

INDICE della lezione del 5/10/2010 – argomento: Impianti di ricambio aria con recupero entalpico, tipologie e dimensionamento

Sistemi di ventilazione meccanica.. Errore. Il segnalibro non è definito.	
Standard qualitativi per l'aria esterna.....	3
Inquinamento all'interno degli ambienti.....	6
La ventilazione.....	9
Tecniche di ventilazione naturale.....	12
Dispositivi per la ventilazione naturale.....	13
Tecniche di ventilazione forzata.....	13
Sistema igroregolabile.....	14
Tipologie di getti d'aria.....	15
Sistemi di ventilazione sottopavimento.....	18

SISTEMI DI VENTILAZIONE MECCANICA

Lo scopo primario di questi sistemi è il ricambio dell'aria.

Gli scopi dei sistemi di ricambio dell'aria sono due: uno è quello dell'aria fresca che va a ricambiare l'aria viziata, questo viene fatto per mantenere la *indoor air quality*. I valori che soddisfano questa condizioni sono da considerarsi pari a 1 o 1.2 decipol.

Olf – pollution load

- Sensory pollution load in olf:

1 olf is the sensory load on the air from an average sedentary adult in thermal neutrality



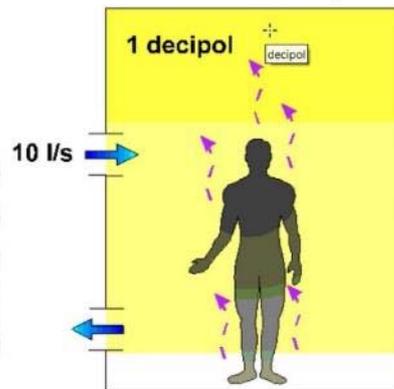
source: www.deparia.com, Vergoni, C

I decipol sono collegati agli OLF, che rappresentano la quantità di cattivo odore che produce una persona in quiete. Una persona in movimento, invece, produce da 2 a 50 decipol.

Decipol

- Perceived air pollution:

1 decipol (dp) is the air quality in a space with the pollution source strength of 1 olf, ventilated by 10 l/s of clean air.



source: www.deparia.com, Vergoni, C

Quindi la causa (dello studio) è l'introduzione di un certo numero di OLF nell'ambiente.

L'effetto è che dentro all'ambiente si forma una certa quantità di inquinanti.

Questa viene misurata, empiricamente, in decipol. Il decipol è definito come la quantità di "puzzo" che si stabilisce in un locale in cui c'è un'immissione di 1 OLF ed un ricambio d'aria di 10 l/s (da cui *decipol*).

Quindi 1 decipol è il valore massimo oltre il quale chi progetta non deve andare.

Vale quindi l'equazione in base alla quale ad ogni olf devo dare 10 l/s di ricambio.

La qualità dell'aria interna (IAQ) in un ambiente è considerata accettabile quando **non** sono presenti inquinanti specifici in concentrazioni dannose e quando almeno gli 80% degli occupanti esprime soddisfazione nei suoi riguardi.

STANDARD QUANTITATIVI PER L'ARIA ESTERNA

Standard per la qualità dell'aria esterna (a lungo termine)	
Biossido di Zolfo	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM10	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Biossido di Azoto	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Piombo	1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Particelle con diametro superiore a 10 μm sono bloccate dalle alte vie respiratorie

Particelle con diametro compreso tra 2,5 e a 10 μm penetrano in bronchi e bronchioli

Particelle con diametro inferiore a 2,5 μm penetrano sino agli alveoli

Il biossido di zolfo è tipico dei motori diesel.

Attenzione all'unità di misura: è una massa diviso un volume.

Il PM10 indica le polveri sottili. Adesso si utilizzano anche le PM2,5 (con diametro di 2,5 micrometri) per le quali il valore è molto più basso, circa 10.

Il biossido di azoto, NO_2 , deriva dai motori a benzina.

Il piombo derivava dai motori a benzina, ma ora non viene più utilizzata la benzina *super*. Era molto tossica contenendo una discreta percentuale di piombo.

