



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Carlo Antonio Stival
via A. Valerio 6/1
34127 Trieste
+390405583489
cstival@units.it

ARGOMENTO

29

3 MAGGIO 2023

Purezza dell'aria indoor

Controllo del ricambio d'aria negli ambienti

A. A. 2022-2023

Laboratorio di **Costruzione dell'Architettura**

Corso di **Tecnologie e soluzioni edilizie**

per la sostenibilità ambientale

Classificazione delle esigenze: BSI (2)

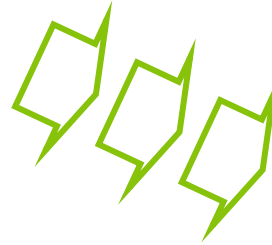
classe	esigenze	requisiti	
BSI. Benessere, igiene e salute dell'utente	Condizioni di igiene ambientale connesse con le variazioni del campo elettromagnetico artificiale	BSI.7.1	Protezione degli ambienti e degli spazi esterni da variazioni del fondo elettromagnetico generato da fonti artificiali
		BSI.7.2	Impianto elettrico e disposizione degli elettrodomestici, in modo da esporre gli utenti a valori minimi di campo elettromagnetico
	Purezza dell'aria interna	BSI.8.1	Controllo del ricambio d'aria con ventilazione naturale o meccanica
	Condizioni d'igiene ambientale connesse con l'esposizione ad inquinanti dell'aria interna	BSI.9.1	Riduzione delle emissioni tossiche e nocive di materiali, elementi e componenti
		BSI.9.2	Riduzione delle concentrazioni di radon
Condizioni d'igiene ambientale connesse con l'esposizione ad inquinanti dell'aria esterna	BSI.10.1	Controllo dell'inquinamento atmosferico esterno	

29.1

**Requisiti di qualità dell'aria
per gli edifici civili**

Degrado dell'aria interna

DEGRADAZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA



A

FENOMENI DI RISTAGNO DELLE SOSTANZE INQUINANTI

B

ALTERAZIONE DELLA COMPOSIZIONE RISPETTO ALL'ARIA ESTERNA

C

DEGRADO DIPENDENTE DA AFFOLLAMENTO E TIPOLOGIA DI ATTIVITÀ

Sick Building Syndrome

- sintomi fisici quali irritazioni alla mucosa, agli occhi, al naso, alla pelle
- disagio nella permanenza in un ambiente confinato
- riduzione dell'efficienza lavorativa

ARIA ESAUSTA

1

RIDUZIONE CONTENUTO DI OSSIGENO < 15%

2

IMMISSIONE DI CO₂, VAPORE ACQUEO E SOSTANZE PERCEPITE MALEODORANTI

3

CONCENTRAZIONE CO₂ > 0,07%

4

EMMISSIONE DI PARTICELLE DA ELEMENTI D'INVOLUCRO INTERNO E ARREDO

Purezza dell'aria interna

VENTILAZIONE AMBIENTI CONFINATI



- A** ASPORTO DI UMIDITÀ, CALORE E SOSTANZE INQUINANTI IN ECCESSO
- B** APPROVVIGIONAMENTO ARIA DI RINNOVO
- C** EFFICIENZA DELLA CLIMATIZZAZIONE
- D** PARZIALE INEFFICACIA DELLA VENTILAZIONE NATURALE

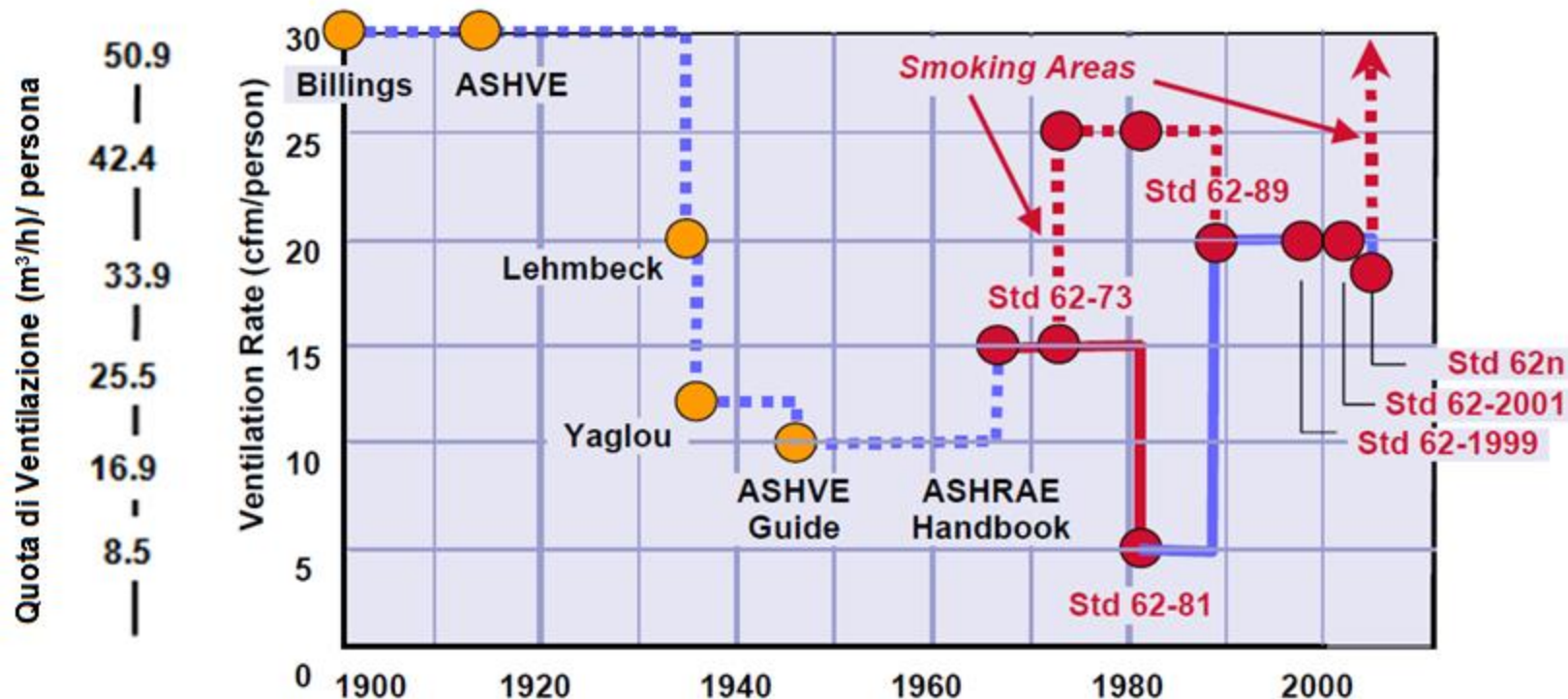
INDOOR AIR QUALITY

- 1** RICAMBIO D'ARIA ADEGUATO ALLE ATTIVITÀ PREVISTE
- 2** QUALITÀ DELL'ARIA ASSIMILABILE ALL'ARIA ESTERNA NON INQUINATA
- 3** GESTIONE LOCALI DESTINATI A SPECIFICI SERVIZI

