatico, antibatterico ecc...).

Viene fornito generalmente in rotoli da 25/50 mt, e può essere *circolare* o *piatto*: i diametri utilizzati per il **circolare** sono:

- esterno 75 mm/interno 63 mm
- esterno 90 mm/interno 75 mm

La scelta tra i 2 tipi dipende dalle portate d'aria in gioco

Fig. 3.23



Per il **piatto** invece:

Larghezza da 100 a 140 mm, altezza da 50 a 60 mm.

La scelta tra i 2 tipi dipende dalle portate d'aria in gioco.

Fig. 3.24



La macchina viene collegata ai plenum da cui si dipartono i tubi che raggiungono i vari locali in cui immettere o estrarre l'aria: anche le bocchette hanno plenum a murare, sui quali vengono montate le griglie.

Fig. 3.25



### Vantaggi

- facilità estrema di installazione;
- numero limitato di accessori;
- facilità di regolazione delle portate

### Svantaggi

- difficoltà di incasso nei tramezzi di spessore limitato (tondo);
- costi

### SISTEMA MEDIANTE TUBI RIGIDI CIRCOLARI O RETTANGOLARI

Si basa su canalizzazioni circolari o rettangolari, normalmente in ABS alimentare, corredati da un gran numero di accessori (stacchi a T, curve varie ecc.) per adattare il sistema alle strutture in cui viene allocato.

Le dimensioni dei canali circolari sono in genere le seguenti:

- Ø 100mm
- Ø 125mm
- Ø 150mm

Fig. 3.26



A seguire alcuni accessori per sistema a **canali circolari**.

Le dimensioni dei **canali rettangolari** sono variabili:

Fig. 3.27



Ecco alcuni esempi.

- 110X54mm
- 150X70mm
- 180X90mm
- 204X60mm

Fig. 3.28



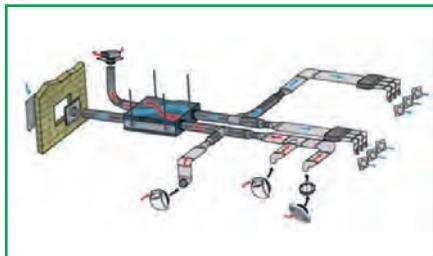
A seguire alcuni accessori per sistema a canali rettangolari.

Fig. 3.29



L'impianto può essere realizzato mediante plenum, a cui la macchina viene collegata e da cui si dipartono i condotti che raggiungeranno i vari locali (canali circolari), oppure si può utilizzare uno schema ramificato senza plenum, sfruttando gli stacchi a T.

Fig. 3.30



I 2 sistemi si possono anche combinare grazie ai numerosi adattatori circolare/rettangolare.

Fig. 3.31



### Vantaggi

- costi inferiori rispetto ad altri sistemi
- contenimento degli spazi occupati in spessore
- flessibilità di composizione

### Svantaggi

- alto numero di accessori
- possibilità di trasmissione rumore tra i locali (effetto telefono)
- non-calpestabilità nelle installazioni a massetto (necessaria rete elettrosaldata)

### SISTEMA MEDIANTE TUBI FLESSIBILI CIRCOLARI O RETTANGOLARI

Normalmente in materiale plastico o in alluminio, con diametri che vanno da 80 a 150 mm, con varie possibilità di isolamento termico e acustico, questi sistemi trovano le migliori applicazioni nei sottotetti o nei controsoffitti ove non vi siano problemi di spazio; si possono anche connettere ad altri sistemi mediante opportuni adattatori. Molto utilizzato nel passato, questo sistema è ora da sconsigliare in quanto i tubi flessibili hanno intrinsecamente perdite di carico molto elevate e non sono pulibili. Si utilizzano invece tuttora per brevi tratti di raccordo unitamente ai canali rigidi.

Fig. 3.32



### Vantaggi

- facilità e velocità di installazione
- costi contenuti rispetto ad altri sistemi

### Svantaggi

- perdite di carico elevate
- necessità di spazi ampi
- difficoltà a eseguire curve a 90°
- accumulo di polvere

## SISTEMA MEDIANTE TUBI RIGIDI IN METALLO

Fig. 3.33



Generalmente si utilizzano canali in acciaio zincato (spiro-tubi), prevalentemente negli impianti condominiali centralizzati come colonne per immissione/espulsione a cui si raccordano tutte le utenze singole. Anche in questo caso sono necessari diversi accessori per adattare il canale alle esigenze strutturali della costruzione.

### Vantaggi

- ampi diametri per grandi portate;
- robustezza

### Svantaggi

- costi;
- alto numero di accessori;
- installazione complessa;
- ingombri elevati.

In questo capitolo sono stati analizzate le

varie tipologie di recuperatori di calore, macchine a doppio flusso spesso utilizzate negli impianti di ventilazione, e le varie tipologie degli impianti di distribuzione dell'aria.

Nel prossimo capitolo si andrà a valutare come l'impiego di un recuperatore di calore possa migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio in cui è installato.

Fig. 3.34



## DIMENSIONAMENTO E CASE HISTORY

### DIMENSIONAMENTO DI UN IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

Al fine di garantire la corretta igienicità dell'aria indoor, occorre ricambiare un numero sufficiente e corretto di volte l'aria degli ambienti: d'altra parte eccedere nelle portate significherebbe avere maggiori sprechi energetici in quanto, anche recuperando parte dell'energia dell'aria di estrazione, assieme agli inquinanti si asporterebbe parte del contenuto energetico associato all'aria esausta. Molte normative si occupano di questo tema, ma tutte sono concordi nell'indicare come tasso ideale di ricambio dell'aria in ambiente residenziale un valore compreso tra gli 0,35 e gli 0,50 volumi/ora. Per un appartamento da 100 mq, altezza locali 2,70m, la portata d'aria è quindi circa 95-135 mc/h. Stabilita la portata complessiva occorre suddividerla nei vari locali, badando a bilanciare immissione ed estrazione: tipicamente di immette aria nei locali nobili (soggiorni, sale da pranzo, camere da letto, studi ecc...) e si estrae aria dagli ambienti umidi (cucina, bagni, lavanderie ecc...); valori tipici sono 30 mc/h di immissione nelle camere da letto, 45-90 mc/h nei soggiorni (a seconda delle metrature), 30 mc/h di estrazione nei bagni, 45-60 mc/h dalle cucine.