Vediamo le unità di misura degli inquinanti appena analizzati:



Misura della concentrazione di inquinanti
mg/m³ = milligrammi di contaminante per m³ di aria
ppm = parti di contaminante per volume per milioni di parti di aria per volume

$$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = \left[8,314 \cdot \frac{(\theta + 273,15)}{\text{PM} \cdot p} \right] \cdot [\text{ppm}]$$

PM = peso molecolare [kg/kmol]
p = pressione della miscela di gas [Pa] (p = 101325 Pa);
θ = temperatura [°C]

$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ indica una massa per unità di volume. È quindi un rapporto volumetrico:

è un numero molto piccolo, per questo motivo viene scritto come *parti per milione* (ppm).

Per passare dalla massa alle ppm si utilizza l'equazione di stato dei gas perfetti, che trasforma la massa in volume.

Richiamo alla fisica:

$$p * V = M * R * T$$

dove:

p = pressione

V = volume

M = massa

$R = \frac{8314}{\mu}$; e μ = massa molare della sostanza, espressa in $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$. È un valore tabellato, lo troviamo sull'apposita tabella di ogni elemento chimico. Ad esempio $\mu(\text{O}_2) = 32 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$.

Ma R deriva da $R_0 = 8314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}}$, costante universale dei gas perfetti.

T = temperatura

Sostituendo R_0 a R abbiamo:

$$p * V = n * R_0 * T$$

dove:

n è il n° di kmol (del gas)

Il concetto è che quando voglio passare dalla massa al volume posso scrivere la formula inversa delle due equazioni scritte sopra.

Ad esempio, partendo dalla prima, avremo:

$$V = M * R * \frac{T}{P} = M * R_0 * \frac{T}{p * \mu}$$

Esempio di conversione in ppm del Biossido di azoto

T = 293 K

p = 101325 Pa

$R_0 = 8314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmolK}}$

Biossido di azoto NO_2

Concentrazione limite: $100 \mu \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$

A quanti ppm corrisponde?

Peso atomico N = 14; Peso atomico O = 16

Quindi peso atomico $\text{NO}_2 = 14 + 16 * 2 = 46 \text{ kg/kmol}$

Concentrazione limite in PPM = $100 * 8314 * \frac{293}{101325 * 46} = 52 \text{ PPM}$

INQUINAMENTO ALL'INTERNO DEGLI AMBIENTI

Tabella che fornisce gli inquinanti chimici:

Generation of pollution from occupants				
	Sensory pollution load olf/occupant	Carbon dioxide l/(h·occupant)	Carbon monoxide ¹⁾ l/(h·occupant)	Water vapour ²⁾ g/(h·occupant)
<i>Sedentary, 1-1.2 met</i>				
0% smokers	1	19		50
20% smokers ³⁾	2	19	$11 \cdot 10^{-3}$	50
40% smokers ³⁾	3	19	$21 \cdot 10^{-3}$	50
<i>Physical exercise</i>				
Low level, 3 met	4	50		200
Medium level, 6 met	10	100		430
high level (athletes), 10 met	20	170		750
<i>Children</i>				
Kindergarten, 3-6 years, 2,7 met	1,2	18		90
School, 14-16 years, 1-1,2 met	1,3	19		50
¹⁾ from tobacco smoking ²⁾ applies for persons close to thermal neutrality ³⁾ average smoking rate 1,2 cigarettes/hour per smoker, emission rate 44 ml CO/cigarette				

Monossido di carbonio: processo di combustione a fiamma libera.

L'umidità (water vapour) è l'inquinante più fastidioso, all'interno di un ambiente chiuso, per le persone. È quella che sentiamo, solitamente, per prima.

La produzione di CO₂ è direttamente proporzionale al metabolismo, ottenuto bruciando il carbonio con l'ossigeno. Questo ci dà l'energia metabolica. Il metabolismo di una persona, infatti, si quantifica misurando i gas espirati.



Ventilare: perché?