La norma EN 16798-3:2017 riconosce 3 categorie di aria esterna: il livello ottimale pertiene alla categoria ODA 1, aria pura inquinata con polveri, ad esempio i pollini, solo temporaneamente.

Calcolo del fabbisogno d'aria

Evoluzione temporale del tasso minimo di ventilazione raccomandato. L'unità di misura in ordinata è il CFM, "Cubic Foot per Minute" ed equivale a 0,47 l/sec (fonte www.ashraetcs.org).



Calcolo del fabbisogno d'aria

NORMATIVA DI RIFERIMENTO PER LA DEFINIZIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA INDOOR

1	UNI 10339	inquadra aspetti inerenti i requisiti di comfort di utenze in ambienti confinati, la messa in funzione e l'efficienza degli impianti di ventilazione e climatizzazione
2	UNI EN 16798-3	si riferisce ai requisiti di prestazione dei sistemi di ventilazione e climatizzazione per edifici non residenziali (ex EN 13779)
3	UNI EN 15251	definisce livelli prestazionali per i parametri di comfort indoor, ivi compresa la qualità dell'aria

N.B. Il recepimento della UNI EN 16798-3:2017 e della UNI EN 15251:2008 a livello nazionale (strumenti che fissano obiettivi di qualità) non comporta necessariamente l'obsolescenza della norma UNI 10339:1995, in quanto non ne è precluso l'impiego, in particolare in quegli ambiti in cui quest'ultima ha un campo di applicazione più esteso o avanzato (ad esempio le regole per l'ordinazione e la fornitura degli impianti).

Calcolo del fabbisogno d'aria

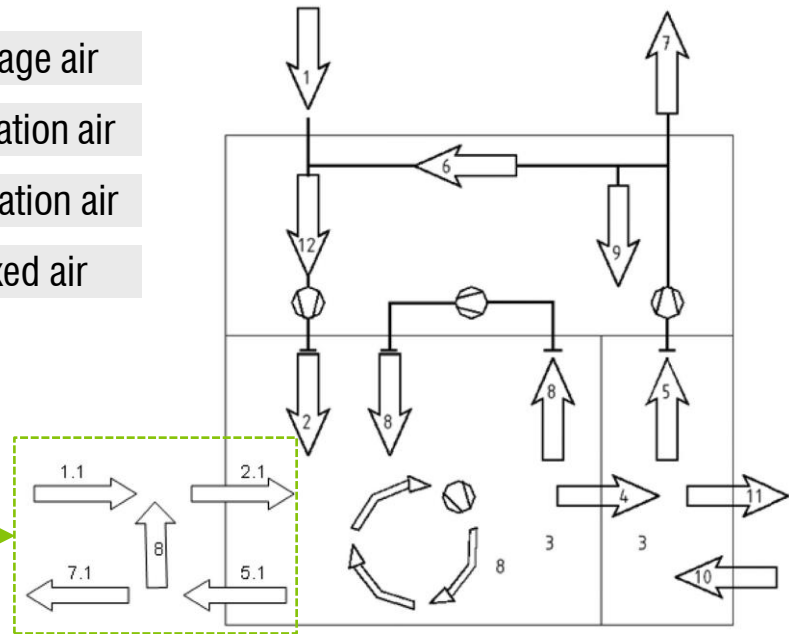
UNI EN 16798 parte 3:2017

Stabilisce i fabbisogni d'aria standard negli organismi edilizi con destinazioni d'uso diverse da quella residenziale, analizzando gli aspetti progettuali della ventilazione meccanica e dei sistemi di condizionamento dei locali.

1	ODA	outdoor air
2	SUP	supply air
3	IDA	indoor air
4	TRA	transferred air
5	ETA	extract air
6	RCA	recirculated air
7	EHA	exhaust air
8	SEC	secondary air

9	LEA	leakage air
10	INF	infiltration air
11	EXF	exfiltration air
12	MIA	mixed air

caratterizzazione per singolo ambiente



Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI EN 16798 parte 3:2017

Per quanto concerne l'aria interna (**IDA**), la norma **UNI EN 16798-3:2017** individua due principali riferimenti per la classificazione di qualità:

- in base al **livello di anidride carbonica** nell'aria;
- in base alla **quantità di aria esterna** richiesta per occupante (metodo di **classificazione indiretta**).

I valori di riferimento per la portata di rinnovo dell'aria interna, riferibili a condizioni normali di lavoro in **edifici** a destinazione d'uso **terziaria**, sono frequentemente impiegati per la progettazione dei sistemi di ventilazione meccanica.

La norma individua quindi **quattro categorie di qualità** dell'aria interna, **decrementi** dalla classe 4 per qualità d'aria elevata fino alla classe 1, che rappresenta il livello minimo accettabile.

Classe	Livello di CO ₂ [ppm]	Fabbisogno d'aria ⁽¹⁾ [l/sec pers]
IDA 1	≤ 400	> 15
IDA 2	400 - 600	10 - 15
IDA 3	600 - 1000	6 - 10
IDA 4	> 1000	≤ 6

⁽¹⁾ I valori riportati sono riferiti ad aree per non fumatori; le aree fumatori presentano, per ciascuna classe, valori di portata doppi.

Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI 10339:1995

La norma **UNI 10339:1995** stabilisce le **portate minime d'immissione d'aria**, differenziandone i valori per **destinazione d'uso**. Si evince che, per edifici in cui l'utenza permane a lungo e continuamente nei locali (residenze, uffici, strutture sanitarie, etc.) le portate richieste di aria esterna pro capite si collocano nella categoria IDA 2 secondo UNI EN 16798-3, valore in genere assunto come **riferimento e guida**.



