

# Idraulica

PUBBLICAZIONE PERIODICA DI INFORMAZIONE TECNICO-PROFESSIONALE

**CALEFFI**  
Hydronic Solutions

**62**

giugno 2022



La distribuzione dell'aria  
negli impianti di  
ventilazione meccanica.



## BOCCHETTA AIR500

# RINNOVA L'ARIA CHE RESPIRI



Il sistema di ventilazione meccanica garantisce il diritto a respirare aria buona e pulita negli ambienti domestici, preservando allo stesso tempo la salubrità delle strutture. **La bocchetta serie AIR500** è semplice da installare e ha un design elegante che ne minimizza l'impatto estetico. **GARANTITO CALEFFI.**



# EDITORIALE

## CALEFFI APRE AL MERCATO DELL'ARIA

Oggi la maggior parte di noi trascorre molto tempo in luoghi chiusi: abitazioni, uffici, postazioni collaborative e condivise, strutture pubbliche e sanitarie, spazi di ritrovo.

### Come incide questo stile di vita sul nostro benessere e sulla nostra salute?

Tra tutti gli aspetti da considerare, ce n'è uno di fondamentale importanza: **la qualità dell'aria** che respiriamo. È una questione di estrema attualità perché strettamente legata alla corsa all'efficientamento energetico degli immobili. La coibentazione degli edifici porta senz'altro dei vantaggi, ma contemporaneamente mette un sigillo al ricambio dell'aria negli ambienti.



Occorre trovare un compromesso tra due esigenze: ridurre i consumi e garantire una buona qualità della vita. È qui che trovano spazio i Sistemi di Ventilazione Meccanica Controllata (VMC), pensati per mantenere l'aria pulita negli ambienti chiusi, contribuendo allo stesso tempo a preservare la salubrità delle strutture, a incrementare la loro prestazione energetica e, di conseguenza, il loro valore.

Noi di Caleffi siamo **attenti alle esigenze dei luoghi in cui le persone vivono e lavorano** e perseguiamo l'obiettivo di supportare tutte le figure alle quali ci rivolgiamo, dal progettista all'installatore, dal grossista all'utilizzatore. Lo facciamo **da oltre 60 anni** nel settore idrotermosanitario e vogliamo utilizzare lo stesso approccio oggi che ci rivolgiamo anche al mondo VMC, applicando i valori Caleffi in cui fermamente crediamo: **centralità delle persone, tutela della vita, conservazione degli immobili di proprietà** che costituiscono il patrimonio delle famiglie italiane. Il nostro atteggiamento è come sempre propositivo e il nostro sguardo è costantemente rivolto all'innovazione e all'operatività di chi installa, certifica e utilizza i nostri prodotti.

Il Presidente

A handwritten signature in black ink, appearing to be the name of the President, written in a cursive style.

Direttore responsabile:  
Mattia Tomasoni

Responsabile di Redazione:  
Fabrizio Guidetti

Hanno collaborato  
a questo numero:  
Alessia Soldarini  
Dennis Boetto  
Elia Cremona  
Mattia Tomasoni  
Pietro Malavolta  
Renzo Planca

Idraulica  
Pubblicazione registrata  
presso  
il Tribunale di Novara  
al n. 26/91 in data 28/9/91

Editore:  
La Terra Promessa Onlus -  
Novara

Stampa:  
La Terra Promessa Onlus -  
Novara

Copyright Idraulica Caleffi.  
Tutti i diritti sono riservati.  
Nessuna parte della  
pubblicazione può essere  
riprodotta o diffusa  
senza il permesso scritto  
dell'Editore.

CALEFFI S.P.A.  
S.R. 229, N. 25  
28010  
Fontaneto d'Agogna (NO)  
TEL. 0322-8491  
FAX 0322-863305  
info@caleffi.com  
www.caleffi.com