- 1 – diluizione e rimozione degli inquinanti indoor;
- 2 – diluizione di inquinanti specifici (odori provenienti da servizi igienici – vapori di cottura;
- 3 – garantire l'aria per l'attività metabolica degli occupanti;
- 4 – garantire il controllo dell'umidità interna ed evitare la formazione di condense e successivamente muffe;
- 5 – fornire il giusto apporto di aria comburente in presenza di apparecchiature a gas per uso domestico

Noi vogliamo diluire l'apporto di inquinanti con un opportuno apporto d'aria. Per fare ciò dobbiamo svolgere un opportuno calcolo che ci permette di controllare l'umidità interna ed evitare la formazione di condense.

ESEMPIO:



Esempio:

ambiente $V = 100 \text{ m}^3$ nel quale si producono $G_v = 350 \text{ g/h}$ di vapor acqueo.

Aria esterna: $t_e = 0^\circ\text{C}$; $\phi_e = 80\%$
Aria interna: $t_i = 20^\circ\text{C}$; $\phi_i = 60\%$
Determinare il ricambio naturale di aria n necessario a mantenere le condizioni interne prefissate.

$$G_v = n \rho_{\text{aria}} V (x_i - x_e)$$

$\rho_{\text{aria}} = 1,2 \text{ kg/ m}^3$
 $x_i = 8,8 \text{ g/ kg}_{\text{as}}$ $x_e = 3,2 \text{ g/ kg}_{\text{as}}$

servirebbero $n = 0,52 \text{ ricambi/ h}$

Queste sono le condizioni di progetto.

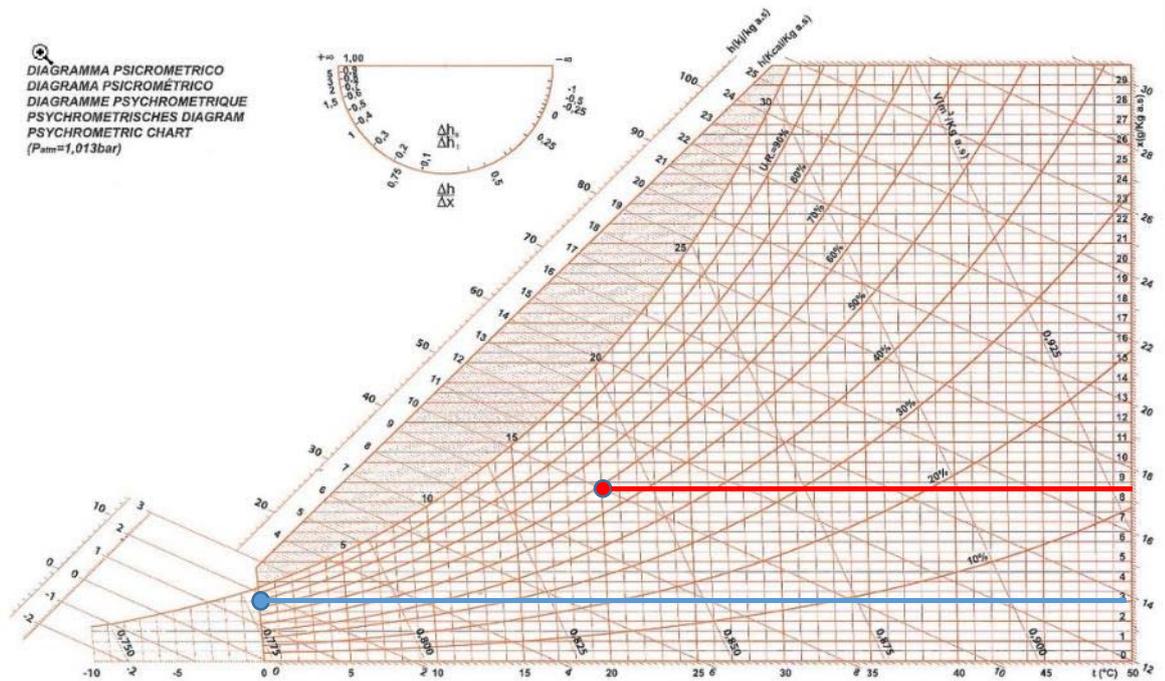
Io devo cambiare l'aria in modo che i 350 g/h se ne vadano.