Il posizionamento dei terminali dell'aria consente deve essere effettuato cercando di facilitare l'asportazione degli inquinanti dai locali: l'ideale è l'installazione delle bocchette lontano dalle porte, cosa spesso difficilmente realizzabile per

motivi tecnici o architettonici.

Per la distribuzione ci sono in linea di massima due tipologie di impianti: impianti a controsoffitto (facilmente posabili ed ispezionabili ma che costringono a ribassamenti negli alloggi) ed impianti annegati nelle murature (praticamente invisibili ma che costringono ad usare canalizzazioni di minor sezione di passaggio). Le dimensioni delle canalizzazioni devono essere tali da non creare turbolenza, rumorosità eccessiva e forti perdite di carico; per questo motivo vengono dimensionate ammettendo al massimo una velocità di percorrenza dell'aria al loro interno di 3 m/s.

Note la portata dell'aria e le caratteristiche delle canalizzazioni e dei terminali dell'aria è possibile calcolare le perdite di carico della distribuzione aeraulica che dovranno essere vinte dalla prevalenza della macchina.

I due parametri portata e prevalenza caratterizzano il cosiddetto punto di lavoro. Nei grafici delle macchine vengono indicate in ascissa le portate (esprese in mc/h o in l/s) ed in ordinata le prevalenze (esprese in Pa o in mmH<sub>2</sub>O). La curva caratteristica indica la prestazione che la macchina può erogare in termini di pressione disponibile (prevalenza) per ciascun valore di portata d'aria. Spesso nei grafici sono indicate più curve, corrispondenti alle diverse velocità dei ventilatori.

Per la corretta scelta della macchina occorre che il punto di lavoro sia al di sotto della curva caratteristica della macchina corrispondente al 70% della prestazione massima che la stessa può erogare.

## TARATURA E BILANCIAMENTO DI UN IMPIANTO DI VENTILAZIONE MECCANICA CONTROLLATA

Una volta definita la portata d'aria in immissione ed in estrazione complessiva, occorre far sì che ciascun terminale immetta od estragga la corretta quantità di fluido.

A tale scopo occorre effettuare la taratura della portata complessiva ed il bilanciamento delle perdite di carico nelle varie diramazioni dell'impianto aeraulico. Questa operazione è fondamentale al fine di ottenere la corretta distribuzione di aria negli ambienti senza eccedere nelle portate (il che comporterebbe sprechi energetici) e senza neppure ventilare in maniera insufficiente i locali (con problematiche legate all'eliminazione degli inquinanti interni).

La taratura consiste nel settare la portata complessiva dei ventilatori della unità di ventilazione in modo che si rispettino i requisiti di progetto; fatto questo occorre bilanciare la portata in ciascun terminale. Il bilanciamento si ottiene regolando apposite serrande (o diaframmi) posizionate nel plenum di distribuzione o lungo i tratti di canale o a bordo dei terminali aria.

Il tecnico provvede a verificare tramite un anemometro che ciascun diffusore o griglia sia attraversato dalla corretta quantità di aria.

Se nel progetto sono previsti regolatori automatici (che modificando la propria geometria interna riescono a creare delle perdite di carico tali da consentire il passaggio di una determinata portata dell'aria prefissata), l'operazione di

bilanciamento non serve, ma occorre comunque verificare che la portata complessiva rispetti le indicazioni del progettista. Si tenga però presente che l'impiego di apparecchiature autoregolabili non consente la modulazione delle portate; in particolare non è possibile aumentare la portata in quei casi in cui per sovraffollamento o per eccesso di produzioni di inquinanti interni ce ne sia bisogno (boost).

### CASE HISTORY/1: I RECUPERATORI DI CALORE E L'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

Nei capitoli precedenti sono state illustrate le motivazioni che portano alla realizzazione di un impianto di ventilazione (cap. 1), sono state illustrate le possibili metodologie per realizzare il ricambio dell'aria e si è giunti alla conclusione che gli impianti di ventilazione meccanica a doppio flusso risolvono molto spesso le problematiche relative al benessere ambientale e alla qualità dell'aria interna (cap. 2). In questi impianti, i recuperatori di calore (cap. 3) trovano molte applicazioni. E' evidente che l'installazione di macchine per ventilazione e recupero energetico comporti un costo maggiore, ma indubbi sono i vantaggi rispetto ad un impianto senza recupero:

- recupero di quota parte dell'energia termica altrimenti persa nel ricambio d'aria;
- riduzione dei costi di gestione degli impianti di riscaldamento/condizionamento;

- minore usura delle apparecchiature termotecniche per riscaldamento/ condizionamento;
- filtrazione dell'aria immessa ed espulsa dall'ambiente.

Nel capitolo 1 si è accennato alla classificazione energetica degli edifici.

Al fine di comprendere meglio come un recuperatore di calore possa migliorare il bilancio energetico e quindi la classe energetica, verranno ora eseguite alcune simulazioni di edifici o porzioni di edifici.

Si prenderà in considerazione un edificio e se ne valuteranno la prestazione energetica nei seguenti casi: con un ricambio d'aria senza recupero energetico o ricambiando l'aria con l'utilizzo di un recuperatore ad altissima efficienza (80%-90% valutata in accordo alla UNI 308).