FILTRAZIONE

fissa valori minimi convenzionali da raggiungere mediante l'impiego di filtri di classe appropriata



CORRENTI D'ARIA

fissa velocità dell'aria massime (inverno ed estate) in funzione della destinazione d'uso



TASSO DI RICAMBIO

definisce la quantità di aria esterna da immettersi rispetto al volume dell'ambiente da ventilare



RESIDENZE

è considerato sufficiente un tasso di ricambio pari a $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$



SPAZI SENSIBILI

in alcuni ambienti (cucine, bagni), caratterizzati dall'impiego di acqua calda, cottura cibi, etc., è necessario incrementare il tasso di ricambio fino a $1,5 \div 2,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ h}^{-1}$

Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI 10339:1995

Destinazione d'uso	Valori tipici per persona [l sec ⁻¹]	Valori tipici per superficie [l sec ⁻¹]	Valori tipici per servizi [vol h ⁻¹]
Residenze continuative	11		
Cucine, bagni e servizi di residenze			4
Alberghi	10-11		
Uffici	7-11		
Ospedali, cliniche e case di cura	11		
Infettivologia, terapia intensiva, sale operatorie			12-20
Attività scolastiche	4-7		
Attività commerciali	9-14		
Musei e biblioteche	5,5-6		
Cucine di ristoranti		16,5	

Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI EN 16798 parte 1:2019

Considera la qualità dell'aria interna allo scopo di fornire criteri per la progettazione degli ambienti interni, nell'ottica di una contenuta prestazione energetica.
Definisce **tre categorie prestazionali** per quanto concerne la qualità dell'aria interna stimando una percentuale di utenti insoddisfatti crescente con la categoria.

VALORI DI REGOLA DELL'ARTE PER...

29

A

STANDARD DI PROGETTAZIONE
ENERGETICA ED IMPIANTISTICA

B

RIFERIMENTO PER L'EMANAZIONE DI
REGOLAMENTI NAZIONALI E LOCALI

C

VALUTAZIONE IAQ
DI LOCALI FUMATORI

Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI EN 16798 parte 1:2019 METODOLOGIE DI CALCOLO



TIPOLOGIA
DI UTENZA

la prima si riferisce alla tipologia di utenza presente nei locali (fumatori o non fumatori) secondo un indice di affollamento e alla quantità legata alla componente d'inquinamento riferibile all'edificio ed ai suoi sistemi



PER UNITÀ
FUNZIONALE

la seconda modalità esplicita la richiesta di ricambio d'aria per persona, o per unità di superficie di pavimento



DEGRADO
DELL'ARIA

la terza modalità esprime dei criteri correlati alla concentrazione di CO₂ presente nell'aria

VLPB – Very Low Polluting Buildings

LPB - Low Polluting Buildings

NLPB – Non-Low Polluting Buildings

...in funzione dell'accuratezza nella **scelta dei materiali** e dell'**emissione** di **agenti inquinanti** in fase di svolgimento delle **attività** previste

Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI EN 16798 parte 1:2019 METODOLOGIE DI CALCOLO

1

$$Q_{Vent} = S_{U,TOT} \cdot q_{ACR}$$

prodotto della superficie utile complessiva dell'alloggio $S_{U,TOT}$
per il tasso di ricambio q_{ACR}

2

$$Q_{Vent} = \max \left[\left(\sum S_{U,i} \cdot q_{ACR,i} \right); \left(n_{PER} \cdot q_{PER} \right) \right]$$

massimo tra: somma dei prodotti delle superfici utili di ciascun vano principale $S_{U,i}$ per la portata d'aria di rinnovo $q_{ACR,i}$; prodotto che considera il numero previsto di occupanti e la portata di rinnovo per persona

3

$$Q_{Vent} = \sum q_{EAF}$$

somma delle portate di estrazione q_{EAF} nei locali che ne necessitano

4

$$Q_{Vent} = n \cdot q_P + A \cdot q_B$$

valuta due diverse quote di ventilazione da assicurare, riferite rispettivamente all'utenza ed ai componenti / elementi tecnici

PER EDIFICI NON RESIDENZIALI

Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI EN 16798 parte 1:2019 VALORI TABULATI PER EDIFICI RESIDENZIALI

Classe prestazionale	(1) Portata di rinnovo q_{ACR} Air Change Rate [l/(sec m ²)]	(2) Portata di rinnovo locali principali		(3) Estrazioni di aria esausta q_{EAF} [l/sec]		
		q_{PER} [l/(sec pers)]	$q_{ACR,i}$ [l/(sec m ²)]	cucine	bagni	WC
I	0,49	10	1,4	28	20	14
II	0,42	7	1,0	20	15	10
III	0,35	4	0,6	14	10	7

Il valore di riferimento della portata sarà pari al massimo dei valori desunti dalle equazioni (1) e (2), con successivo adeguamento in base al risultato ottenuto dalla formula (3) considerando che la portata in uscita dovrà essere pari alla portata in ingresso.

Calcolo del fabbisogno d'aria

UNI EN 16798 parte 1:2019 VALORI TABULATI PER EDIFICI NON RESIDENZIALI

Classe prestazionale	Quota riferita all'utenza q_p [l/(sec pers)]	Quota riferita all'edificio q_B [l/sec m ²]		
		VLPB	LPB	NLPB
I	10	0,50	1,00	2,00
II	7	0,35	0,70	1,40
III	4	0,30	0,40	0,80