## SOMMARIO

- 5 LA DISTRIBUZIONE DELL'ARIA NEGLI IMPIANTI DI VENTILAZIONE MECCANICA**
- 6 LA QUALITÀ DELL'ARIA**  
- Sindrome dell'edificio malato  
- Efficienza energetica degli edifici  
- Umidità  
- Emissioni di CO<sub>2</sub>
- 10 IL RINNOVO DELL'ARIA TRAMITE I SISTEMI VMC**  
- Risparmio energetico  
- Recupero del calore  
- Filtrazione dell'aria
- 13 LE TIPOLOGIE DI SISTEMI VMC**  
- Sistemi VMC decentralizzati a semplice flusso e a sola estrazione  
- Sistemi VMC decentralizzati a flusso alternato  
- Sistemi VMC decentralizzati a doppio flusso  
- Sistemi VMC centralizzati a semplice flusso e a sola estrazione  
- Sistemi VMC centralizzati a doppio flusso con recupero di calore
- 16 LA DISTRIBUZIONE DELL'ARIA**  
- Aspirazione ed espulsione primarie dell'aria  
- Distribuzione dell'aria interna
- 23 APPROFONDIMENTO: COME ATTENUARE IL RUMORE NEGLI IMPIANTI VMC?**
- 24 COMPONENTI PER SISTEMI VMC**
- 26 I CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE CANALIZZAZIONI AEREAULICHE**  
- Dimensionamento aeraulico  
- Metodo di calcolo a perdita di carico costante  
- Metodo di calcolo a velocità costante  
- Metodo di calcolo a recupero di pressione statica  
- Dimensionamento della distribuzione interna nei sistemi VMC residenziali
- 32 APPROFONDIMENTO: LE BATTERIE DI TRATTAMENTO DELL'ARIA**
- 34 SCHEMI DI IMPIANTI VMC A USO RESIDENZIALE**  
- Appartamento bilocale di piccole dimensioni  
- Appartamento bilocale di medie dimensioni  
- Appartamento quadrilocale di medie dimensioni  
- Appartamento quadrilocale di piccole dimensioni  
- Abitazione privata a due piani con tetto a vista  
- Abitazione privata con sottotetto  
- Abitazione privata di grandi dimensioni
- 41 BIM.CALEFFI.COM**
- 42 CASI STUDIO BIM: Fabbrica e Caleffi per Coop Reno**



# LA DISTRIBUZIONE DELL'ARIA NEGLI IMPIANTI DI VENTILAZIONE MECCANICA

La qualità dell'aria che respiriamo assume un'importanza sempre maggiore, poiché impatta sul benessere e sulla salute umana. La maggior parte delle persone trascorre molto del proprio tempo in luoghi chiusi: la propria casa, l'ambiente di lavoro, uffici pubblici o ambienti di formazione. Questo eleva ancor più il tema che stiamo per affrontare.

In questo numero di *Idraulica* ci proponiamo di fornire ai lettori una introduzione sui più diffusi sistemi di ventilazione, cercando di descriverne gli aspetti principali e con una particolare attenzione alle applicazioni residenziali.

Nella prima parte capiremo quali sono i fattori principali che influenzano la salubrità dell'aria e le ragioni per cui è importante garantire una corretta ventilazione negli ambienti chiusi.

La progettazione di abitazioni, che siano esse nuove costruzioni o riqualificazioni, non deve solamente ricercare il contenimento dei consumi

energetici, ma deve avere l'obiettivo di garantire il massimo comfort abitativo salvaguardando allo stesso tempo la salute delle persone che occupano gli ambienti. Da questo punto di vista, rinnovare l'aria attraverso sistemi dedicati, come quelli di ventilazione meccanica controllata, comporta notevoli benefici. Vedremo quali sono ed approfondiremo i principi di funzionamento delle principali tipologie di sistemi di ventilazione meccanica controllata (nel testo utilizzeremo per semplicità l'acronimo VMC) comunemente utilizzati.

La seconda parte della trattazione è dedicata alla distribuzione dell'aria, con particolare attenzione ai componenti principali e alle differenti soluzioni che permettono di convogliare l'aria esterna negli ambienti abitativi o, viceversa, di espellere da questi ultimi l'aria più viziata. Allo scopo di garantire una corretta ventilazione, dal punto di vista progettuale, è sempre

bene soffermarsi su alcuni aspetti importanti quali il posizionamento dei punti di immissione e ripresa dell'aria ed il dimensionamento stesso delle canalizzazioni. Proprio a questo dedicheremo una sezione, introducendo i principali metodi di dimensionamento dei canali d'aria e fornendo alcune tabelle di pratico utilizzo per il progettista.

Infine, nell'ultima parte della rivista, presenteremo una raccolta di schemi di impianti VMC in ambito residenziale, differenziando alcune soluzioni e considerando le abitazioni di tipologia più comune. Per ciascuno schema, oltre alla rappresentazione della soluzione impiantistica e della relativa distribuzione, verranno individuate le principali caratteristiche dal punto di vista della progettazione e delle prestazioni ottenibili.