Il ricambio non vale al 100% perché l'aria che entra non è priva di umidità.

(x_e).

SVOLGIMENTO:

mi serve innanzitutto il diagramma psicrometrico.



● 0° e $\Psi=0.8$

● 20° e $\Psi=0.6$

Dobbiamo leggere i due titoli, tirando due righe orizzontali leggendo i valori dei titoli sull'asse verticale (a destra).

$$x_e = 3 \text{ gv/kga}; x_i = 8.6 \text{ gv/kga}$$

$$x_e = 3 \text{ gv/kga}; x_i = 8.6 \text{ gv/kga}$$

$$\text{quindi: } M_{\text{punto, v}} = M_{\text{punto, a}} * (x_i - x_e)$$

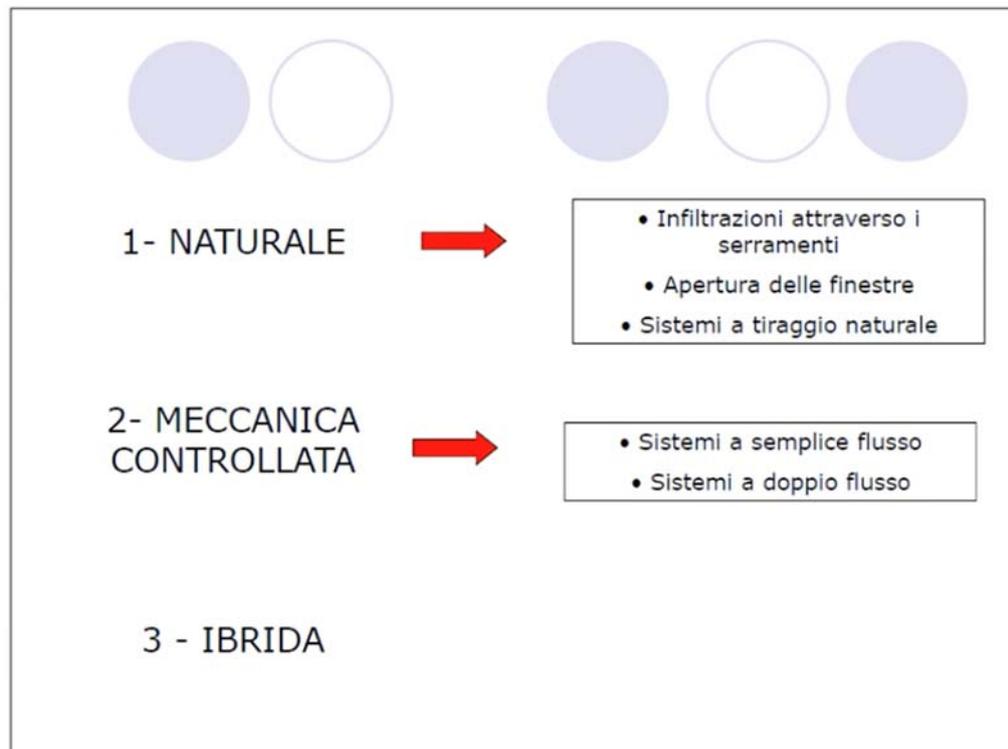
$$\text{vale anche: } M_{\text{punto, a}} = M_{\text{punto, v}} / (x_i - x_e) = 62.5 \text{ kga/h}$$

In volume quanto è?

$$\text{Rho, aria} = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} M_{\text{punto, a}} = 52 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$n = 52/100 = 0.52 \text{ ricambi/h}$$

LA VENTILAZIONE



Vediamo le tecniche per ottenere la ventilazione. Questi sistemi non hanno nulla a che fare con l'impianto di riscaldamento o raffreddamento, hanno, infatti, il solo scopo di ricambiare l'aria.

Questi sistemi possono essere NATURALI, MECCANICI CONTROLLATI O IBRIDI.

I sistemi NATURALI si basano su tre meccanismi.

Il più classico è l'infiltrazione d'aria attraverso i serramenti, il secondo è l'apertura delle finestre. Tuttavia quest'ultimo non è ottimale poiché il ricambio è concentrato in un intervallo di tempo molto breve quindi l'aria si ricambia solo quando apro le finestre.