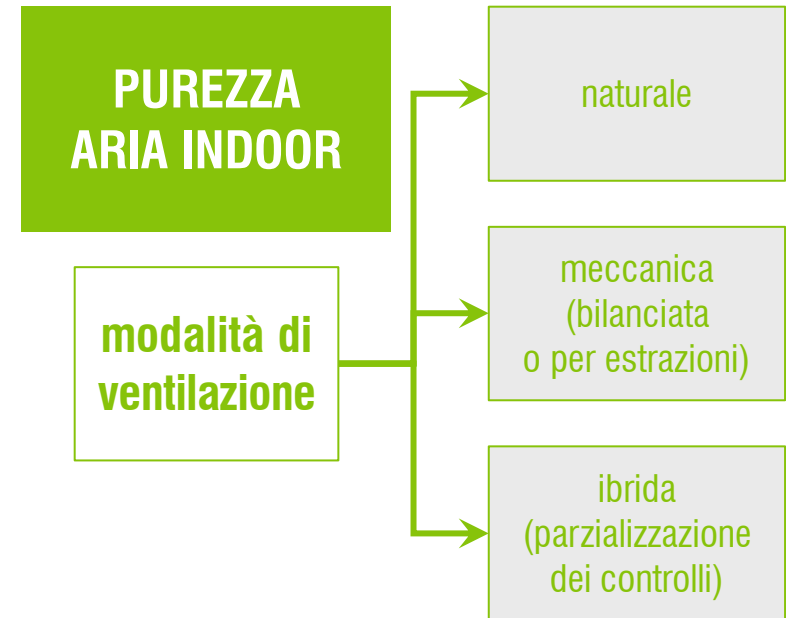
È inoltre previsto un eventuale terzo addendo, da applicarsi qualora sia consentito fumare all'interno del locale.

Tipologie di ventilazione

L'apporto di **aria di rinnovo** è conseguibile attraverso due principali tipologie di ventilazione:

- **naturale**, innescata attraverso le aperture presenti nell'involucro edilizio, oppure mediante appositi spazi tecnici;
- **meccanica**, mediante elementi impiantistici dedicati che forzano la circolazione dell'aria.

A queste se ne aggiunge una terza, la ventilazione cosiddetta **ibrida** che prevede l'integrazione meccanica alla ventilazione naturale per quanto concerne l'innescò della ventilazione, la distribuzione o l'espulsione delle masse d'aria nell'edificio.



29.2

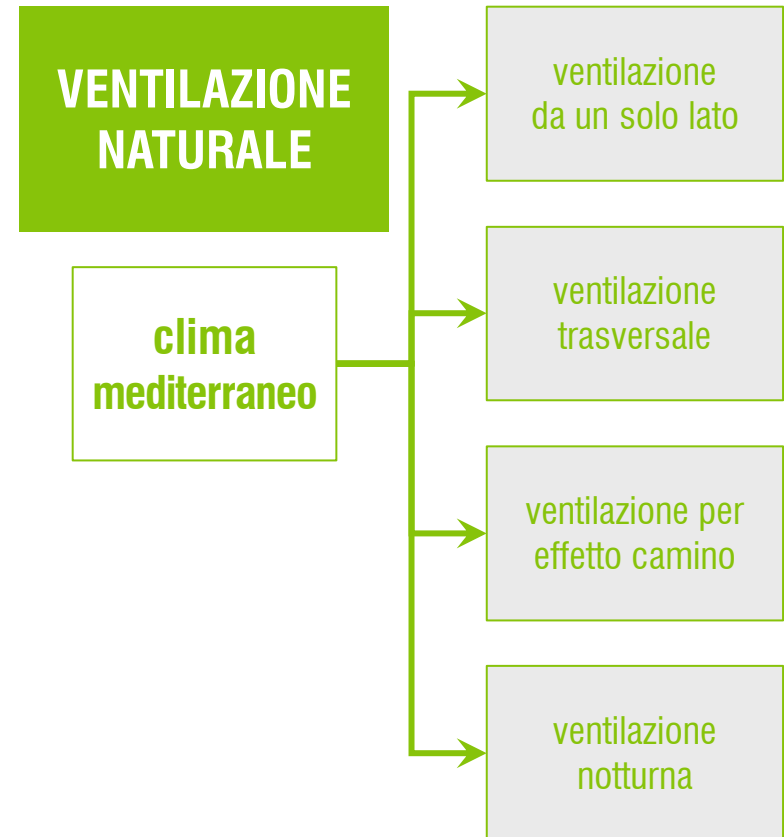
Ventilazione naturale

Modalità di ventilazione naturale

La ventilazione naturale (o libera) prevede un ricambio d'aria attraverso le aperture dell'edificio o condotte di esalazione **senza l'ausilio di parti meccaniche**. Tale tipologia di ventilazione produce effetti desiderabili nella **stagione estiva** e nei periodi in cui è **elevata l'umidità relativa** dell'aria; produce invece effetti negativi nella **stagione invernale** in quanto comporta la **perdita del calore** presente nell'aria ambiente.

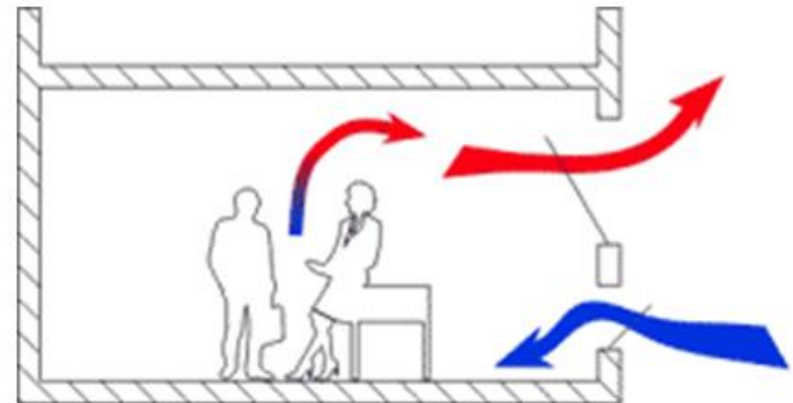
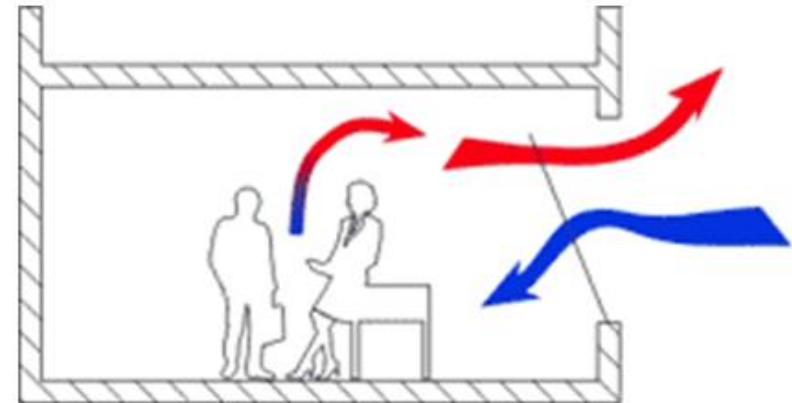
Il movimento di una massa d'aria in un ambiente confinato, caratterizzato da portata massica, velocità e direzione del flusso, si instaura grazie a:

- **differenze di pressione** instaurate tra **affacci opposti** dell'edificio dall'azione del vento;
- **differenze di temperatura** tra ambiente **interno** ed **esterno**.



