



QAES - Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici

Strategie generali per il miglioramento dell'IAQ nelle scuole

Mirko Zancarli, Agenzia per l'Energia Alto Adige-CasaClima



Programma di Cooperazione Interreg V A "Italia – Svizzera 2014-2020"
Progetto "Qualità dell'Aria negli Edifici Scolastici - QAES" (ID n. 613474)



PREMESSA

Per una corretta implementazione delle presenti linee guida non è possibile prescindere dalla conoscenza dei seguenti aspetti:

- principali fonti di inquinanti negli ambienti scolastici --> Task 3.1
- quadro legislativo e normativo sulla qualità dell'aria nelle scuole --> Task 3.2
- strumenti e tecniche di misura degli inquinanti e dei ricambi d'aria --> Task 4.1
- analisi di mercato con focus su soluzioni disponibili --> Task 3.3

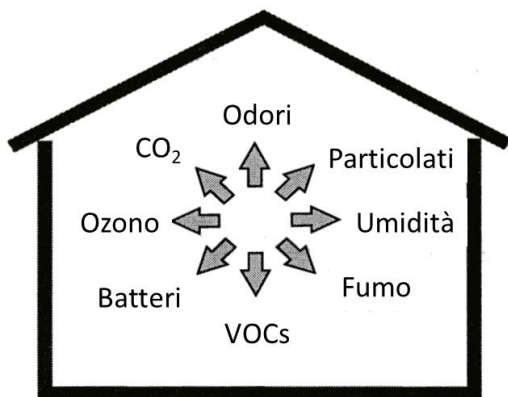
<https://www.qaes.it/deliverables>



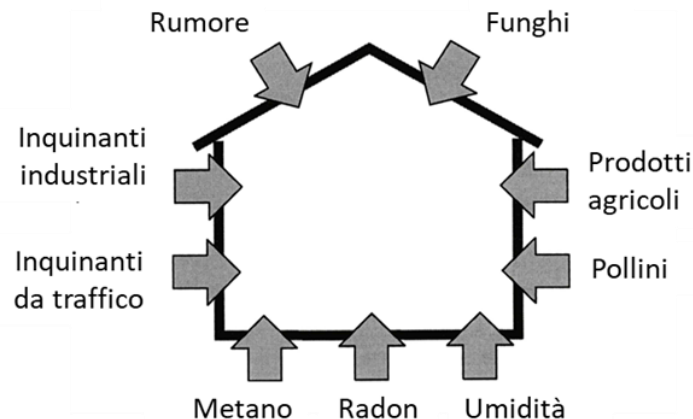
QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

Qualità accettabile dell'aria interna: "aria in cui non sono presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni pericolose secondo quanto stabilito dalle autorità competenti e rispetto alla quale la maggioranza delle persone esposte (80% o più) non esprime insoddisfazione" [ASHRAE 62.1]

Quali contaminanti?



INTERNI



ESTERNI



Quali fonti?

FONTI INTERNE	INQUINANTI
Sistemi di ventilazione e condizionamento dell'aria	Muffa, polvere, legionella, agenti biologici, batteri
Impianti di generazione a combustione	CO ₂ , CO, PM, PAH, NOx
Arredi e pavimentazioni	VOC (benzene e formaldeide)
Materiali da costruzione	VOC, composti inorganici, PM, fibre minerali
Collanti, pitture, sigillanti, adesivi, vernici	VOC (benzene e formaldeide)
Pannelli in legno composito	Formaldeide
Prodotti tessili	Formaldeide, acari della polvere
Detergenti e disinfettanti	VOC, PM, PAH
Occupanti	CO₂, agenti biologici (virus e batteri), PM
Attrezzature per ufficio/scuole	VOC, ozono, PM

FONTI ESTERNE	INQUINANTI
Vento, calpestio, indumenti, ecc...	Pollini, polvere, spore, muffe, ecc...
Industrie, traffico veicolare	PM, PAH, NOx, SOx, VOC (benzene)
Fonti sotterranee, perdite da serbatoi di stoccaggio	Radon, pesticidi



QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA

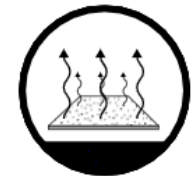
Come controllare le concentrazioni di inquinanti raggiunte negli ambienti interni?

Due macro-aree di intervento:

1) ventilazione (esercizio, gestione e manutenzione)



2) utilizzo di materiali e prodotti basso emissivi (edili, arredamenti, igiene)



Ulteriori interventi:

3) controllo dell'umidità e protezione da condense e muffe



4) prevenzione e mitigazione del problema radon





VENTILAZIONE

La ventilazione consente di diluire gli inquinanti presenti all'interno degli ambienti occupati e può essere esercitata in tre diverse modalità: naturale, meccanica o ibrida.

Le portate di ventilazione possono essere desunte dalle **norme vigenti**:

- UNI 10339 --> valori predefiniti
- UNI EN 16798-1 --> tre metodi di calcolo

condizioni
stazionarie

Method 2 using criteria for individual substances:
$$Q = \frac{G_h}{E_v(C_{h,i} - C_{h,o})} \quad [m^3/s]$$

dove G_h è il tasso di emissione dell'inquinante in $[\mu g/s]$, E_v è l'efficienza di ventilazione, mentre $C_{h,i}$ e $C_{h,o}$ sono, rispettivamente, la concentrazione limite dell'inquinante nell'aria interna e la concentrazione nell'aria di mandata, entrambe espresse in $[\mu g/m^3]$.

Dagli **studi di letteratura**: portata non inferiore a 8 l/s per persona durante le ore di occupazione e di almeno 0.15 l/s·m² altrove.



VENTILAZIONE

La CO₂, che può essere assunta come indicatore dell'andamento degli altri inquinanti, varia in funzione dell'occupazione. Dal **bilancio di massa di CO₂** è possibile calcolare la concentrazione di CO₂ raggiunta al termine di un dato intervallo di tempo:

$$C(t) = C_{t-1} \cdot e^{-Q \cdot t / \rho \cdot V} + \left(\frac{C_{out}}{10^6} + \frac{G}{Q} \right) \left(1 - e^{-Q \cdot t / \rho \cdot V} \right) \quad [kg/kg]$$

dove Q è la portata di ventilazione in [kg/s], G è il tasso di generazione totale di CO₂ in [kg/s], C_{out} è la concentrazione esterna di CO₂ in [kg/kg], t è il tempo in [s], ρ è la densità dell'aria in [kg/m³], V è il volume dell'ambiente occupato in [m³], mentre $C(t)$ e C_{t-1} corrispondono, rispettivamente, alla concentrazione interna di CO₂ al tempo t e $t - 1$, entrambe espresse in [kg/kg].

Ipotesi: concentrazione esterna di CO₂ costante, aria interna ben miscelata, tasso di ventilazione e di generazione di CO₂ entrambi costanti durante ogni time step.

Meccanismo di progettazione e/o verifica della IAQ: vedi tool di calcolo QAES

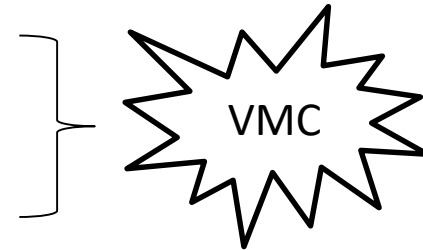


VENTILAZIONE

Criteri di scelta della strategia di ventilazione:

Sebbene sia ancora largamente utilizzata, la ventilazione naturale non è in grado di assicurare una buona IAQ in tutte le seguenti condizioni di esercizio:

- Ambiente esterno densamente trafficato e rumoroso;
- Zone caratterizzate da assenza di vento e/o clima rigido;
- Presenza di isolamento termico interno.