Per i calcoli è stato utilizzato il programma ProCasaClima, un software freeware sviluppato da Agenzia Casaclima ed utilizzato per il calcolo della certificazione energetica degli edifici in Alto Adige oltre che fuori dalla provincia di Bolzano per la classificazione volontaria.

Il programma consente, inserendo i dati relativi alla struttura dell'edificio, alla sua posizione geografica e all'orientamento dello stesso, alle caratteristiche dell'impianto termico ecc. di valutare il fabbisogno energetico in termini di:

- fabbisogno di energia netta specifico dell'involucro
- fabbisogno di energia primaria specifico
- fabbisogno di energia primaria totale
- emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente
- classe energetica dell'edificio

Si tenga presente che il programma fornisce due indici di efficienza: l'efficienza

invernale dell'involucro (che determina la classificazione secondo il protocollo CasaClima) e l'efficienza complessiva (che considera anche la stagione estiva sia in termini di fabbisogno energetico per la climatizzazione che per il recupero energetico).

Infine verranno illustrati alcuni esempi di recenti realizzazioni di impianti VMC.

Fig. 4.01



## CASO A: ABITAZIONE PRIVATA (USO RESIDENZIALE)

### DATI CONTESTO

Villetta monofamiliare, locali abitativi disposti su due piani + scantinato, situata a Bussero (MI), Zona climatica: **E**, Gradi giorno: **2416**

### DATI EDIFICIO

Anno di costruzione **2016**

Nuova costruzione

Struttura in mattoni forati porizzato, cappotto in fibra di legno spessore **30 cm**

Due piani climatizzati, altezza locali **2,70 m**

### AMBIENTI RISCALDATI

- Superficie utile riscaldata: **133 m<sup>2</sup>**
- Superficie lorda di pavimento: **160 m<sup>2</sup>**
- Volume netto riscaldato: **360 m<sup>3</sup>**
- Volume lordo riscaldato: **480 m<sup>3</sup>**
- Numero persone presenti nell'edificio: **3 persone**
- Ventilazione: **0,30** ricambi orari realizzati con ventilazione naturale calcolata per 24 ore/giorno (portata **108 m<sup>3</sup>/h**)

### INVOLUCRO

- Coefficiente medio di trasmittanza globale **0,31 W/m<sup>2</sup> K**
- Superficie di dispersione termica dell'edificio **376 m<sup>2</sup>**
- Rapporto superficie involucro riscaldato/volume lordo riscaldato  
**A/V = 0,78 1/m**

### IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO

- Emissione tramite pannelli isolati annegati a pavimento
- Regolazione climatica + zona con regolatore
- Pompa di calore elettrica ad aria, potenza **4 kW**, SCOPh (riscaldamento) = **4,3**; SCOPw (ACS) = **2,6**, dimensionata per fornire l'80% del fabbisogno per il riscaldamento e produzione ACS
- Caldaia a condensazione alimentata a gas metano da **24 kW** dimensionata per fornire il 15% del fabbisogno per il riscaldamento e produzione ACS
- Caldaia alimentata ad olio combustibile da **24 kW** dimensionata per fornire il 5% del fabbisogno per il riscaldamento e produzione ACS
- Refrigeratore elettrico da **12 kW**, SEER medio stagionale **2,80**
- Assenza del recuperatore di calore