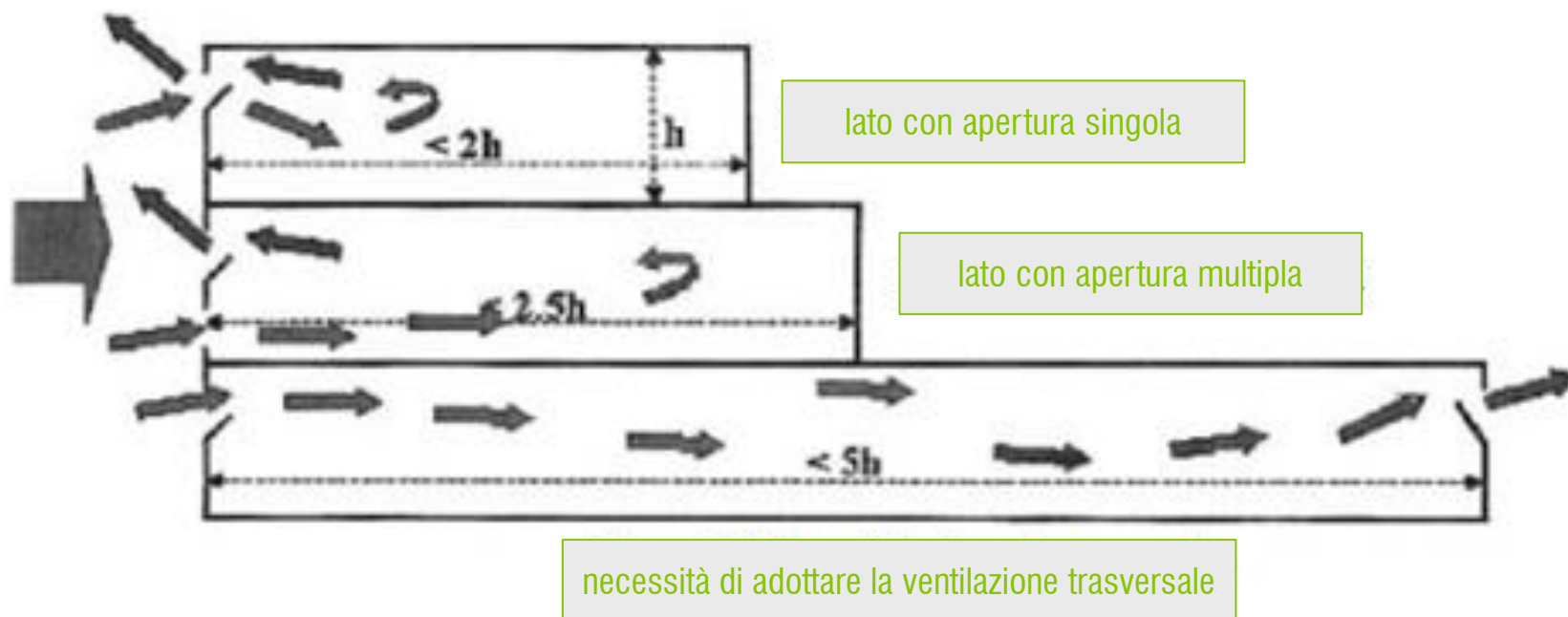
Ventilazione monodirezionale

La ventilazione garantita da aperture poste su un **solo lato**, attraverso le quali avviene l'**immissione** di aria **fresca** e l'**espulsione** dell'**aria viziata**, può anche garantire un adeguato tasso di ricambio d'aria, il quale però sarà **discontinuo** e legato prevalentemente agli effetti di **pulsazione** del moto dell'aria (impulso del vento). Con la ventilazione **monodirezionale** l'**aria calda fuoriesce** dalla porzione **superiore** dell'apertura, sostituita dall'**aria fredda** proveniente dalla metà **inferiore**; tale meccanismo, che crea un **piano neutro** in prossimità della **mezzeria** orizzontale dell'apertura, può essere esaltata prevedendo due aperture poste a quote differenti.



Ventilazione monodirezionale

L'**efficacia** della ventilazione dipende comunque dalla **profondità del vano** da ventilare **in rapporto all'altezza dell'apertura** e dall'eventuale presenza di ostacoli capaci di intercettare parte del flusso e quindi di ridurre la portata d'aria di rinnovo.

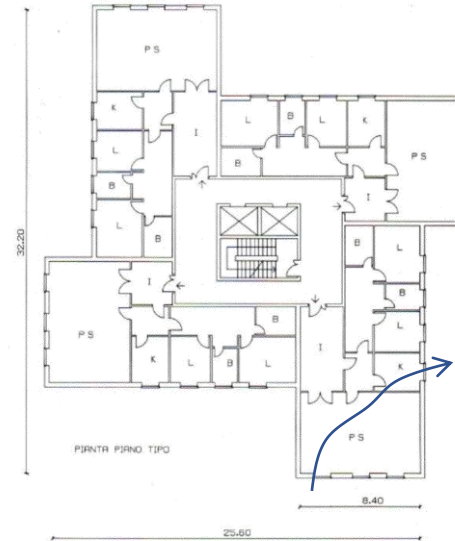


Ventilazione trasversale

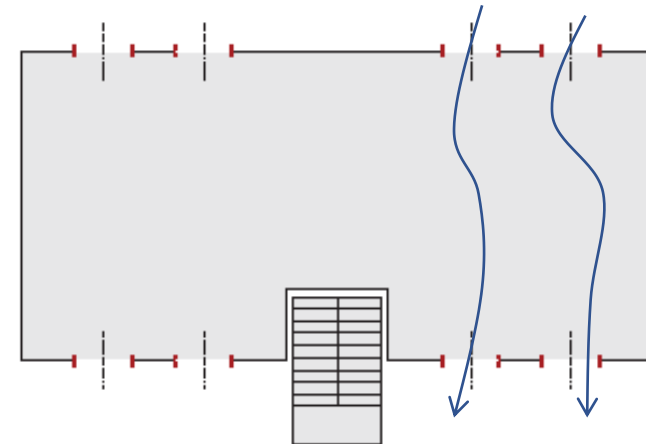
La ventilazione **trasversale**, o **passante**, **attraversa uno o più locali** in quanto le aperture di ingresso ed uscita dell'aria si collocano su **chiusure perimetrali, opposte** o **adiacenti**, ma non complanari.