Da un punto di vista puramente qualitativo, si riportano le seguenti osservazioni basate sui gradi giorno annuali (DD):

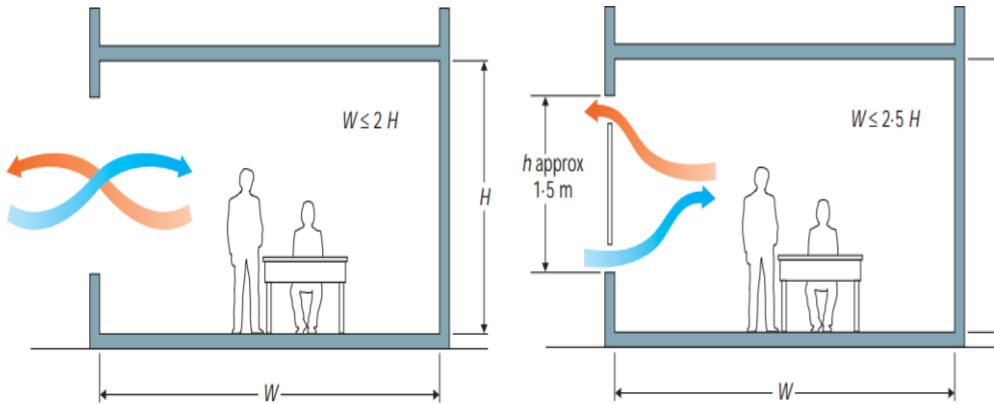
- Climi temperati ($DD < 2000$): ventilazione naturale
- Climi moderati ($2000 < DD < 3000$): ventilazione ibrida
- Climi severi ($DD > 3000$): ventilazione meccanica



VENTILAZIONE NATURALE

- È dovuta alla pressione esercitata dal vento e alla differenza di temperatura tra interno ed esterno --> **dipende dalle condizioni meteo esterne**
- **La portata varia con la geometria e la posizione delle aperture** --> si distinguono tre configurazioni tipiche:

1) ventilazione unilaterale (*single sided ventilation*)

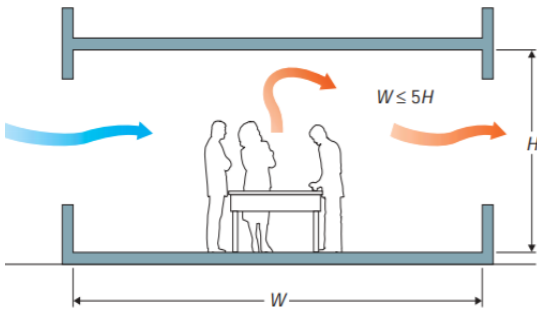


- basse portate ☹️
- possibili correnti fredde ☹️
- profondità ventilabile limitata ☹️



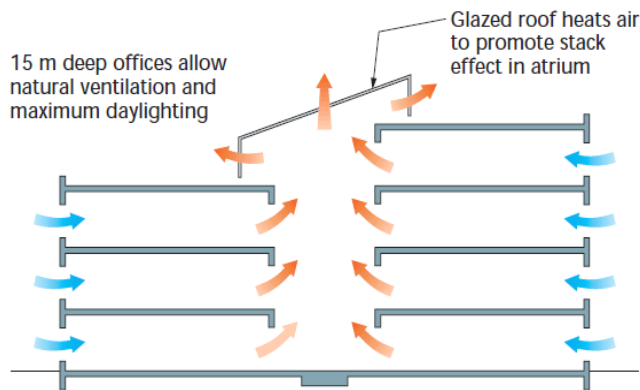
VENTILAZIONE NATURALE

2) ventilazione incrociata (*cross ventilation*)



- maggiori portate 😊
- maggior profondità ventilabile 😊
- tante varianti possibili 😊

3) effetto camino (*stack ventilation*)



- maggiori portate 😊
- maggior profondità ventilabile (fino a 10H) 😊
- buona illuminazione naturale 😊
- accurata progettazione 😐



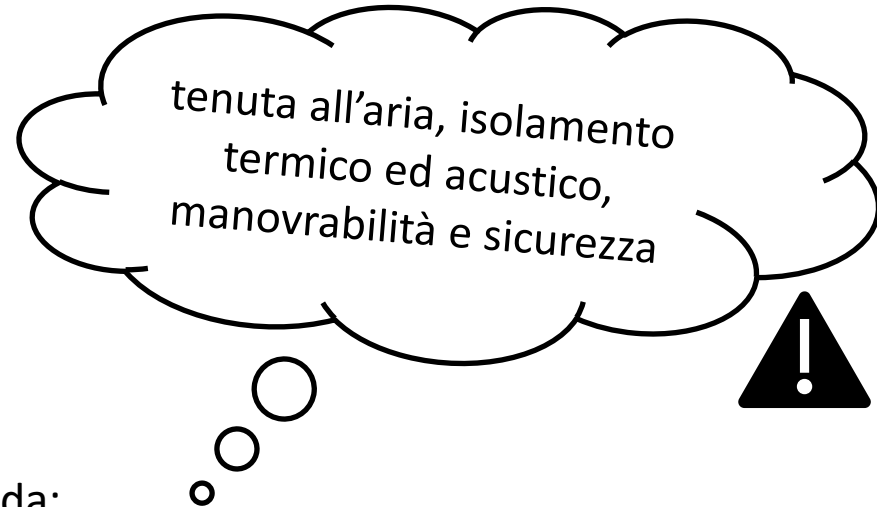
VENTILAZIONE NATURALE

Tecnologie di ventilazione naturale:

- **finestre**, porte e lucernari
- serrande e griglie
- griglie integrate nei serramenti

Le **prestazioni delle finestre** dipendono da:

- dimensione --> portata
- forma e modalità d'apertura --> velocità dell'aria in ingresso e comfort termico
- posizione --> efficienza di ventilazione e distribuzione dei flussi





VENTILAZIONE NATURALE



Bilico orizzontale
(Hor. pivot window)



Battente inferiore
(Tilt window)



Battente laterale
(Turn window)



Ghigliottina verticale
(Double vert. slide window)



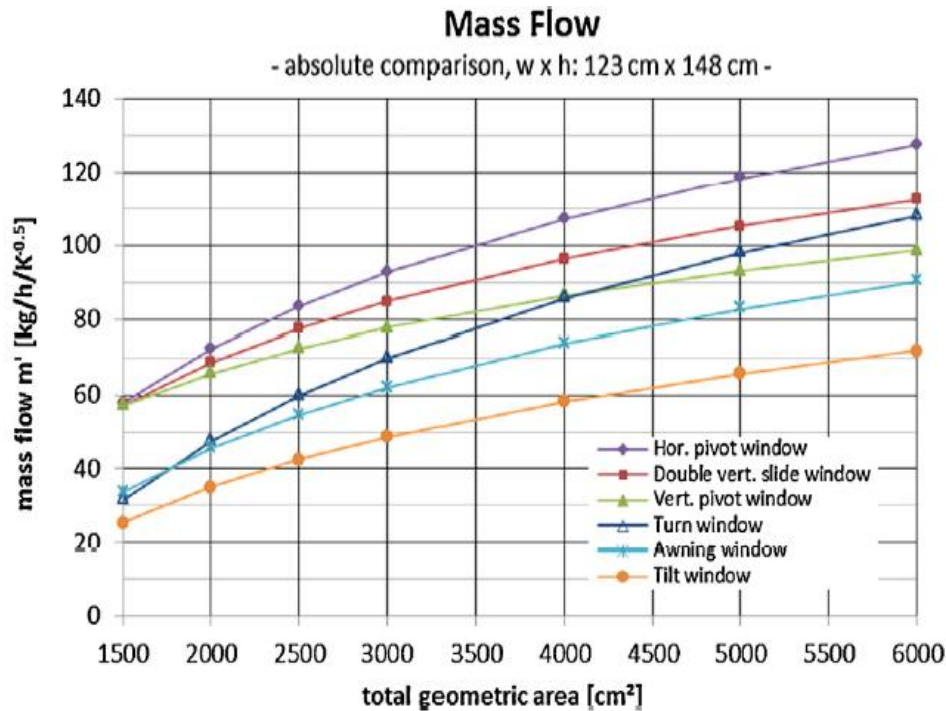
Battente superiore
(Awning window)



Bilico verticale
(Vert. pivot window)



VENTILAZIONE NATURALE

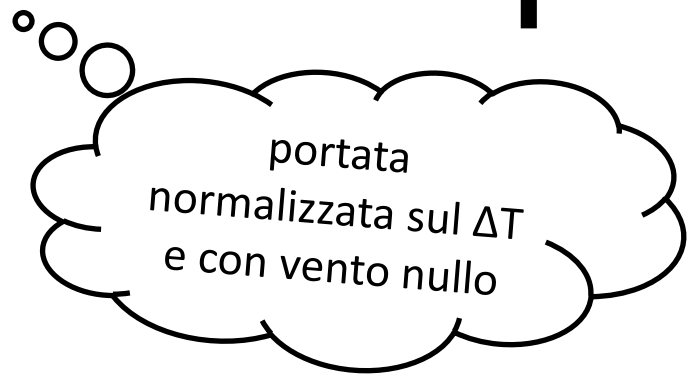


G. von Grabe, P. Svoboda, A. Bäumlner, *Window ventilation efficiency in the case of buoyancy ventilation*, Energy and Buildings, 72 (2014) 203-211.