### ENERGIA ELETTRICA

Allacciamento alla rete elettrica

#### INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

##### RISCALDAMENTO

Perdita di calore per trasmissione durante il periodo di riscaldamento

**Qt=6,779 kWh/a**

Perdita di calore per ventilazione durante il periodo di riscaldamento

**Qv = 3,484 kWh/a**

Guadagni per carichi interni durante il periodo di riscaldamento

**Qi = 2,365 kWh/a**

Guadagni solari durante il periodo di riscaldamento

**Qs = 2,736 kWh/a**

Fabbisogno di riscaldamento

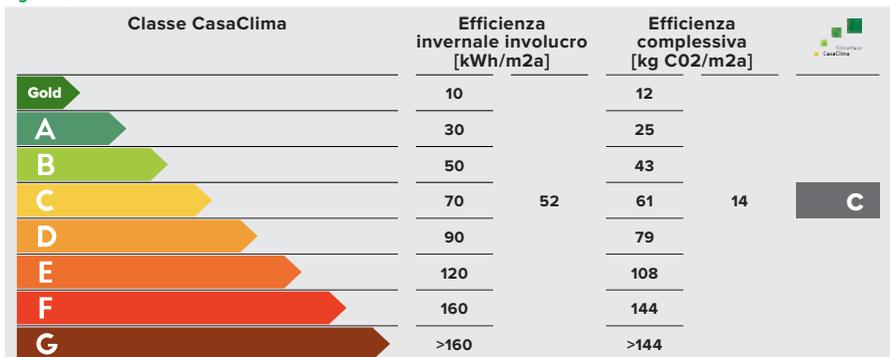
**Qh = 6,075 kWh/a**

Rapporto tra guadagni e perdite di calore

**50%**

Fattore di utilizzo degli apporti termici	<b>82%</b>
Fabbisogno di energia termica relativo alla superficie netta (Bussero)	<b>HWBNGF = 45 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Fabbisogno di energia termica relativo alla superficie netta (Milano)	<b>HWBNGF = 57 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Potenza di riscaldamento dell'edificio	<b>Ptot = 4,4 kW</b>
Potenza di riscaldamento relativa alla superficie netta	<b>P1 = 33,2 kW</b>
Classe di efficienza energetica dell'involucro	<b>C (52 kWh/(m<sup>2</sup>a))</b>
<b>RAFFRESCAMENTO</b>	
Perdita di calore per trasmissione durante il periodo di raffrescamento	<b>Qt = 2,003 kWh/a</b>
Perdita di calore per ventilazione durante il periodo di raffrescamento	<b>Qv = 1,029 kWh/a</b>
Guadagni per carichi interni durante il periodo di raffrescamento	<b>Qi = 1,707 kWh/a</b>
Guadagni solari durante il periodo di raffrescamento	<b>Qi = 483 kWh/a</b>
Fabbisogno di raffrescamento sensibile	<b>Qh = 487 kWh/a</b>
Rapporto tra guadagni e perdite di calore	<b>72 %</b>
Fattore di utilizzo delle dispersioni termiche	<b>68 %</b>
Fabbisogno raffrescamento sensibile (Bussero)	<b>Qc sens = 3 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Fabbisogno deumidificazione (Bussero)	<b>Q deum = 4 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Fabbisogno raffrescamento e deumidificazione (Bussero)	<b>Qc = 7 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>ACS</b>	
Fabbisogno energia termica acqua calda sanitaria	<b>Qh,v = 2010 kWh/a</b>
Fabbisogno energia termica al netto delle perdite	<b>Qd,w,in = 2912 kWh/a</b>
<b>EFFICIENZA INVERNALE INVOLUCRO</b>	<b>52 kWh/(m<sup>2</sup>a) (cl. C)</b>
<b>EFFICIENZA COMPLESSIVA</b>	<b>14 kg CO2/(m<sup>2</sup>a) (cl. A)</b>
<b>CLASSE ENERGETICA: C</b>	

Fig. 4.02



## CASO B

Ripetendo la simulazione dello stesso edificio utilizzando per il ricambio d'aria un recuperatore di calore:

- Ricambio d'aria: **0,50 vol/h** (corrispondente a  $180 \text{ m}^3/\text{h}$ ); si tenga presente che si sta considerando un ricambio d'aria maggiore rispetto al caso precedente,
- Efficienza recupero di calore invernale: **85%**

- Efficienza recupero di calore estiva: **50%**
- Efficienza recupero igrometrica invernale: **40%**
- Assorbimento elettrico specifico: **0,04 Wh/m<sup>2</sup>**
- Ore di funzionamento medie giornaliere: **24**

## INDICATORI DI PRESTAZIONE ENERGETICA

## RISCALDAMENTO

Perdita di calore per trasmissione durante il periodo di riscaldamento	<b>Qt = 6,779 kWh/a</b>
Perdita di calore per ventilazione durante il periodo di riscaldamento	<b>Qv = 1,219 kWh/a</b>
Guadagni per carichi interni durante il periodo di riscaldamento	<b>Qi = 2,365 kWh/a</b>
Guadagni solari durante il periodo di riscaldamento	<b>Qi = 2,736 kWh/a</b>
Fabbisogno di riscaldamento	<b>Qh = 3,992 kWh/a</b>
Rapporto tra guadagni e perdite di calore	<b>64 %</b>
Fattore di utilizzo degli apporti termici	<b>79 %</b>
Fabbisogno di energia termica relativo alla superficie netta (Bussero)	<b>HWBNGF = 30 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Fabbisogno di energia termica relativo alla superficie netta (Milano)	<b>HWBNGF = 35 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Potenza di riscaldamento dell'edificio	<b>P<sub>tot</sub> = 3,4 kW</b>
Potenza di riscaldamento relativa alla superficie netta	<b>P<sub>1</sub> = 25,9 kW</b>
Classe di efficienza energetica dell'involucro	<b>B (35 kWh/(m<sup>2</sup>a))</b>

## RAFFRESCAMENTO

Perdita di calore per trasmissione durante il periodo di raffrescamento	<b>Qt = 2,003 kWh/a</b>
Perdita di calore per ventilazione durante il periodo di raffrescamento	<b>Qv = 1,319 kWh/a</b>
Guadagni per carichi interni durante il periodo di raffrescamento	<b>Qi = 1,707 kWh/a</b>
Guadagni solari durante il periodo di raffrescamento	<b>Qi = 483 kWh/a</b>
Fabbisogno di raffrescamento sensibile	<b>Qh = 337 kWh/a</b>
Rapporto tra guadagni e perdite di calore	<b>66 %</b>
Fattore di utilizzo delle dispersioni termiche	<b>67 %</b>
Fabbisogno raffrescamento sensibile (Bussero)	<b>Qc sens = 2 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Fabbisogno deumidificazione (Bussero)	<b>Q deum = 4 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
Fabbisogno raffrescamento e deumidificazione (Bussero)	<b>Qc = 6 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>

## ACS

Fabbisogno energia termica acqua calda sanitaria	<b>Qh,v = 2010 kWh/a</b>
Fabbisogno energia termica al netto delle perdite	<b>Qd,w,in = 2912 kWh/a</b>
EFFICIENZA INVERNALE INVOLUCRO	<b>35 kWh/(m<sup>2</sup>a) (cl. B)</b>
EFFICIENZA COMPLESSIVA	<b>12 kg CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>a) (cl. Gold)</b>

## CLASSE ENERGETICA: B

Fig. 4.03

Classe CasaClima	Efficienza invernale involucro [kWh/m2a]	Efficienza complessiva [kg CO2/m2a]	Logo CasaClima	
Gold	10	12		
A	30	25		
B	50	43		
C	70	61	12	<b>B</b>
D	90	79		
E	120	108		
F	160	144		
G	>160	>144		

L'utilizzo di un recuperatore di calore ad altissima efficienza consente quindi risparmi in termini energetici, diminuzioni delle emissioni di CO<sub>2</sub> ed il passaggio ad una classe superiore di efficienza energetica.