La portata d'aria è influenzata dall'area netta delle aperture, dall'angolo d'incidenza del vento sull'apertura d'ingresso, dalla differenza di pressione e di temperatura che si instaura tra le due aperture.

Per ottimizzare la ventilazione trasversale di un ambiente confinato e contenere la velocità dell'aria è necessario indagare la **posizione** e la **dimensione** delle **aperture**. Infatti, aperture poste allo stesso livello garantiscono un flusso d'aria praticamente orizzontale; se queste sono poste a distanze considerevoli dal pavimento, la ventilazione nella zona di stazionamento dell'utenza può risultare insufficiente.



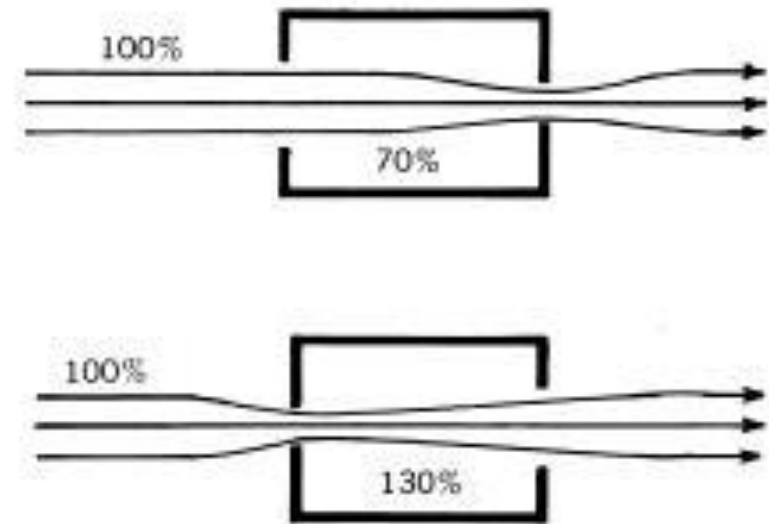
Ventilazione trasversale
← su fronti adiacenti
↓ su fronti contrapposti



Ventilazione trasversale

La **velocità dell'aria** è **governabile** senza l'ausilio di parti meccaniche **conferendo diverse sezioni alle aperture** d'**ingresso** e d'**uscita**. Per l'**effetto Venturi**, infatti, la velocità del flusso sarà incrementata qualora l'apertura d'uscita abbia una superficie maggiore di quella d'entrata, e viceversa.

La ventilazione trasversale si può realizzare anche introducendo una **differenza di quota tra le aperture d'ingresso e d'uscita**. In questo modo, è possibile assicurare una **maggiore efficacia alla ventilazione**, poiché il flusso d'aria attraversa il locale percorrendo una traiettoria diagonale.



29

Ventilazione trasversale

La ventilazione trasversale può essere praticata anche prevedendo un **condotto verticale** di **immissione** che collega l'apertura (non più prospiciente l'esterno, a questo punto) al locale. Questa tecnica costruttiva, nota come "**torre del vento**" e molto diffusa nei paesi mediorientali, svolge una **duplice funzione** di **ventilazione naturale** e di **raffrescamento passivo**.

La denominazione "torre del vento" è l'italianizzazione dell'inglese «windcatcher», ossia un elemento tecnico che «cattura il vento»; la definizione anglosassone traduce il persiano بادگیر , «badgir», da *bad* "vento" e *gir* "cattura". Nel persiano moderno, la stessa parola significa "sopravento".

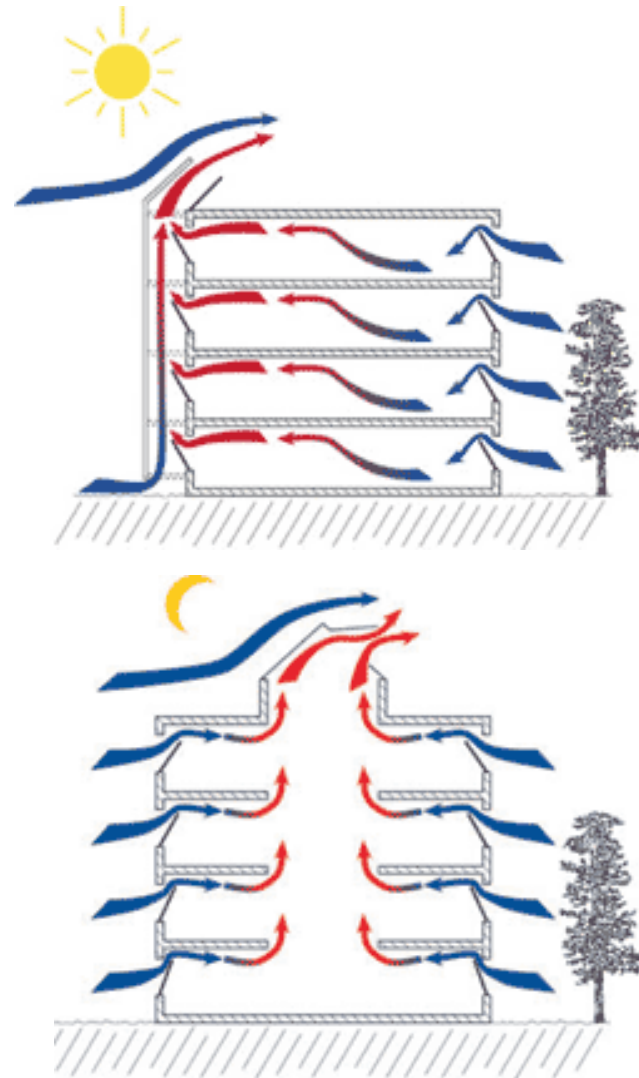


Un esempio contemporaneo (2008) di wind-catching con torri di ventilazione (Lancaster Library, Coventry University).