- bilico orizzontale
- ghigliottina verticale
- bilico verticale
- battente laterale
- battente superiore
- battente inferiore



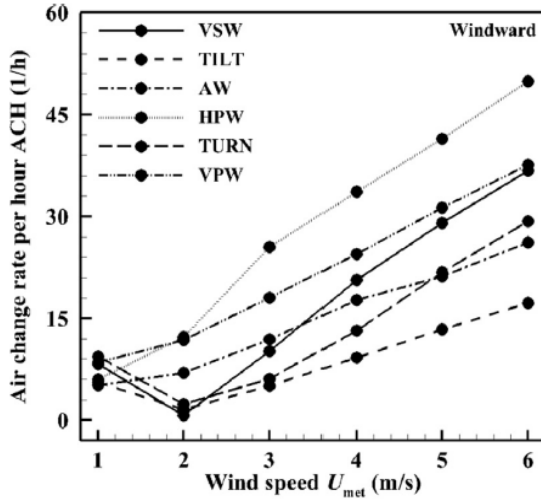
portata



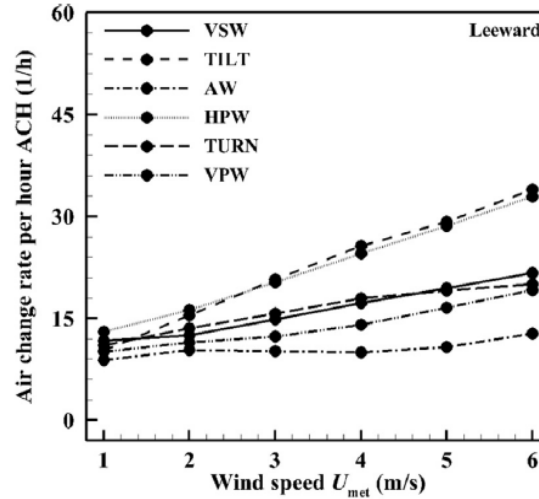
portata
normalizzata sul ΔT
e con vento nullo



VENTILAZIONE NATURALE



(a) Windward



(b) Leeward

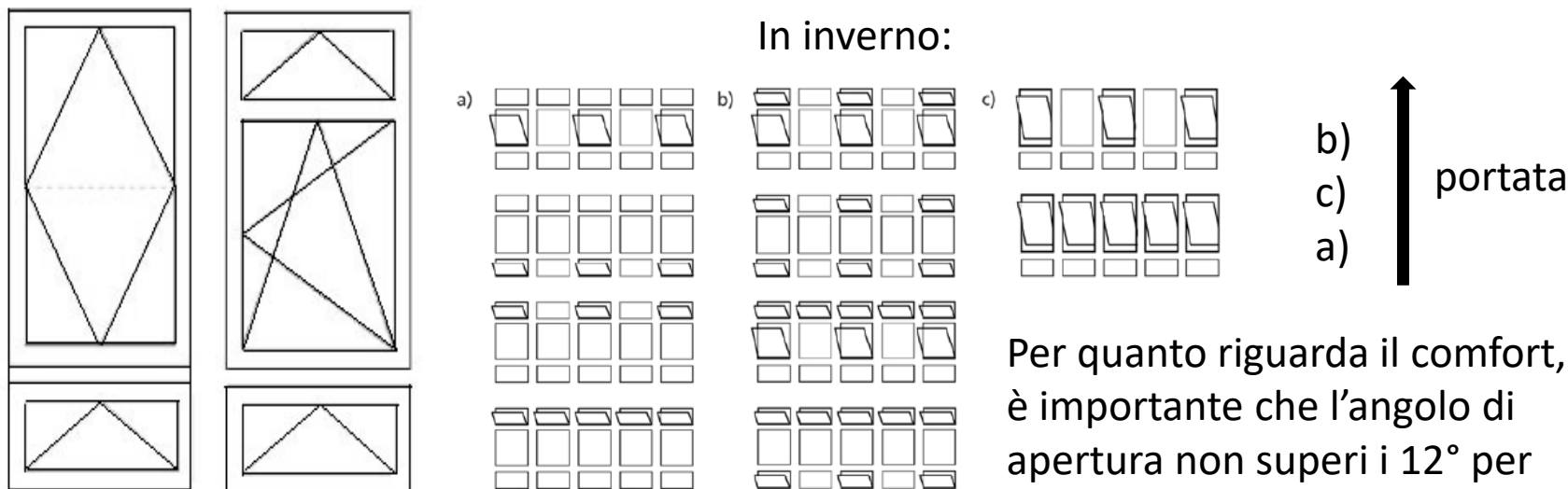


J. Wang, T. Zhang, S. Wang, F. Battaglia, *Numerical investigation of single-sided natural ventilation driven by buoyancy and wind through variable window configurations*, Energy and Buildings, 168 (2018) 147-164.

- lato a favore di vento --> bilico orizzontale
- lato sottovento --> battente inferiore

VENTILAZIONE NATURALE

Un'indagine condotta su numerose scuole tedesche ha dimostrato come una delle soluzioni più performanti con ventilazione unilaterale, anche per ragioni di sicurezza e di automazione, sia quella a battente laterale con meccanismo anta/ribalta e quella a bilico orizzontale, entrambe in combinazione con serramenti a vasistas.



Per quanto riguarda il comfort, è importante che l'angolo di apertura non superi i 12° per evitare correnti d'aria fredde

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, S. Steiger, R. T. Hellwig, *Hybride Lüftungssysteme für Schulen*, Abschlussbericht zum Förderkennzeichen AZ 0327387A, 2011.



VENTILAZIONE NATURALE

La progettazione della ventilazione naturale consta di differenti fasi, che possono essere così elencate:

- 1) design concettuale:** nota la portata d'aria da destinare in ciascun ambiente e le caratteristiche climatiche e morfologiche del sito, viene individuata la strategia di ventilazione naturale da mettere in pratica e allo stesso tempo vengono ricavate alcune indicazioni di massima circa la posizione, la forma e le dimensioni dell'edificio;
- 2) design dettagliato:** vengono dimensionati i serramenti nelle condizioni di progetto, mediante dei tool di simulazione dinamica oppure attraverso dei procedimenti semplificati (equazioni);
- 3) valutazione prestazionale finale:** vengono effettuate delle analisi più dettagliate circa la qualità dell'aria interna e il comfort termico, anche mediante dei sistemi di misura, per controllare che la progettazione soddisfi i target posti come obiettivo.



VENTILAZIONE NATURALE

Per il dimensionamento delle aperture sono disponibili diversi strumenti:

- modelli di flusso attraverso l'involucro;
- fluidodinamica computazionale (CFD);
- modelli termici e di ventilazione combinati;
- modelli in scala fisica.

Modelli di flusso a cella singola attraverso l'involucro:
$$q_i = C_{di} A_i S_i \sqrt{\frac{2|\Delta p_i|}{\rho_0}}$$

dove q_i è la portata in ingresso o in uscita dall' i -esimo serramento in [m³/s], caratterizzato da una certa geometria e da un determinato coefficiente di scarico C_{di} , A_i è l'area effettiva di apertura in [m²], ρ_0 è la densità dell'aria in [kg/m³], Δp_i è la differenza di pressione in [Pa] e S_i è il segno che indica il verso del flusso d'aria.



VENTILAZIONE NATURALE

Parametri noti o da assumere:

- q_i : può essere la portata d'aria richiesta per un'accettabile IAQ (\dot{m}_{IAQ}) oppure la portata necessaria per il raffrescamento passivo (\dot{m}_{cool});
- S_i : +1 se il flusso d'aria è entrante, -1 se è uscente;
- C_{di} : di solito viene fornito dal produttore; altrimenti, possono essere utilizzate della tabelle di letteratura in cui il coefficiente di scarico varia al variare dell'angolo di apertura;
- Δp_i : viene calcolato nelle condizioni di progetto imponendo una differenza di temperatura tra interno ed esterno pari a 3 K e velocità del vento nulla;
- ρ_0 : densità dell'aria in corrispondenza della temperatura di progetto esterna.

Parametri da determinare:

- A_i : è l'area effettiva di apertura nelle condizioni di progetto.