# LA QUALITÀ DELL'ARIA

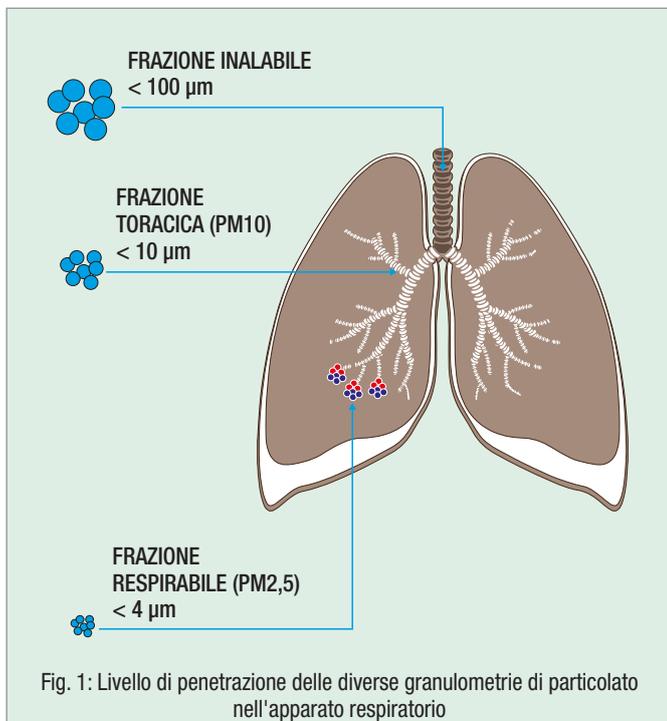
Ingg. Pietro Malavolta e Dennis Boetto

L'aria che respiriamo gioca un ruolo fondamentale quando si parla di comfort ambientale e solo una ventilazione che soddisfi precisi requisiti è in grado di garantire una condizione di benessere. La temperatura, l'umidità e il livello di inquinanti sono solo alcuni fattori che determinano la qualità dell'aria da cui dipende la salute delle persone.

Per controllare la qualità dell'aria è necessario considerare sia l'ambiente esterno sia quello interno.

La qualità dell'**aria esterna** è condizionata principalmente dalle emissioni degli impianti industriali, degli impianti termici e del traffico automobilistico. Viene monitorata frequentemente da diversi enti, per verificarne il livello di inquinamento e, di conseguenza, quanto sia dannosa per la salute.

In essa sono presenti diversi inquinanti come ossidi di azoto (NOx), monossido di carbonio (CO), ozono (O<sub>3</sub>) e composti organici volatili (VOC). È possibile trovare anche altri composti di tipo volatile come i pollini e i microrganismi. L'insieme di alcune di queste sostanze presenti in sospensione nell'aria, sia in forma solida sia in forma liquida, prende il nome di **particolato**. Quest'ultimo incide in maniera diretta sulla salute dell'uomo e per questo è stato classificato dagli enti di controllo in base alla dimensione delle particelle che lo compongono (fig. 1).



Le direttive europee (tabella 1) fissano dei limiti precisi sui valori di concentrazione di particolato che non devono essere superati. Con lo scopo di rimanere entro i limiti, nelle aree urbane, sempre più spesso, vengono adottate contromisure più o meno stringenti come il blocco della circolazione dei veicoli più inquinanti.

L'**aria interna** è altamente influenzata dall'aria esterna in quanto che entra negli ambienti domestici attraverso la ventilazione naturale e/o meccanica.

La qualità dell'aria interna (Indoor Air Quality - IAQ) è altresì condizionata negli spazi domestici, anch'essi fonte di inquinamento. Questo risulta ancora più rilevante nel caso di edifici moderni, laddove i ricambi naturali d'aria sono ridotti per via degli obiettivi di diminuzione e contenimento dei consumi energetici. I principali inquinanti interni, che determinano effetti sia sulla salute sia sul comfort ambientale, possono essere suddivisi in percepibili, come umidità e fumo, e non percepibili, come CO<sub>2</sub>, allergeni e composti organici volatili (VOC).