## CASE HISTORY/2: ESEMPI DI REALIZZAZIONI

### A: LISSONE (MB) – VIA MEUCCI

Fig. 4.04



A Lissone (MB), sul confine con Monza e Veduggio al Lambro, a circa 800 metri dall'entrata del Parco di Monza e 500 metri dall'Università, è sorto un nuovo complesso residenziale di poche unità abitative, in una zona tranquilla e ben servita per il raggiungimento delle grandi città

lombarde. La palazzina signorile, realizzata da Elixir costruzioni Srl, è composta da tre piani di appartamenti per nove unità abitative totali di diversa metratura, dal bilocale al quadrilocale, ed è stata concepita utilizzando tecnologie di ultima generazione e nel rispetto dell'ecosostenibilità ambientale. Dai muri perimetrali in laterizio alleggerito e cartongesso alle finestre ad alta efficienza; dagli isolanti termo-acustici agli impianti radianti di riscaldamento e raffrescamento a pavimento - alimentati da acqua calda o fredda a seconda della stagione e prodotta da macchine in pompa di calore aria/acqua; dai sistemi VMC e di deumidificazione fino all'impianto fotovoltaico da 7,28 kWh, dimensionato in modo da coprire parzialmente i fabbisogni delle pompe di calore: nulla è stato trascurato e tutto è stato progettato con grande attenzione al comfort e all'efficienza, contribuendo a far sì che la palazzina rientrasse in classe energetica A+.

Per una climatizzazione ottimale degli ambienti, è stato scelto di installare in ogni appartamento un impianto di ventilazione meccanica controllata di tipo centralizzato autonomo, che lavora 24 ore al giorno.

Ciascun alloggio è dotato di una macchi-

Fig. 4.05



na a doppio flusso con recupero di calore ad altissima efficienza di recupero termico (>85% in ogni punto di lavoro della curva caratteristica). Le macchine sono dotate di un pannello di controllo che consente manualmente la variazione delle velocità di funzionamento, mentre la funzione di free-cooling è gestita in modo automatico.

Una prima difficoltà, data dalla differenza di metratura degli specifici appartamenti, è stata quella di trovare lo spazio tecnico per la macchina all'interno di ogni singolo alloggio. Vista la presenza

anche di un impianto di deumidificazione canalizzato nei controsoffitti dei corridoi e dei disimpegni, dove si è potuto - e cioè negli appartamenti di maggior metratura in cui si sono potute ricavare nicchie o sgabuzzini - si è optato per macchine a parete; negli appartamenti di dimensioni più contenute, invece, sono stati necessariamente sfruttati i controsoffitti dei bagni. Il dimensionamento delle macchine è stato realizzato considerando una portata nominale che consentisse un tasso di ricambio orario pari a 0,5 volumi/ora.

Il sistema di distribuzione è stato specificatamente studiato appartamento per

appartamento: negli alloggi più piccoli, in cui vi era la possibilità di servire tutti i locali interessati tramite brevi tratti di canale posizionati a soffitto nel disimpegno, si è scelto di utilizzare canali circolari (diametro 125 mm) con diramazioni (stacchi a T) e posizionamento di terminali aria ad alta induzione sopra le porte dei locali. Nelle residenze di maggiori dimensioni si è invece fatto ricorso a sistemi di distribuzione annegati nella struttura a secco; in questo caso il sistema di distribuzione ha previsto, a seconda della portata d'aria, brevi tratti di canale (mandata e ritorno) di diametro 125 o 150 mm, che si attaccano ai due plenum di distribuzione da cui

partono **condotte corrugate (liscie internamente) in PEAD** con trattamento antistatico e antibatterico (diametro interno 63 mm, esterno 75 mm) (fig. 4.06). Le dimensioni contenute hanno

Fig. 4.06



consentito di posizionare i canali, in grado di portare fino a 30-35 mc/h ciascuno, all'interno delle intercapedini delle strutture a secco delle pareti. I canali corrugati sono stati quindi raccordati ai terminali aria tramite appositi plenum per bocchette, che possono avere fino a 3 attacchi in modo da garantire portate di immissione o estrazione fino a 100 mc/h. Per migliorare la miscelazione dell'aria all'interno dei locali i terminali aria in mandata sono stati scelti del tipo ad alta induzione, una tecnologia che permette di dividere il flusso dell'aria immessa in tanti piccoli vortici e, in questo modo, di amalgamarla al meglio

con l'aria ambiente. L'impiego del sistema di distribuzione con canali corrugati di piccole dimensioni posati nelle strutture a secco ha consentito una grande velocità di posa.

Il **sistema VMC** consente in inverno la deumidificazione, poiché il contenuto di umidità assoluta dell'aria esterna è minore rispetto a quello dell'aria di estrazione; in estate, nelle giornate particolarmente afose, il contenuto di umidità assoluta dell'aria esterna è maggiore di quello dell'aria interna di estrazione, per cui si potrebbero creare problemi, legati all'incremento di umidità in ambiente, che farebbero andare in blocco il sistema di raffrescamento radiante presente in ogni appartamento (a causa del raggiungimento del punto di rugiada sul pavimento radiante alimentato ad acqua fredda in stagione estiva). La presenza dell'impianto di deumidificazione canalizzato è importante per consentire il controllo dell'umidità relativa entro il 55%, e, grazie al dimensionamento impostato per garantire 0,8 vol/h di ricircolo aria ambiente, per continuare a ricambiare l'aria con la VMC e assicurare aria pulita negli ambienti anche in situazioni estreme.

Fig. 4.07



#### A: PINEROLO (TO) – VIA XVII FEBBRAIO

In fase di edificazione di una nuova palazzina a Pinerolo (TO), composta da 8 appartamenti, l'Impresa costruttrice SI.RE. sas di Solaro Silvano e Renato, ha deciso di installare degli impianti di Ventilazione Meccanica Controllata per migliorare il comfort degli alloggi.

Obiettivo dell'Impresa era quello di realizzare unità abitative che garantissero il ricambio dell'aria degli ambienti senza sprechi energetici, una temperatura ottimale in ogni stagione dell'anno e il controllo dell'umidità relativa.