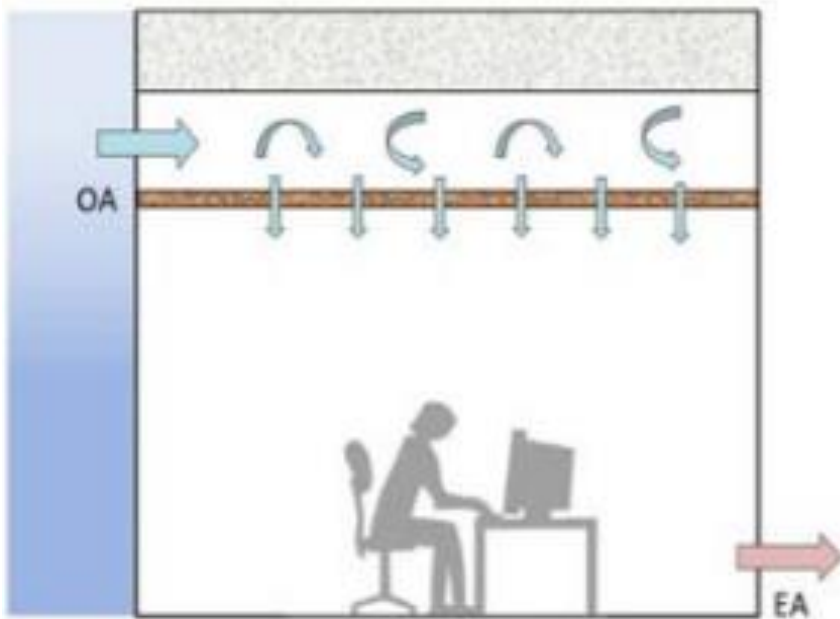
VENTILAZIONE NATURALE



Attenzione al discomfort termico dovuto alle correnti fredde



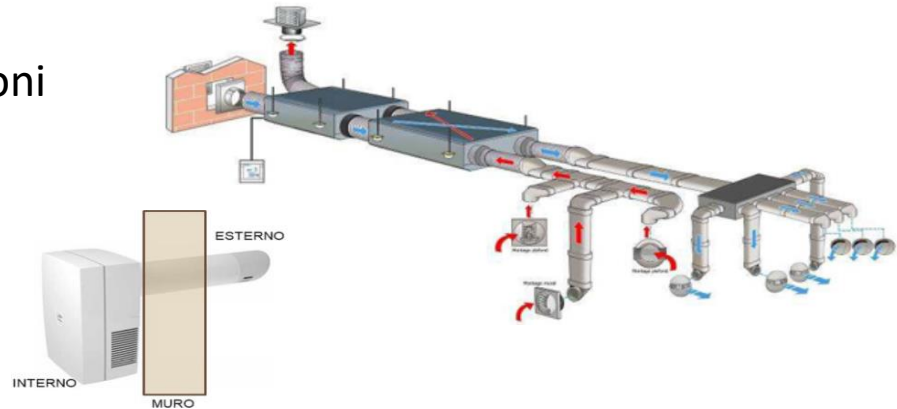
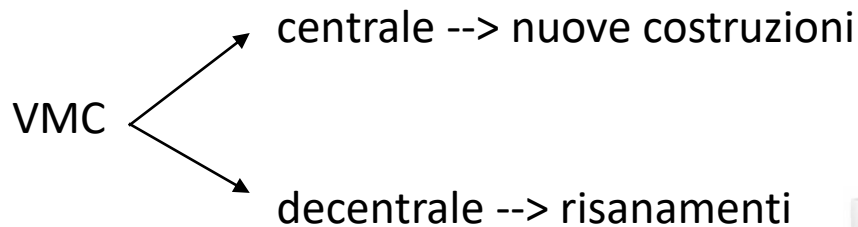
Una tecnologia alternativa in grado di minimizzare il rischio di discomfort in edifici non residenziali come scuole ed uffici, è costituita dai cosiddetti **soffitti diffusi o sospesi**.



- Bassa velocità dell'aria in ingresso
- Basse perdite di carico (< 10 Pa)
- Bassa rumorosità
- Buon ricambio d'aria anche in assenza di vento
- Buona capacità di raffrescamento
- Rischio di condensazione superficiale
- Maggiori ingombri (altezza minima del plenum 20 cm)



VENTILAZIONE MECCANICA



Caratteristiche della VMC:

- controllo del ricambio d'aria in funzione delle reali necessità degli occupanti;
- filtrazione dell'aria esterna;
- riduzione dei consumi energetici grazie al recupero termico e al bypass termico;
- massimizzazione efficienza di ventilazione;
- integrazione con dispositivi di sanificazione dell'aria, come le lampade UVGI;

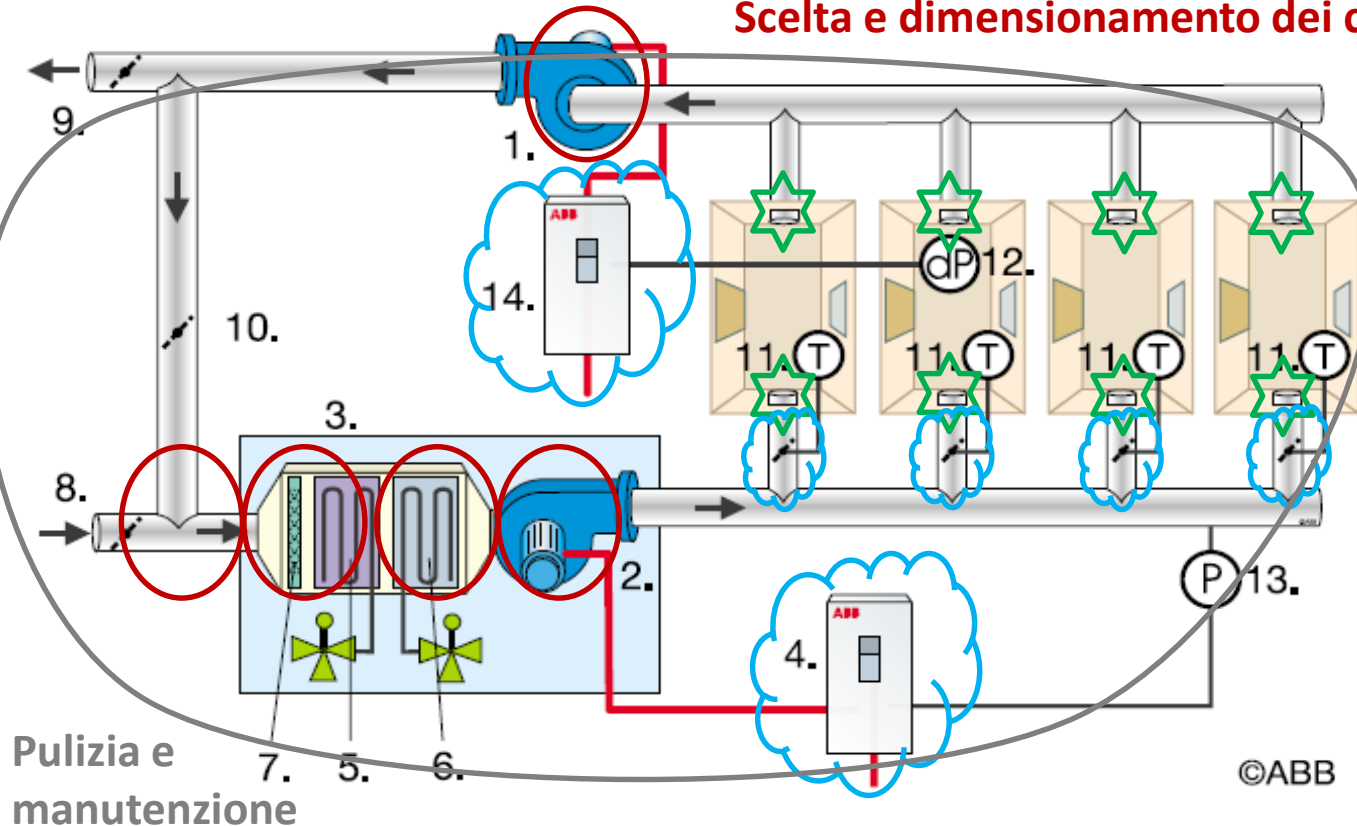
Vedi Regolamento (UE) n. 1253/2014

VENTILAZIONE MECCANICA

Scelta e dimensionamento dei componenti

Disposizione dei terminali

Bilanciamento e controllo della ventilazione



Pulizia e manutenzione

©ABB

Impianto a canale singolo con ventilatori a velocità variabile



FOCUS: VMC e CORONAVIRUS

COSA FARE?

- **Esercizio degli impianti:** massima portata durante le ore di occupazione, così come 2 ore prima e 2 ore dopo le stesse. Portata minima altrove e nelle ore notturne;
- **Ricircolo:** chiusura della serranda di ricircolo e funzionamento con sola aria esterna (ad eccezione degli impianti a tutta aria multizona con ricircolo locale);
- **Bypass:** bypass del recuperatore di calore solo dove sussistano le condizioni per la trasmissione di cariche virali tra il flusso di immissione e quello di ripresa.