Infine si hanno i sistemi a tiraggio naturale, molto diffusi in passato quando ogni stanza aveva una canna fumaria. Spesso anche in presenza di una stufa la canna fumaria veniva lasciata aperta e l'aria tendeva ad andarsene fuori naturalmente dalle canne fumarie e si aveva ricambio.

I SISTEMI MECCANICI sono i più moderni, in particolare quelli a doppio flusso che consentono un grande recupero di energia.

Durante la stagione invernale, grazie a questi sistemi, il calore portato via dall'aria calda in uscita viene ceduto in buona parte all'aria fredda in entrata.

Tornando all'esercizio sul controllo dell'umidità abbiamo visto che devo ricambiare

62.5 kga/h, vediamo quanto calore Q_{punto} viene perso durante questa operazione.

Svolgimento:

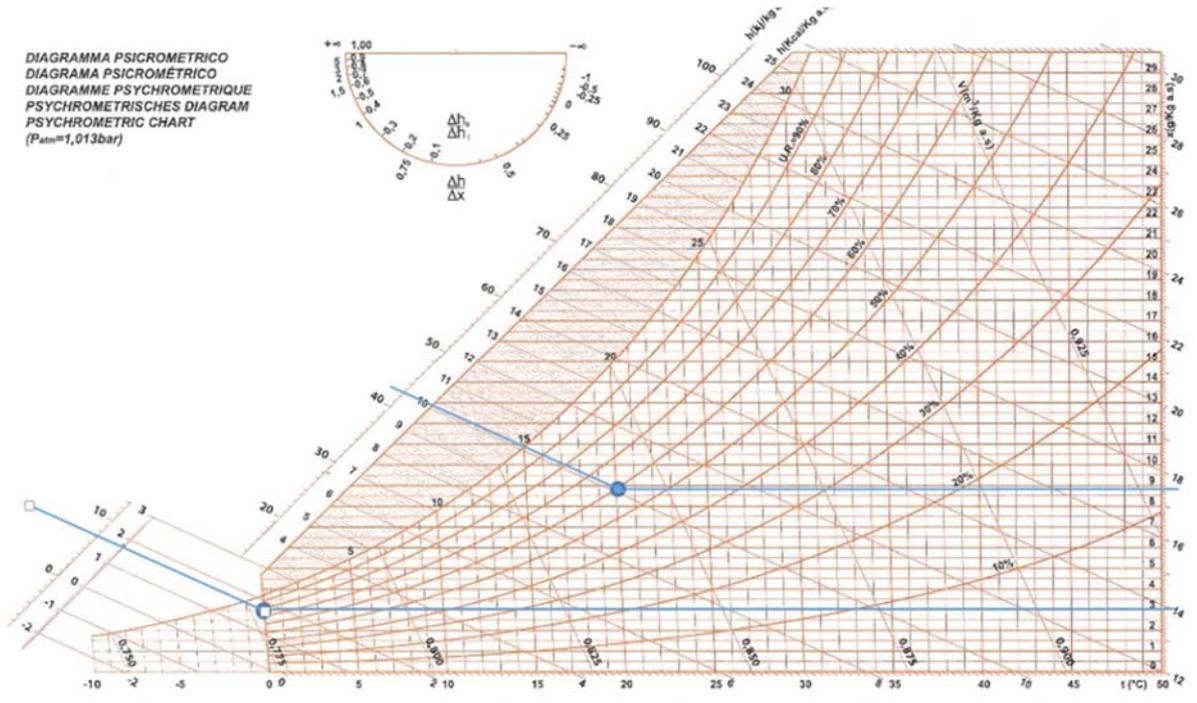
$$Q_{\text{punto}} = M_{\text{punto},a} * (J_i - J_e)$$

$$Q_{\text{punto}} = M_{\text{punto},a} * (J_i - J_e)$$

$$M_{\text{punto},a} = 62.5 \frac{\text{kg}_a}{\text{h}} = \frac{62.5}{3600} = 0.0174 \frac{\text{kg}_a}{\text{s}}$$

J = entalpia specifica in kJ/kg

Per calcolare l'entalpia devo utilizzare nuovamente il diagramma psicometrico:



$$J_i = 42.5 \text{ kJ/kg}$$

$$J_e = 7 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{\text{punto}} = M_{\text{punto},a} * (J_i - J_e) = 0.0174 * (42.5 - 7) = 0.6163 \text{ kW} = 616.3$$

W

Avrei quindi bisogno di una stufetta da 616 W per riscaldare l'aria fredda esterna che entra a sostituire l'aria calda interna che fuoriesce.