Fig. 4.08



L'ing. Andrea Solaro, dello Studio di Progettazione Area Ingegneria di Pinerolo (TO), ha previsto di installare in ogni singolo alloggio un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata con recupero di calore ad altissima efficienza e una batteria idronica di post trattamento in modo da garantire una maggiore qualità dell'aria interna che viene filtrata e ricambiata in maniera corretta e una temperatura sempre confortevole in qualunque stagione dell'anno. Inoltre la batteria di post-trattamento in estate provvede ad una leggera deumidificazione che consente un miglior

funzionamento dell'impianto di raffrescamento radiante di cui sono stati dotati gli appartamenti.

Ognuno degli 8 appartamenti è stato quindi dotato di un impianto centralizzato autonomo di VMC costituito da un recuperatore di calore.

Al fine di non occupare spazi interni alle abitazioni e lasciare all'esterno le possibili

**Fig. 4.09**



fonti di rumorosità, si è pensato di installare le macchine a soffitto in apposite nicchie, posizionate sui terrazzi, isolate termicamente.

**Fig. 4.10**



Le nicchie sono state dotate di pannelli amovibili inferiori per consentire l'accesso ai macchinari per la manutenzione ordinaria e straordinaria.

Le canalizzazioni di distribuzione dell'aria negli appartamenti sono

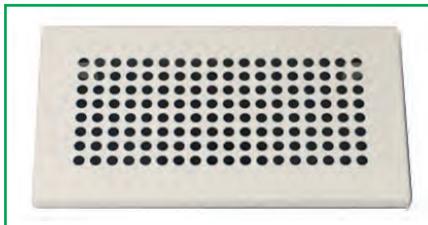
state collocate nei controsoffitti. Sono stati utilizzati canali in materiale plastico

(PVC alimentare) e quelli di mandata sono stati isolati esternamente per scongiurare eventuali condense sulla superficie nella stagione estiva.

La scelta dei terminali d'aria è ricaduta su modelli ad alta induzione (bocchette forellinate) per una migliore miscelazione dell'aria immessa con l'aria ambiente.

La batteria idronica di post-trattamento a 4 ranghi viene alimentata ad acqua refrigerata in estate per post-raffreddare e deumidificare l'aria di mandata o alimentata ad acqua calda in inverno per post-riscaldare l'aria immessa. Il controllo della alimentazione idronica della batteria è integrato al controllo della mandata dell'acqua nel sistema di riscaldamento/raffrescamento a pavimento radiante.

**Fig. 4.11**



## L'ARIA È VITA

### VORTICE, IL SEGRETO DEL SUCCESSO NEL MONDO.



1954 - A Milano, in una piccola cantina di Viale Montenero, dove il padre Ettore svolge la sua attività di lattoniere, Attilio Pagani (1929 – 2010) crea il primo aspiratore per cappe realizzato in resina termoindurente, che darà anche il nome all'azienda: Vortice®.

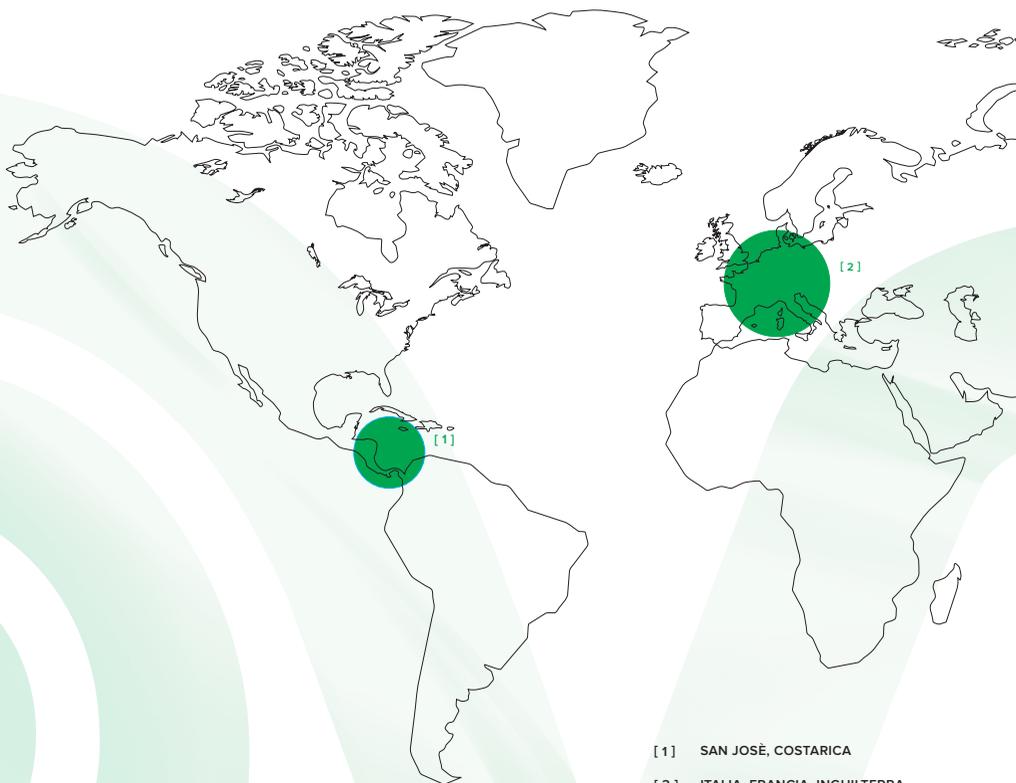
L'innovazione dovuta al materiale utilizzato ma soprattutto alla ricerca di una purezza di linee e di forme gli varrà la Segnalazione d'Onore al Compasso d'Oro, il più antico ed autorevole premio mondiale di design. Innovazione e sperimentazione sono alla base della filosofia dell'azienda, che amplia la gamma dei prodotti offerti con lo sviluppo dei "ventilatori" elicoidali da vetro e di quelli centrifughi assiali per bagni e cucine. Nel 1963 nasce MAGICFILTER, la prima cappa europea dotata di un filtro in carboncocco, materiale utilizzato per filtrare l'aria di ricircolo nei sommergibili atomici e nelle capsule spaziali. Di lì a pochi anni nascerà VORTRONIC, primo depuratore d'aria italiano e tra i primi nel mondo. Vortice® diventa standard di riferimento nel settore aspiratori residenziali e commerciali. Nascono prodotti destinati a segnare un'epoca: BIDONE ASPIRATUTTO, I VENTILATORI a soffitto