È possibile accettare il ricircolo ma solo in presenza di tecnologie in grado di abbattere il bioaerosol, come le lampade UVGI e/o gli ionizzatori NTP.

scambiatori entalpici statici
senza trafile



scambiatori rotativi con
sezione di lavaggio

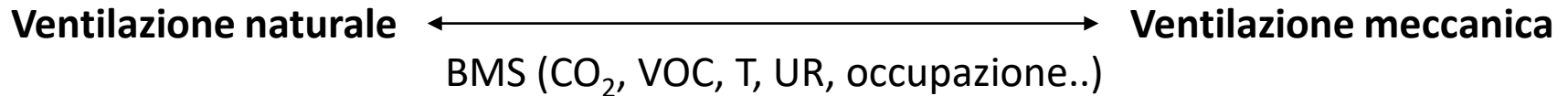


scambiatori entalpici di
vecchia generazione





VENTILAZIONE IBRIDA



Nei sistemi ibridi è possibile sfruttare i principali **vantaggi** delle due modalità, ottenendo:

- la riduzione del consumo di energia, fino al 50% in meno, per il clima dell'Europa centro-settentrionale, esercendo la VN in estate e la VMC in inverno e lasciando al sistema BMS la scelta dell'impianto da utilizzare nelle mezze stagioni [*Steiger et al.*];
- grande flessibilità in fase di esercizio ed elevata rapidità di risposta ad un incremento del carico termico e/o inquinante;

Svantaggi:

- elevati costi d'investimento e complessità in fase di progettazione e di esercizio.

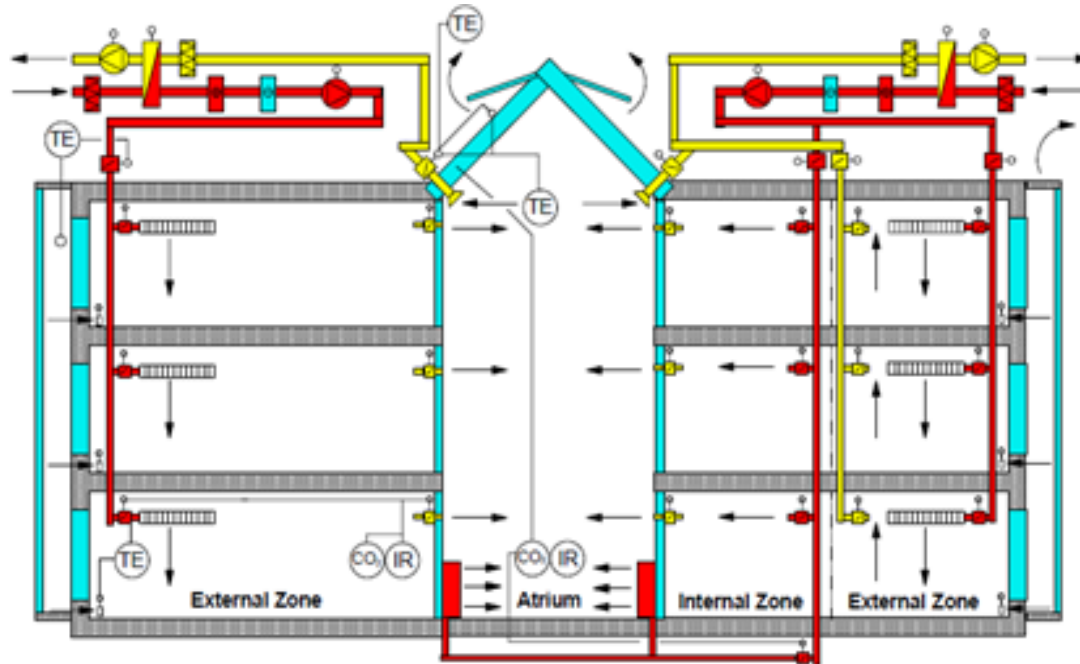


conviene lasciare agli utenti la possibilità di bypassare la regolazione automatica dei serramenti --> minori lamentele per discomfort e aumento della produttività (fino al 18% in più secondo *Ackerly et al.*)

VENTILAZIONE IBRIDA

Tre tipologie di impianti ibridi:

1) Sistemi distinti di ventilazione meccanica e naturale

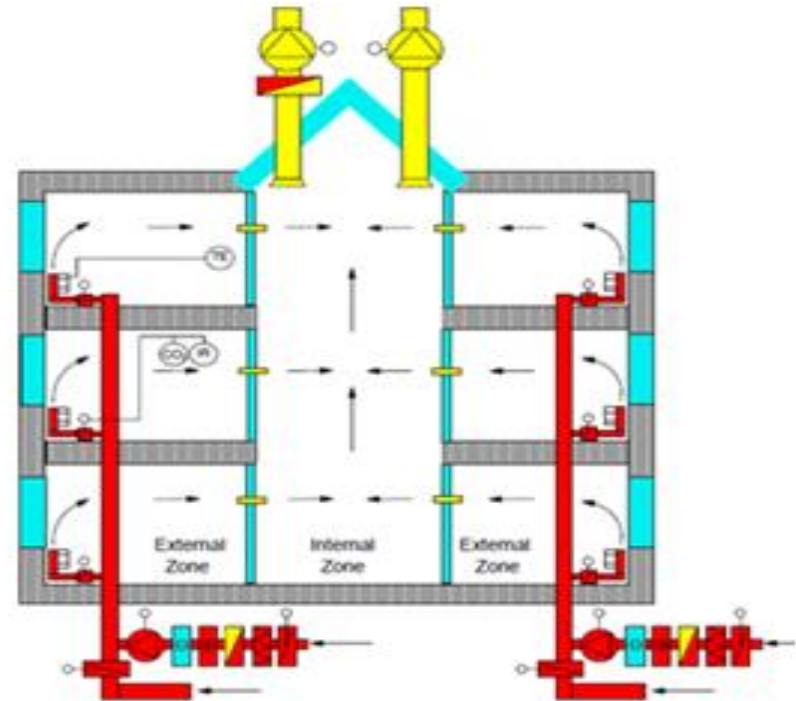
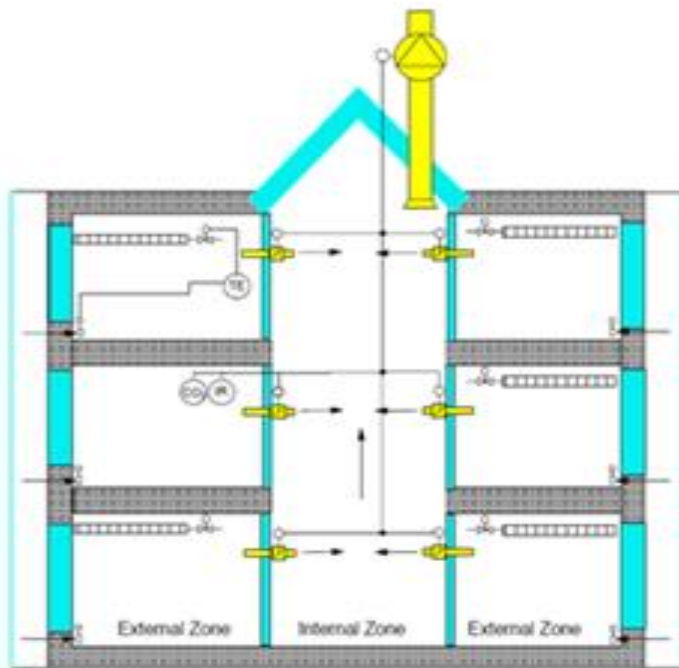


J. Heinonen, R. Kosonen, Hybrid Ventilation Concepts in Commercial Buildings - Indoor Air Quality and Energy Economy Perspective, Proceedings of the Healthy Buildings 2000, Vol. 2.



VENTILAZIONE IBRIDA

2) Ventilazione naturale assistita



3) Ventilazione meccanica assistita dal vento e dalla stratificazione termica



VENTILAZIONE IBRIDA

Strategie di controllo basate su:

- tempo
- IEQ
- occupazione

Regimi di funzionamento:

- simultaneo
- commutativo
- di zona

Possibili logiche di controllo:

- **controllo giornaliero ordinario:** esercizio continuativo della VN, ricorrendo alla VMC solo in caso di superamento di un valore di target, come la concentrazione interna di CO₂ e/o la temperatura;
- **controllo stagionale:** VN nelle stagioni intermedie, VMC in inverno e/o in estate;
- **controllo basato sull'occupazione:** la VMC lavora durante le ore di occupazione, mentre la VN viene utilizzata per il free cooling notturno e nelle ore di pre/post occupazione.