Il nostro traguardo sarà recuperare buona parte di questi 616 W, tuttavia non potrò recuperarli tutti perché un sistema di ventilazione meccanica controllata molto efficiente ha un recupero massimo dell'85%.

$$\text{Efficienza della VMC} = \frac{Q_{\text{rec}}}{Q_{\text{tot}}} = 85\% = 0.85$$

$$Q_{\text{recuperato dalla VMC}} = \text{Eff} * Q_{\text{totale}} = 616 * 0.85 = 523.6 \text{ W}$$

$$\text{Effettivo fabbisogno energetico} = Q_{\text{punto}} - Q_{\text{rec}} = 616 - 523.6 = 92.4 \text{ W}$$

Anzi che 616 W basta fornirne 92.4 perché gli altri li recupera la VMC quindi anche a livello di costi ho un grande recupero grazie a questi sistemi.

TECNICHE DI VENTILAZIONE NATURALE

Ventilazione naturale

I flussi di aria in un edificio possono essere generati in modo non intenzionale.

Si parla in questo caso di infiltrazioni (air leakages)

Le infiltrazioni sono generate da differenze di pressione tra interno ed esterno a causa di:

- vento;
- differenze di temperatura ;
- componenti meccanici (ventilatori)



Il vento che spinge sull'edificio crea differenze di pressione che infiltrandosi nei serramenti producono ricambio d'aria naturale.

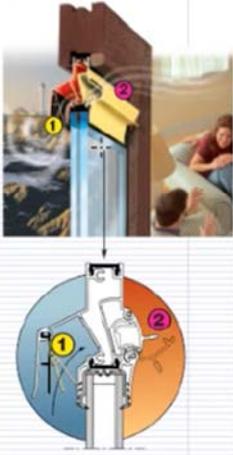
Un esempio significativo è il sistema delle facciate ventilate, queste funzionano a camino ed un pozzetto centrale funziona anche esso da camino. Un sistema di questo genere produce un ricambio d'aria naturale e durante il periodo invernale grazie alle pareti vetrate e all'effetto serra porta all'interno calore. Il ricambio d'aria per tiraggio naturale funziona bene dal punto di vista degli apporti di volume d'aria, ma è pessimo dal punto di vista termico perché in basso ci sarà freddo mentre in alto caldo dato che l'aria calda tende a salire.

DISPOSITIVI PER LA VENTILAZIONE NATURALE

DISPOSITIVI PER LA VENTILAZIONE NATURALE

Il serramento illustrato è in grado di assicurare una determinata portata d'aria indipendentemente dal valore della pressione agente sulla facciata esterna.

L'aria entra attraverso un deflettore (1), dispositivo che assicura il controllo della portata, e viene introdotta in ambiente attraverso una serranda (2) la cui apertura è a discrezione dell'utente



Questi serramenti sembrano ermetici, ma in realtà permettono il ricambio d'aria tramite i fori di passaggio nel controtelaio. Questi sistemi funzionano bene dal punto di vista acustico, infatti fanno entrare aria e contemporaneamente isolano acusticamente.

TECNICHE DI VENTILAZIONE FORZATA O MECCANICA

Esistono sistemi centralizzati per l'edilizia residenziale prodotti dall'ALDES che tolgono calore dall'aria che esce per cederlo all'aria che entra tramite uno scambiatore.



Questi sistemi sono l'equivalente di un impianto di riscaldamento centralizzato.

Solo grazie a questi sistemi di ventilazione meccanica con recupero di calore a doppio flusso si riesce a raggiungere la classe energetica "A".