NORDIK e da tavolo ARIANTE progettato in collaborazione con Marco Zanuso, che ottiene il primo Compasso d'Oro per Vortice®, suggellando così il legame forma/funzione d'uso che rappresenta il filo rosso conduttore della produzione Vortice®.

Avviene il consolidamento: a fianco di una offerta di prodotti per la ventilazione residenziale che è oramai il riferimento nel mercato italiano, il catalogo Vortice® si arricchisce di soluzioni per l'aspirazione commerciale e industriale, per il riscaldamento elettrico e, prima azienda in Italia, di prodotti per il condizionamento dedicati al canale del grossista elettrico. Nel nuovo secolo, le nuove normative sempre più stringenti sul tema della riduzione dei consumi e dell'efficienza energetica unite agli effetti di una delle crisi mondiali più profonde della storia cambiano i mercati. Vortice® risponde alla situazione attuando una strategia di espansione di canale distributivo, di spinta all'internazionalizzazione e di allargamento al business della ventilazione industriale, rinnovando profondamente il catalogo prodotti e l'organizzazione.

La sede storica di Vortice Elettrosociali SpA è a Tribiano (Milano) dove lavorano circa 160 persone: da essa dipendono la filiale francese di Vortice France (aperta nel 1974 con sede a Parigi), la filiale inglese Vortice UK Ltd (aperta nel 1977 con sede a Burton on Trent) e la società Loran (acquisita nel 2010 con sede a Isola della Scala – Verona) dove il Gruppo concentra il proprio know-how nel settore del trattamento aria industriale.

Vortice Ventilation System ha invece sede a Changzhou in Cina: fondata nel 2012, è dedicata alla progettazione, produzione e commercializzazione di prodotti specifici per il mercato cinese. Vortice Latam ha sede a San José in Costa Rica: fondata nel 2012, è una società commerciale che ha l'obiettivo di presidiare lo sviluppo del mercato sud americano e dell'America Latina in particolare.



[ 1 ] SAN JOSÉ, COSTARICA

[ 2 ] ITALIA, FRANCIA, INGHILTERRA

[ 3 ] CHANGZHOU, CINA

## LA RICERCA DELLA QUALITÀ TOTALE

Partecipazione e responsabilizzazione che coinvolgono tutte le risorse aziendali, a tutti i livelli. Un processo di scelte, analisi, verifiche ed esperienze che rende ogni elemento parte fondamentale della produzione e dei servizi Vortice®. L'obiettivo comune e condiviso è far sì che ogni prodotto e i servizi che lo completano siano espressione dinamica e palpabile di Qualità Totale.

## LA SICUREZZA E LE PRESTAZIONI

Efficacia e sicurezza: un binomio indissolubile che fin dalle origini è alla base della filosofia Vortice®, che infatti è stata tra le prime aziende italiane a conseguire con i propri apparecchi le certificazioni IMQ di sicurezza (marchio IMQ) e prestazione (marchio IMQ PERFORMANCE). Tali certificazioni, ed i marchi conseguenti applicati ai prodotti, sono rilasciati dall'Istituto del Marchio di Qualità (IMQ), ente indipendente e senza scopo di lucro, fondato per iniziativa dei maggiori organi scientifici e tecnici italiani del settore elettrico, con l'obiettivo di certificare la sicurezza e le prestazioni dei prodotti elettrici. La professionalità e la serietà dell'impegno Vortice® si distinguono anche per il conseguimento, da parte del Laboratorio R&D, della certificazione WMT (Witnessed Manufacturer's Testing), che riconosce la piena conformità delle verifiche condotte alle normative internazionali attinenti la sicurezza degli apparecchi elettrici. Dal 2013 inoltre il Laboratorio è inserito nel Test Data Acceptance Program dell'ente tedesco VDE, tra i principali attori europei nel campo delle verifiche e delle certificazioni di prodotti elettrici, elettronici e dell'IT.



## IL BENESSERE DEGLI AMBIENTI CHIUSI

La nostra mission: operiamo per contribuire al benessere e al progresso sociale attraverso prodotti che muovono l'aria in modo efficiente e sicuro, nel rispetto dell'ambiente e della persona.

Vivere in un ambiente confortevole e "sano", far sì che l'aria che respiriamo sia il più possibile pura e priva di agenti inquinanti, poter gestire il microclima in termini di caldo, freddo ed umidità: bisogni primari per il nostro benessere fisico.

La crescente attenzione contemporanea per la qualità dell'aria e della vita trova in Vortice® un fautore con oltre 60 anni di impegno ed esperienza, consolidata da una costante e continua evoluzione tecnologica, con lo scopo finale di offrire prodotti che migliorino la vita e l'aria di tutti gli ambienti: in casa, al lavoro e nel tempo libero.

## CERTIFICAZIONI

Nel 1988 Vortice® ottiene la certificazione per il sistema di qualità aziendale dal BSI (British Standard Institution). Attualmente Vortice® è in possesso della certificazione secondo le norme UNI EN ISO 9001:2008 del CSQ-CISQ per la progettazione, produzione e commercializzazione di apparecchi industriali

e domestici per il trattamento dell'aria. La conformità del sistema qualità Vortice® alle norme citate è riconosciuta a livello internazionale attraverso il certificato IQNET.