VENTILAZIONE IBRIDA

Case Studies	Type	Control Strategy			
		Indoor air quality	Room temperature	Night ventilation	Mechanical cooling
Wilkinson building	Office	Man.	Man.	-	Man.
IVEG building	Office	PIR	Man.	Aut.	0 ⁵
PROBE building	Office	PIR	Man.	Man.	-
B&O Headquarters	Office	CO ₂	Aut.	Aut.	-
B. Brecht Gymnasium	School	Man.	Man.	Aut.	-
I Guzzini Illuminazione	Office	Man.	Aut.	Aut.	Aut.
Liberty Tower of Meiji University	School	Con.	Aut.	-	Aut.
Tokyo Gas Earth Port	Office	Con.	Aut.	-	Aut.
Fujita Technology Center	Office	Con.	Aut.	Aut.	Aut.
Mediã School	School	CO ₂	Aut.	Aut.	
Jaer School	School	CO ₂	Aut.	Aut.	
Tãnga School	School	CO ₂	Aut.	-	
Waterland School	School	CO ₂	Man.	Aut.	-

Strategie di controllo applicate nei casi studio investigati in IEA-ECBCS Annex 35. Man.: controllo manuale; Aut.: controllo automatico; Con.: ventilazione costante; PIR: VMC con monitoraggio dell'occupazione; CO₂: VMC con sensori di CO₂



MATERIALI BASSO EMISSIVI

Il rilascio di inquinanti da parte di un materiale può essere descritto sotto forma di un tasso di emissione ER , esprimibile mediante la seguente relazione:

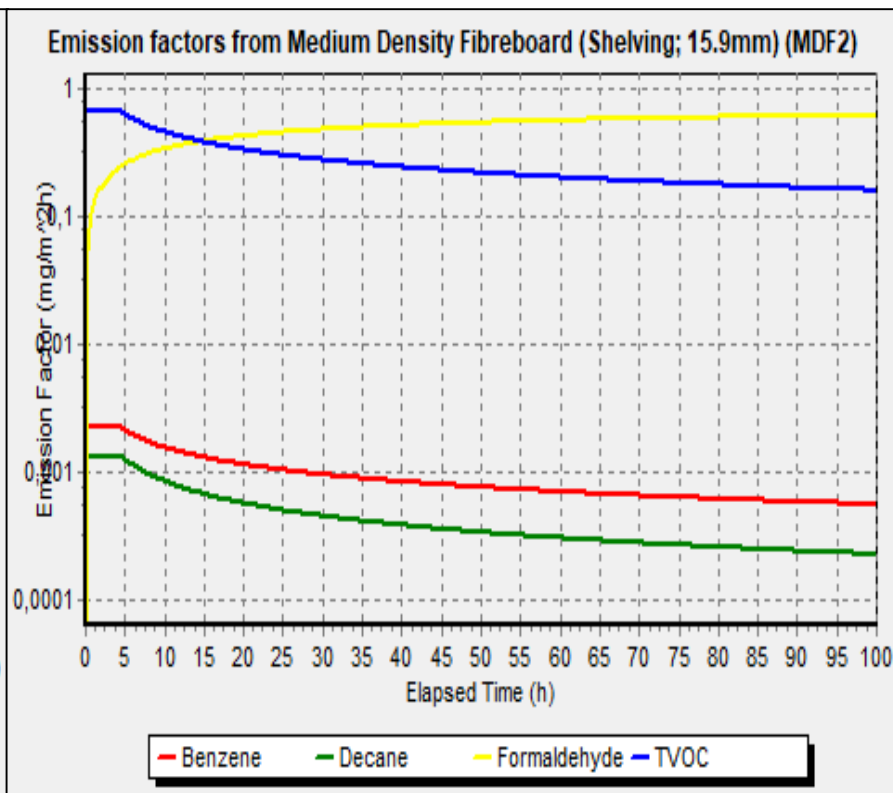
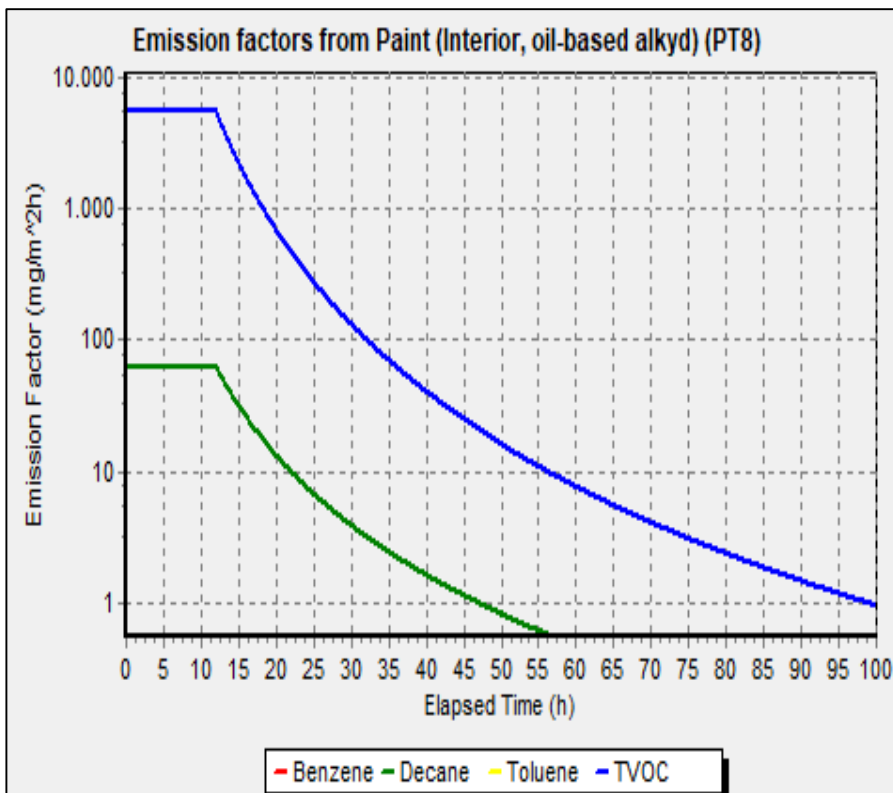
$$ER = EF \cdot \text{unità di materiale} \quad [\mu\text{g}/\text{h}]$$

dove EF è il fattore di emissione specifico in $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ o in $\mu\text{g}/\text{prodotto}/\text{h}$ a seconda che il materiale sia omogeneo o composito. L'unità di materiale può essere inteso sia come numeri di unità di prodotto che come m^2 di superficie emittente.

$$EF = f(\text{materiale}, \text{inquinante}, UR, T, \text{condizioni di posa})$$

- *materiale* --> a parità di inquinante, per vernici, sigillanti e adesivi EF tende a zero rapidamente, mentre per pannelli a base di legno incollato diminuisce lentamente
- *inquinante* --> a parità di materiale, l'emissione di formaldeide rimane pressoché costante, mentre quella degli altri VOC diminuisce nel tempo
- All'aumentare di UR, T aumenta anche il tasso di emissione
- *condizioni di posa*: asciugare i materiali e non effettuare tagli o lavorazioni

MATERIALI BASSO EMISSIVI



Fattore di emissione di TVOC e altri inquinanti (in scala logaritmica) per una vernice a base solvente (a sinistra) e per un pannello MDF (a destra) [IA-QUEST Simulation Tool]

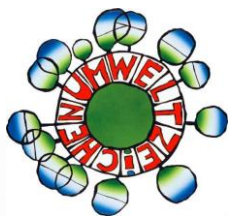


MATERIALI BASSO EMISSIVI

Come conoscere il comportamento emissivo di un materiale o prodotto?

- **Emissions-based labels** (etichette EB): riportano il tasso di emissione di TVOC e di singoli inquinanti dopo un certo periodo di tempo (di solito 28 giorni), ma non permettono di prevedere il comportamento emissivo al variare di T e UR.
- **Content-based labels** (etichette CB): valutano l'impatto potenziale del materiale sulla base della percentuale in peso di composti organici volatili contenuti al suo interno, pertanto non sono rappresentative del fenomeno di emissione.

Evoluzione delle etichette EB --> **sigilli di qualità ecologica dei prodotti**





MATERIALI BASSO EMISSIVI

RIVESTIMENTI:

- Evitare i ritardanti di fiamma contenenti eteri difenili polibromurati e i prodotti trattati con organofosfati;
- Preferire prodotti ad asciugatura rapida come pitture ad emulsione e latex e certificate come basso emissive (ad esempio Natureplus o ANAB-ICEA);
- Limitare l'uso di materiali porosi come moquette e tappezzeria;
- Posare vernici e pitture prima dell'installazione di tessuti e materiali porosi ed effettuare un *flush-out* dell'edificio a monte dell'occupazione.

PAVIMENTI:

- Preferire prodotti certificati come basso emissivi (ad esempio GEV-EMICODE);
- Evitare se possibile le moquette;
- Limitare il pvc e verificare la totale assenza di ftalati a basso peso molecolare;
- Limitare il linoleum, i cui oli, reagendo con l'ozono, possono dar luogo a formaldeide come prodotto di reazioni secondarie;
- Fornire una ventilazione addizionale per un minimo di 72 ore dopo l'installazione.