Ventilazione per effetto camino

Il cosiddetto «**effetto camino**», che si verifica naturalmente nei condotti verticali a causa della **minore densità dell'aria calda** se rapportata a quella dell'aria fredda, permette di ventilare naturalmente gli ambienti nella **stagione calda**; mediante un opportuno spazio tecnico (**atrio, condotto verticale**), l'ascensione dell'aria calda **richiama** all'interno dell'edificio **aria fresca** di rinnovo **per depressione**. La **sommità** dello spazio tecnico si deve collocare ad una quota tale da intercettare i flussi ventosi indisturbati, **collocandosi sopra la linea di colmo della copertura**, come un camino appunto.

Questo sistema, basato sulla presenza di aperture che forniscano un **apporto continuo** di aria dall'ambiente esterno, è sfruttato per **raffrescare** l'edificio nelle **ore notturne**.



29.3

Cenni sulla ventilazione meccanica

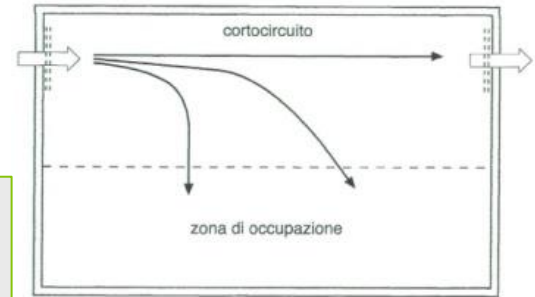
Efficienza della ventilazione

Il raggiungimento di un'accettabile qualità dell'aria interna non dipende esclusivamente dalla portata di aria di rinnovo immessa nell'ambiente confinato, ma anche dalle **caratteristiche** del **sistema d'immissione e diffusione** dell'aria impiegato, in relazione alla **conformazione geometrica** dei locali e alle **sorgenti contaminanti** presenti nei locali stessi.

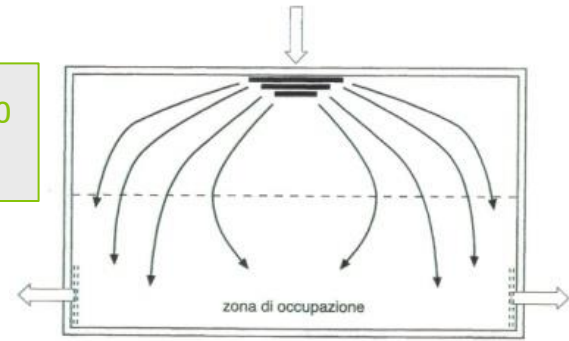
Diverse disposizioni possibili comportano, a parità di portata d'aria immessa, **differenti capacità** di **rimozione** dei carichi di **contaminazione**, e sono quindi caratterizzate da differenti valori di efficienza convenzionale, definita in base alla **concentrazione c di inquinanti** nell'aria interna IDA, nell'aria immessa SUP ed estratta ETA.

$$\varepsilon_V = \frac{C_{ETA} - C_{SUP}}{C_{IDA} - C_{SUP}}$$

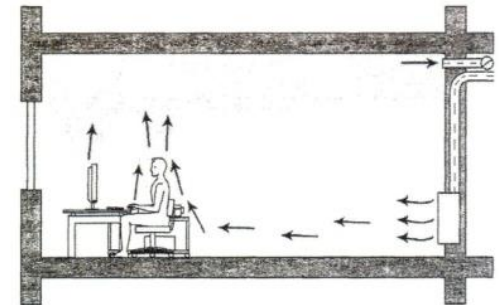
immissione e ripresa in sommità



diffusione dall'alto con bocchette



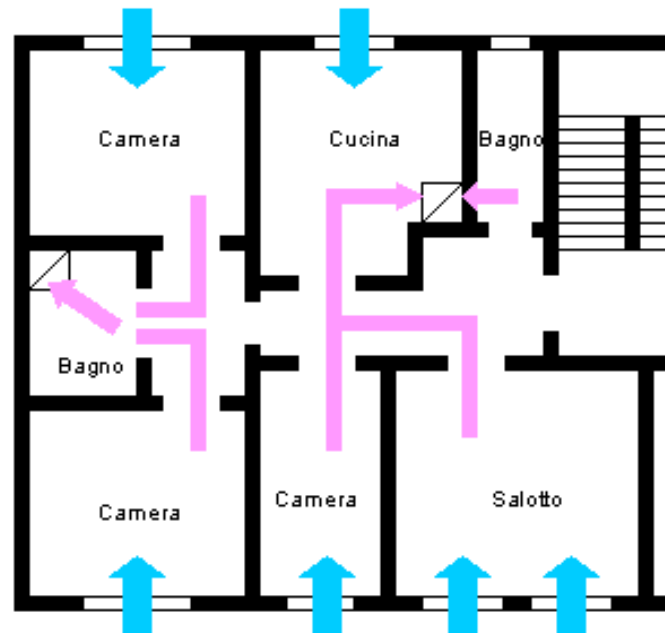
displacement ventilation



Tipologie di impianti VMC

ESTRAZIONE ED ESPULSIONE ARIA ESAUSTA

I più semplici impianti di ventilazione meccanica consentono l'**asportazione** e la conseguente **espulsione** dell'aria esausta (**EHA**) da un locale; di conseguenza, l'aria di **rinnovo** proviene **dall'esterno** attraverso appositi aeratori (prese) o da altri locali, nel qual caso l'aria è definita trasferita (TRA). La ventilazione per sola aspirazione è **efficace solo** se l'aria di **rinnovo** può **transitare**, liberamente e senza ostacoli, dai **punti d'immissione** a quelli di **aspirazione senza** attraversare locali in cui possa **ridursi in qualità**. **Non è possibile** l'integrazione con un sistema di **recupero del calore**.



29

Tipologie di impianti VMC

VENTILAZIONE BILANCIATA

presa d'aria esterna

unità trattamento aria

rete di distribuzione

I sistemi di ventilazione meccanica controllata **a due flussi** asportano l'aria esausta (**EHA**) e al contempo forniscono l'aria di approvvigionamento (**SUP**); il loro impiego è auspicabile in tutti quei contesti, o per quelle destinazioni d'uso in cui l'aria deve essere trattata, sia nelle sue **condizioni termoigrometriche** che per quanto concerne la **qualità** e la **concentrazione** di **inquinanti** nell'aria stessa.