Vortice® partecipa inoltre con i suoi prodotti, sistemi e prestazioni a costruire e risanare edifici ad alta efficienza e sostenibilità.



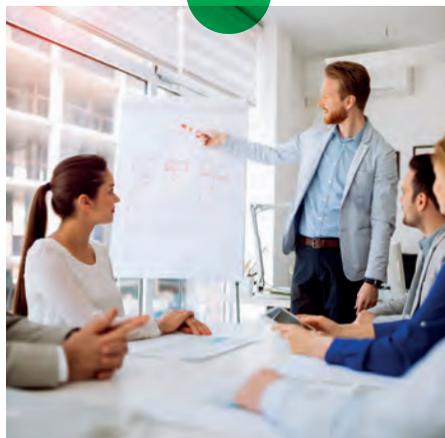




**SOLUZIONE  
PER OGNI  
PROBLEMA DI  
VENTILAZIONE.**

## FORMAZIONE E AGGIORNAMENTO

Da sempre, Vortice® dedica grande attenzione oltre che alla qualità dei propri prodotti anche alla professionalità degli operatori di tutta la filiera per garantire al Cliente finale la soluzione più adatta alle sue esigenze. Una costante attività di formazione svolta presso la sede Vortice®, presso le sedi dei nostri Clienti e delle Associazioni e Ordini di categoria completa il quadro dei Servizi che Vortice® è in grado di offrire.



## IL SERVIZIO OLTRE IL PRODOTTO

L'assistenza Pre-Vendita e Post-Vendita hanno un ruolo di primo piano: il Servizio Tecnico Prevendita si occupa di suggerire il prodotto o l'impianto più adatto alle varie esigenze, mentre i 140 Centri di Assistenza Tecnica si avvalgono di personale tecnico qualificato e sempre pronto a risolvere eventuali problemi e a dare consigli, oltre a garantire disponibilità di ricambi e materiali di consumo, che si tratti di interventi in garanzia o fuori.

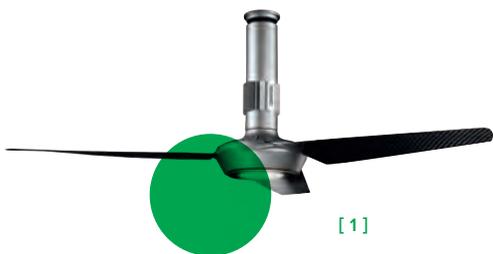
## DESIGN

Fin dal prodotto che diede il nome all'azienda, uno dei valori fondanti di Vortice® è l'attenzione assoluta al design dei prodotti. Si tratta di oggetti destinati a vivere vicino a noi e quindi a migliorare la qualità della nostra vita; per questo è fondamentale che risultino anche piacevoli alla vista, ergonomici e funzionali. L'aspetto estetico dei prodotti raggiunge un altissimo livello grazie alla collaborazione con nomi di prestigio internazionale quali **Zanuso, Sapper, Trabucco e Vecchi**. Il notevole impegno su questo fronte ha sicuramente allungato la vita a molti prodotti e ne ha resi altri addirittura "immortali". Dall'aspiratore VORTICE che diede inizio a tutto, passando dal Compasso d'Oro di ARIANTE fino ai nuovi ventilatori a soffitto NORDIK AIR DESIGN, un unico filo rosso che lega indissolubilmente la cultura del design all'azienda ed ai suoi prodotti.

## PREMI, RICONOSCIMENTI, ESPOSIZIONI.

Forma, funzione e tecnologia utilizzati in una sapiente combinazione per creare prodotti belli ed efficaci: un impegno che negli anni ha visto Vortice® accreditata di premi e riconoscimenti dal mondo del design. Nel 1979 l'Ariante® di Marco Zanuso riceve il prestigioso Compasso d'Oro. Una vasta gamma di ventilatori da soffitto di immediato successo è una subitanea conseguenza, a cui fanno seguito gli apparecchi per il riscaldamento, il termoventilatore Caldofà® e il termoconvettore Caldodò®, dai quali poi si sono sviluppate gamme di prodotti sempre più sofisticati e apprezzati nel mondo. Nel 1987 Vortice® ottiene, come azienda, il Compasso d'Oro "Per la continuità dell'impegno posto nella qualificazione dei prodotti attraverso il design".

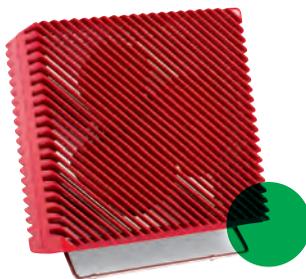
Numerosi prodotti Vortice® sono stati esposti in importanti musei internazionali di immenso prestigio, quali il Moma di New York, il Jerusalem Museum di Israele, il Tamajo di Città del Messico, il museo di Hannover, oltre ad aver partecipato all'Expo di S. Paolo del Brasile.



[ 1 ]

[ 1 ] NORDIK AIR DESIGN

[ 2 ] ARIANTE



[ 2 ]

**DESIGN  
DI PRODOTTO  
SEMPRE IN  
PRIMO PIANO.**



PUBBLICAZIONI TECNICHE VORTICE

**IL RECUPERO ENERGETICO  
NEI SISTEMI DI VENTILAZIONE  
MECCANICA CONTROLLATA**

di Luca Mersi e Roberto Perego

Tutti i diritti riservati.  
**Marzo 2018**



Vortice Elettrosociali S.p.A.

Strada Cerca, 2 Frazione di Zoate - 20067 Tribiano (Milano)

Tel. +39 02 906991 - Fax. +39 02 9064625 - Num. verde 800.555.777

[www.vortice.com](http://www.vortice.com)