Spesso nell'edilizia residenziale l'installazione di un sistema centralizzato non è ben visto. In un condominio sarebbe meglio un sistema individuale. I più semplici sono degli estrattori che tirano fuori l'aria viziata e permettono un ricambio, tuttavia un sistema a semplice flusso di questo tipo non ha recupero energetico.

Per un recupero energetico, anche se per singolo appartamento è necessario un sistema canalizzato a doppio flusso.

Questi dispositivi, sebbene di piccole dimensioni sono macchine a doppio flusso con recupero di calore. Basta creare un buco nella parete, sono facili da installare ed occupano poco spazio.

SISTEMA IGROREGOLABILE

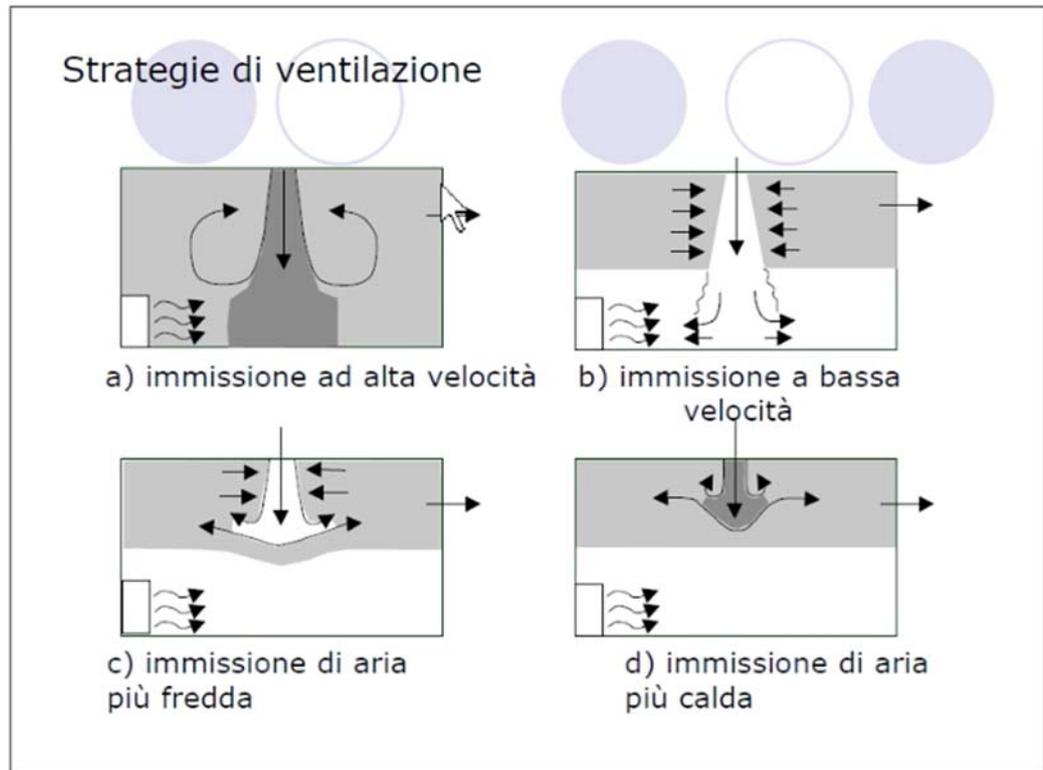
Si tratta dell'edificio proattivo, intelligente e sensorizzato. In ogni stanza vi sono dei sensori di umidità che attivano la ventilazione solo negli ambienti in

cui vi sono le persone, è inutile ventilare l'aria in ambienti in cui non vi è ricambio d'aria.