Applicazione

- impianti centralizzati
- impianti decentralizzati

Integrazioni possibili

- condizionamento estivo
- condizionamento invernale
- recupero energetico
- pretemperazione geotermica

Tipologie di impianti VMC

ALCUNE CONSIDERAZIONI

APPLICAZIONE

Un impianto a doppio flusso centralizzato ben si può collocare in un edificio costituito da una sola unità immobiliare, funzionalmente autonoma.
portate di aria trattata quasi costanti

DIVERSIFICAZIONE ATTIVITÀ

Eventuali variazioni imposte dall'utenza richiedono una modulazione della portata alla UTA e dispositivi di regolazione automatizzati ai rami periferici

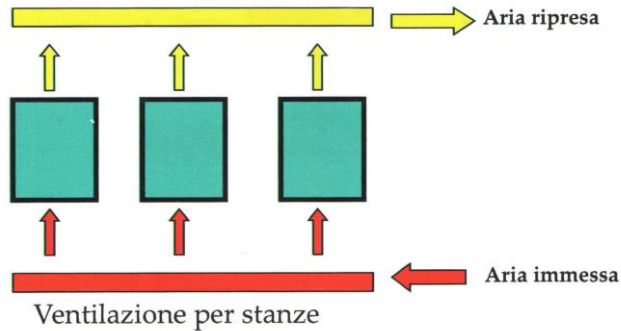
EDIFICI RESIDENZIALI

In edifici plurialloggio, si può ricorrere alla VMC per garantire il ricambio d'aria volto a preservare l'integrità dei componenti edilizi e delle unità tecnologiche

SOVRAPPRESSIONI

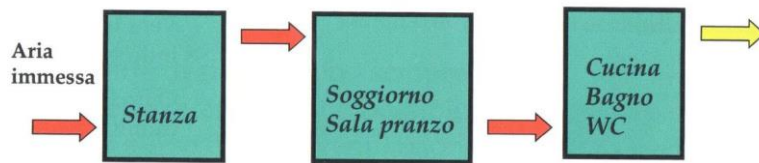
Per mantenere un ambiente di volume V in sovrappressione è necessaria una portata aggiuntiva alla portata di rinnovo rispetto a quella estratta

Tipologie di impianti VMC



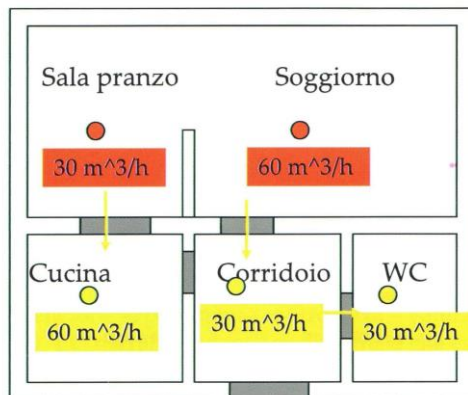
Sistemi ad anello

- è possibile ventilare i locali in modo indipendente
- la distribuzione, costituita da una tubazione di mandata ed una di ripresa e dagli stacchi ai singoli locali, è piuttosto semplice
- è necessario adottare elementi insonorizzanti poiché c'è comunicazione diretta tra diversi locali



Sistemi a cascata

- la lunghezza delle tubazioni è ridotta (sola immissione e ripresa)
- l'aria deve poter transitare da un locale all'altro e necessitano quindi di griglie di passaggio



Sistemi a dislocamento

- l'aria fresca è immessa negli spazi principali
- la ripresa avviene nei locali di servizio in cui avviene la produzione di sostanze inquinanti
- la lunghezza delle tubazioni è ridotta, è necessario predisporre più bocchette d'immissione e ripresa
- si ottiene la sovrappressione degli spazi principali rispetto agli spazi di servizio, impedendo il reflusso

Reti di distribuzione



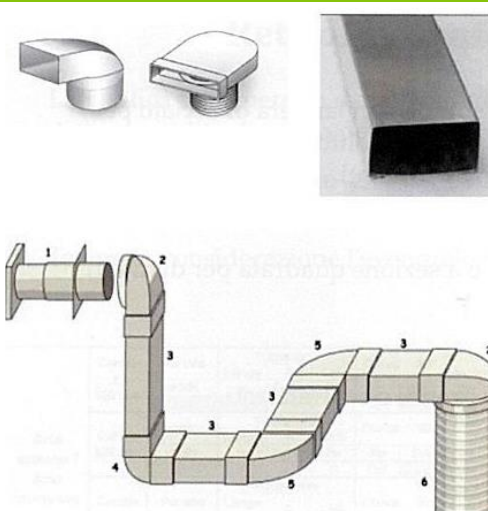
Reti di distribuzione

TUBI FLESSIBILI IN HDPE



liscio internamente
privo di curve
ingombro di cantiere
collettore voluminoso

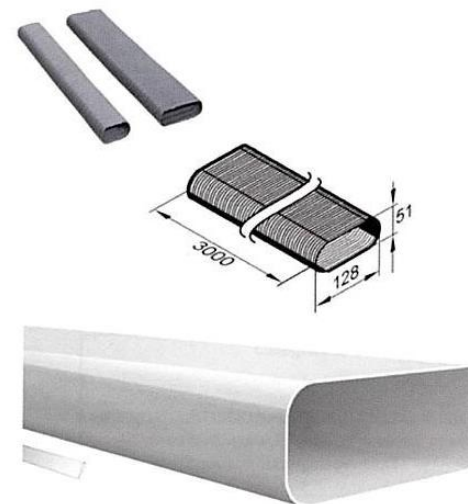
TUBI OVALI



libertà di scelta della portata
ingombro contenuto
posa a pavimento
richiedono progettazione di dettaglio di curve,
passaggi e montaggio

Reti di distribuzione

TUBI FLESSIBILI CORRUGATI



ridotto ingombro
possibile posa a pavimento
privo di curve
non calpestabile in fase di posa
elevati raggi di curvatura

Sistemi VMC integrati

VMC DECENTRALIZZATA

VMC integrata nel serramento

Scambiatore di calore inserito nel soprafinestra

Attivazione con sensori di temperatura, concentrazione CO2 e filtro F7

Intervento privo di canali d'aria