MATERIALI BASSO EMISSIVI

PRODOTTI IN LEGNO COMPOSITO:

- Non utilizzare materiali contenenti colle a base di formaldeide;
- Preferire prodotti certificati come basso emissivi (vedi UE Ecolabel e The Blue Angel);
- Non effettuare tagli o lavorazioni sul prodotto finito;
- Proteggere i pannelli da alte temperature e da elevati valori di umidità.

SIGILLANTI E ADESIVI:

- Preferire prodotti certificati come basso emissivi (ad esempio Natureplus) ed effettuare una ventilazione sostenuta nelle 72 ore successive l'installazione.

ARREDAMENTO E ATTREZZATURE SCOLASTICHE:

- Preferire prodotti da arredamento certificati come basso emissivi (ad esempio UE Ecolabel o Indoor Climate Label);
- Preferire apparecchiature elettroniche certificate The Blue Angel;
- Limitare il numero di stampanti laser, che emettono VOC, ozono e particolato. Sistemare queste macchine in locali dedicati con un apposito circuito di estrazione.



STRATEGIE DI INIBIZIONE DELLE EMISSIONI

Alcuni materiali, in virtù delle loro proprietà, vengono utilizzati negli ambienti scolastici nonostante presentino importanti emissioni di inquinanti. Si pensi ad esempio alle vernici, che devono garantire una determinata classe di resistenza al fuoco, e ai pannelli con elevata capacità fonoassorbente.

Come limitare l'impatto di tali prodotti sull'IAQ?

- Barriere per VOC: vernici a polvere epossidica per pannelli MDF e/o carte fenoliche e fogli vinilici per pannelli di particelle;
- Copertura con teli di plastica di eventuali mobili rivestiti in tessuto che potrebbero assorbire VOC durante l'installazione di pitture e vernici;
- Tecniche di ventilazione: effettuare un'estrazione localizzata in corrispondenza del punto di emissione e/o incrementare il ricambio d'aria;
- Flush-out: mantenere una ventilazione di almeno 1 h^{-1} , 24/24 per un periodo compreso tra 7 e 90 giorni successivi al termine dei lavori e prima dell'occupazione.



PULIZIA E PRODOTTI PER L'IGIENE

Osservazioni iniziali:

- Ridurre a monte la necessità di pulizia: impiego di materiali a bassa porosità, pavimenti che non necessitano di pulizia ad umido, tappetini per bloccare l'ingresso di polveri e particelle tramite calpestio

Quando pulire?

- almeno una volta al giorno per le aree sanitarie e per i servizi igienici; almeno una volta al giorno per le aule scolastiche e per i relativi banchi, con panni umidi per ridurre la concentrazione di particolato; almeno una volta al giorno per l'area di ingresso; a giorni alterni o almeno tre volte alla settimana per corridoi e scale; almeno una volta al giorno per palestre o aree adibite ad attività fisica;

Con quali prodotti?

- Preferire prodotti certificati come basso emissivi (vedi EU Ecolabel o The Blue Angel);
- Evitare le sostanze spray e i prodotti detergenti profumati contenenti terpenoidi, tra cui α -terpinene, d-limonene e terpinolene, e gli eteri di glicole;



PROTEZIONE DA MUFFE E CONDENSE

I problemi di umidità negli edifici scolastici sono associati a fonti esterne ed interne.

Fonti esterne:

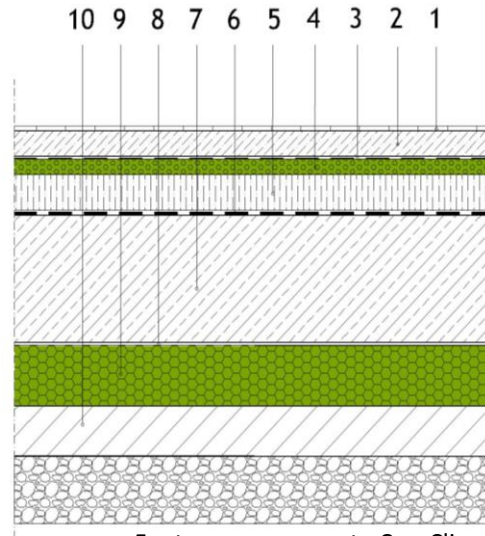
- 1) terreni poco drenanti e scarsa impermeabilizzazione delle fondamenta;
- 2) ingresso di acqua o neve dovute a perdite nel tetto;
- 3) involucri con scarsa tenuta al vento;
- 4) posa di materiali bagnati o non completamente asciutti;
- 5) aria esterna molto umida.



PROTEZIONE DA MUFFE E CONDENSE

Come risolvere i problemi di umidità dovuti alle fonti esterne?

- 1) livellamento del terreno (pendenza non inferiore al 5% per i primi 3 metri di distanza), utilizzo di materiali drenanti per le superfici esterne pedonali (come i grigliati inerbiti) e impermeabilizzazione della platea di fondazione e delle pareti contro terra.



Fonte: corso avanzato CasaClima

1. piastrelle
2. massetto
3. barriera vapore
4. Isol. anticalpestio $\lambda = 0,040 \text{ w/(mk)}$
5. sottofondo alleggerito
6. Impermeabilizzazione
7. calcestruzzo
8. strato separatore
9. Isolante termico $\lambda = 0,040 \text{ w/(mk)}$
10. magrone

- 2) impiego di sistemi, come scossaline e grondaie, che allontanano l'acqua piovana in caso di precipitazioni, impermeabilizzazione della copertura prestando attenzione al fenomeno di migrazione dell'umidità sia in inverno che in estate.



PROTEZIONE DA MUFFE E CONDENSE

Come risolvere i problemi di umidità dovuti alle fonti esterne?

- 3) strato continuo di tenuta al vento mediante rasatura armata e intonaco per proteggere l'isolante dagli agenti esterni e per limitare l'ingresso di contaminanti;
- 4) Corretto stoccaggio dei materiali in luoghi asciutti, riparati dalle intemperie e ben ventilati;
- 5) Deumidificazione in presenza di aria esterna molto umida.

Fonti interne:

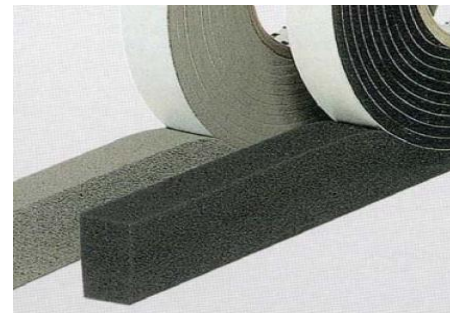
- a) presenza di ponti termici;
- b) involucri con scarsa tenuta all'aria;
- c) fenomeni di condensazione interstiziale, soprattutto con isolamento interno;
- d) produzione interna di vapore consistente;
- e) ventilazione insufficiente.



PROTEZIONE DA MUFFE E CONDENSE

Come risolvere i problemi di umidità dovuti alle fonti interne?

- a) coibentazione continua (esterna o interna) con particolare attenzione alle discontinuità geometriche e ai nodi costruttivi per i quali devono essere adottati opportuni accorgimenti, come il taglio termico in corrispondenza degli aggetti.
- b) strato di tenuta all'aria continuo mediante intonacatura interna e sigillatura di tutte le potenziali vie di fuga dell'aria. Esempi: scatole portafrutti da sigillare con gesso o malta idraulica, nastratura di sfiati e camini, nastri adesivi per la connessione tra serramento e parete e nastri autoespandenti per la connessione tra telaio e controtelaio, da posare lungo tutto il perimetro del serramento.



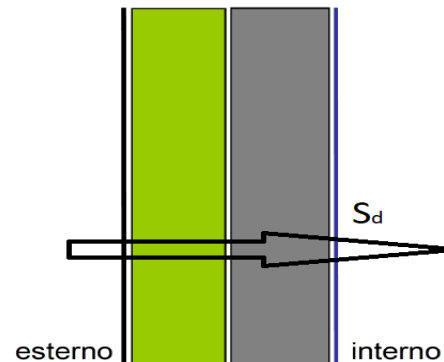


PROTEZIONE DA MUFFE E CONDENSE

Come risolvere i problemi di umidità dovuti alle fonti interne?

- c) utilizzo di freni, barriere al vapore, membrane igrovariabili e materiali capillari attivi per controllare la migrazione del vapore acqueo attraverso i pacchetti costruttivi e per prevenire la formazione di condensa interstiziale soprattutto in presenza di isolamento interno;

Regole generali



Output simulazione
dinamica

UNI EN 15026

ProCasaClima
Hygrothermal

- d) limitare la produzione interna di vapore e dedicare dei circuiti di estrazione ad ambienti come bagni, spogliatoi e cucine;
- e) regolare la portata di ventilazione in ciascun locale in funzione delle condizioni di esercizio, ad esempio mediante il monitoraggio di temperatura e umidità relativa, al fine di garantire buone condizioni di comfort termo-igrometrico.