TIPOLOGIE DI GETTI D'ARIA

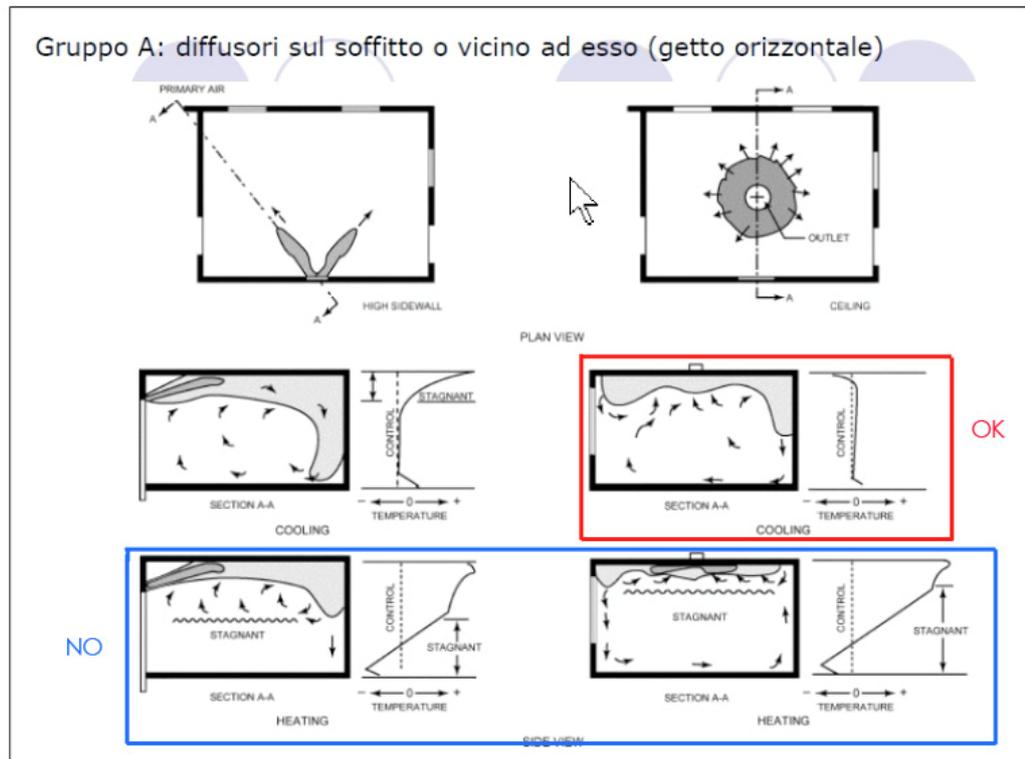
La scelta di diverse bocchette e quindi di getti più o meno convogliati può portare ad un ricambio d'aria più o meno buono nel locale o addirittura inefficace



A- Il getto ad alta velocità produce un ottimo ricambio di aria nei locali, ma ha il grosso difetto di essere rumoroso.

B- Con un'immissione a bassa velocità l'aria tende a stratificarsi, l'aria calda rimane in alto mentre quella fredda sta in basso e non si ha omogeneità di temperatura.

Sono stati sviluppati sistemi che inducono volutamente questi moti di circolazione



Quando il sistema di ventilazione funziona, l'aria circola e la distribuzione di temperatura è quasi uniforme.

Viceversa quando non funziona si creano forti gradienti di temperatura pavimento / soffitto e si crea una zona d'aria stagnante che non viene ricambiata.

La scelta della posizione delle bocchette influenza la circolazione d'aria nei locali.

Uno dei sistemi maggiormente utilizzati è il cosiddetto sistema di ricambio di VENTILAZIONE A DISLOCAMENTO: se io introduco aria in basso e la aspiro in alto, automaticamente l'aria che introduco spingerà via l'aria viziata. Tuttavia si creano comunque dei gradienti di temperatura.

SISTEMI DI VENTILAZIONE SOTTOPAVIMENTO

Questi sistemi sono maggiormente diffusi negli uffici dove vi sono i pavimenti galleggianti nei quali le mattonelle del pavimento sono estraibili e, sotto di esse, vengono posizionati i vari impianti. Vengono quindi inserite le bocchette nel pavimento e, grazie all'estrazione nel controsoffitto, si ottiene questo effetto dislocamento dell'aria da pavimento a soffitto con un ricambio totale. Si tratta di una buona soluzione.

A seconda della posizione delle bocchette e degli ugelli l'aria circola in un certo modo, sarà quindi determinante eseguire dei calcoli tramite appositi software.