PROTEZIONE DA GAS RADON

Cos'è: il radon (^{222}Rn) è un gas nobile radioattivo prodotto dal decadimento dell'uranio contenuto nel terreno e nelle rocce di origine vulcanica. L'inalazione di tale gas è considerata la seconda causa di insorgenza di cancro polmonare.



Obiettivo: mantenere una concentrazione media annua di radon $< 300 \text{ Bq/m}^3$

Cosa fare: gli interventi possono essere discretizzati in funzione della classe di rischio radon e della tipologia di locali a contatto con il terreno (se interrati o non, se riscaldati o non) --> vedi Protocollo CasaClima School.

Focus scuole: data la vulnerabilità dei bambini, nelle scuole possono essere implementate le soluzioni più significative sia nelle nuove costruzioni che negli edifici esistenti per garantire concentrazioni $< 100 \text{ Bq/m}^3$ (OMS) o $< 150 \text{ Bq/m}^3$ (EPA).





PROTEZIONE DA GAS RADON

Nuove costruzioni --> analisi mappe di rischio radon e analisi geomorfologica del sito

↓
interventi di prevenzione → misura ad edificio concluso con dosimetri passivi in fase di utilizzo

Edifici esistenti --> misura concentrazione radon con dosimetri passivi o attivi


↓
interventi di mitigazione → verifica efficacia delle soluzioni implementate con ulteriori misure



Alcuni interventi sono più adatti alle nuove costruzioni, altri agli edifici esistenti. Altri ancora, invece, possono essere implementati in entrambe le situazioni, sebbene nelle nuove costruzioni vi sia una maggiore garanzia di successo.



PROTEZIONE DA GAS RADON

<p>CasaClima School</p> 	Interventi di base	Interventi semplici	Interventi significativi
<p>Classe di rischio radon più bassa (200-300 Bq/m³) + locali non abitati nell'interrato a contatto con il terreno</p>	x		
<p>Classe di rischio radon più bassa (200-300 Bq/m³) + locali abitati a contatto con il terreno</p>	x	x	
<p>Classe di rischio radon elevata (>300 Bq/m³) + locali non abitati nell'interrato a contatto con il terreno</p>	x	x	
<p>Classe di rischio radon elevata (>300 Bq/m³) + locali abitati a contatto con il terreno</p>	x	x	x



PROTEZIONE DA GAS RADON

Interventi di base:

Strato di impermeabilizzazione contro acqua e umidità di risalita continuo
 Sigillatura delle tubature che attraversano gli elementi costruttivi contro terreno
 Sigillatura delle aperture nella platea di fondazione nei confronti del passaggio di gas

Interventi semplici: classe di rischio radon più bassa (200-300 Bq/m³) + locali abitati a contatto con il terreno

Porta a chiusura automatica e a tenuta all'aria fra cantina e spazi abitativi
 Sigillatura dei fori per il passaggio delle tubazioni attraverso il primo solaio (solaio sopra cantina)
 Sigillatura dei canali per le installazioni o del pozzo dell'ascensore o di eventuali montacarichi
 Sigillatura delle cantine con pavimentazioni a base di materiali naturali verso l'interno e accessibili solo dall'esterno
 Sigillatura delle canalizzazioni che attraversano gli elementi strutturali contro terreno

Interventi semplici: classe di rischio radon elevata (≥ 300 Bq/m³) + locali non abitati nell'interrato a contatto con il terreno

Strato di impermeabilizzazione contro acqua e umidità di risalita continuo
 Platea e muri contro terreno da realizzare calcestruzzo con classe di esposizione XC2 o maggiore; in alternativa installare un sistema di aspirazione sotto platea

Interventi significativi:

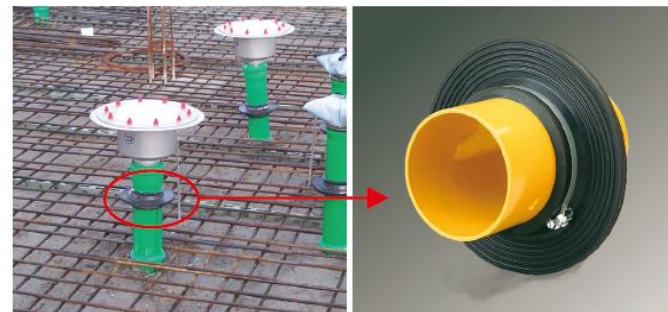
Pozzetto radon o drenaggio radon
 Involucro a tenuta all'aria ($n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$) con sistema di ventilazione meccanica

PROTEZIONE DA GAS RADON

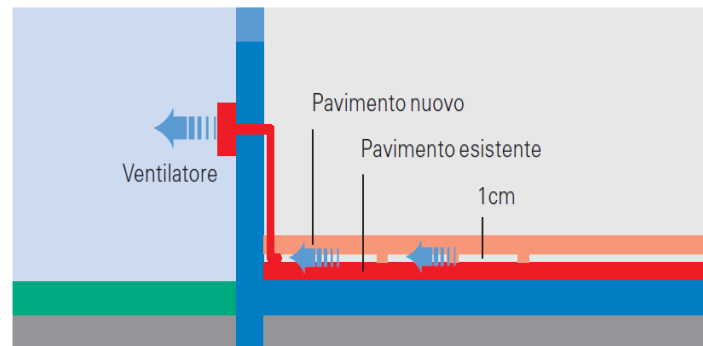
Focus 1: sigillatura di tutte le vie di comunicazione tra involucro e terreno, così come tra ambienti non riscaldati a contatto con il terreno e locali occupati



Focus 3: pozzetto radon o intercapedine ventilata per gli edifici esistenti



Focus 2: fondazioni a strisce, come vespai areati e sistemi con tubi di drenaggio per le nuove costruzioni





Per ulteriori approfondimenti consultare:

DELIVERABLES

- WP1 Coordinamento e gestione
- WP2 Comunicazione e disseminazione
- WP3 Indagine sullo stato dell'arte e del mercato

Task 3.1 – Indagine sullo stato dell'arte: criteri e parametri che influenzano la qualità dell'aria

Task 3.2 – Analisi quadro normativo, protocolli di certificazione e procedure progettuali e di appalto

Task 3.3 – Analisi di mercato

Task 3.4 – Criteri di selezione dei casi studio

Task 3.5 – Identificazione degli indicatori prestazionali

- WP4 Misurazione e monitoraggio

Task 4.1 – Definizione di un protocollo di misurazione

- WP5 Sviluppo e implementazione delle soluzioni



www.qaes.it

**report linee guida + tool di
progettazione e autodiagnosi**



Bibliografia:

Chartered Institution of Building Services Engineers, Natural ventilation in non-domestic buildings CIBSE Applications Manual AM10, London, 2005.

G. von Grabe, P. Svoboda, A. Bäumler, Window ventilation efficiency in the case of buoyancy ventilation, *Energy and Buildings*, 72 (2014) 203-211.

J. Wang, T. Zhang, S. Wang, F. Battaglia, *Numerical investigation of single-sided natural ventilation driven by buoyancy and wind through variable window configurations*, *Energy and Buildings*, 168 (2018) 147-164.

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, S. Steiger, R. T. Hellwig, *Hybride Lüftungssysteme für Schulen*, Abschlussbericht zum Förderkennzeichen AZ 0327387A, 2011.

https://library.e.abb.com/public/2dc59a5d064be09ac1256d280041ce1a/AD3_IT_REVB2003.pdf

S. Steiger, J. Karsten Roth, L. Ostergaard, Hybrid ventilation - the ventilation concept in the future school buildings?, AIVC Conference Paper, 2012.

K. Ackerly, L. Baker, G. Brager, Window Use in Mixed-Mode Buildings: A literature Review, Center for the Built Environment, 2011.

J. Heinonen, R. Kosonen, *Hybrid Ventilation Concepts in Commercial Buildings - Indoor Air Quality and Energy Economy Perspective*, *Proceedings of the Healthy Buildings 2000*, Vol. 2.

National Research Council Canada Institute for Research in Construction, *Indoor Air Quality Emission Simulation Tool (IA-QUEST)*, Ottawa, 2008.

A. Delsante, T. A. Vik, *Annex 35: Hybrid Ventilation in New and Retrofitted Office Buildings*, IEA.

<https://www.agenziacasaclima.it/it/procasaclima-hygrothermal--9-1673.html>



Grazie per l'attenzione!

Mirko Zancarli

Agenzia per l'Energia Alto Adige - CasaClima
Mirko.Zancarli@klimahausagentur.it