Qual è l'origine di questi inquinanti? (fig. 2)

- Impiego di materiali (di arredo, edili, etc) che possono emettere sostanze nocive come la formaldeide e i VOC.
- Attività quotidiane (preparazione dei cibi, uso di prodotti per la pulizia, fumo, etc.) che causano l'emissione di ossidi di carbonio CO e di zolfo SO.
- Utilizzo di strumenti ed apparecchiature elettriche (stampanti, fotocopiatrici, etc.), responsabili della formazione di polveri, VOC, etc.

In assenza di adeguati ricambi d'aria gli inquinanti citati tendono ad accumularsi, modificando la salubrità dell'aria e rendendola viziata. L'aria viziata, immediatamente percepita dagli occupanti, viene spesso indicata tra le maggiori cause di scarso comfort.

Direttiva europea 2008/50/EC e Decreto Legislativo 13/08/10 n.155 (Allegato XI)

Valore massimo per la media annuale		Valore massimo giornaliero (24 ore)	
PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	PM2.5 [µg/m <sup>3</sup> ]	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]	PM2.5 [µg/m <sup>3</sup> ]
40	25	50*	--

\* da non superare più di 35 volte all'anno

Tabella 1: Valori massimi di concentrazione di particolato per Italia ed Europa

## Sindrome dell'edificio malato

È importante sottolineare che la maggior parte delle persone trascorre gran parte del proprio tempo in un ambiente chiuso, pertanto, in presenza di scarsa qualità dell'aria e in assenza di un corretto tasso di ventilazione possono insorgere una serie di disturbi:

- effetti a breve termine (mal di testa, mal di gola, raffreddore, tosse, bronchite e irritazione della pelle);
- effetti a lungo termine (problemi al sistema nervoso centrale, cardiovascolari, respiratori, al fegato, alla milza, al sangue e all'apparato riproduttivo).

L'insieme di questi disturbi legati alla permanenza prolungata con un basso tasso di ventilazione è riconosciuta come "sindrome dell'edificio malato".

## Efficienza energetica degli edifici

Normalmente, l'aria esterna penetra all'interno degli edifici attraverso aperture esistenti nell'involucro edilizio, quali interstizi attorno agli infissi (infiltrazioni) e attraverso l'apertura di porte e finestre. Le costruzioni moderne (fig. 3) sono sempre più orientate alla riduzione dei consumi energetici: sono molteplici gli interventi effettuati negli ultimi anni in fase di riqualificazione degli edifici, tra questi la sostituzione degli infissi in particolare. Questi ultimi hanno subito un'importante evoluzione, raggiungendo elevate prestazioni e ridotte dispersioni termiche e, allo stesso tempo, una tenuta all'aria

quasi perfetta. Questo vuol dire che il naturale ricambio che si aveva con le vecchie generazioni di infissi si sta via via perdendo. L'umidità RH (Relative Humidity) prodotta in ambiente può promuovere la proliferazione di muffe, spore e batteri soprattutto in corrispondenza dei punti freddi generati, ad esempio, dai ponti termici.

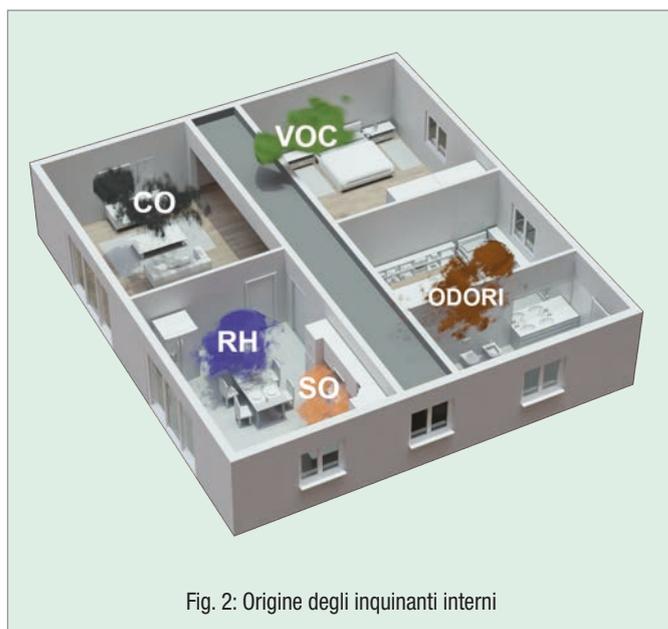


Fig. 2: Origine degli inquinanti interni

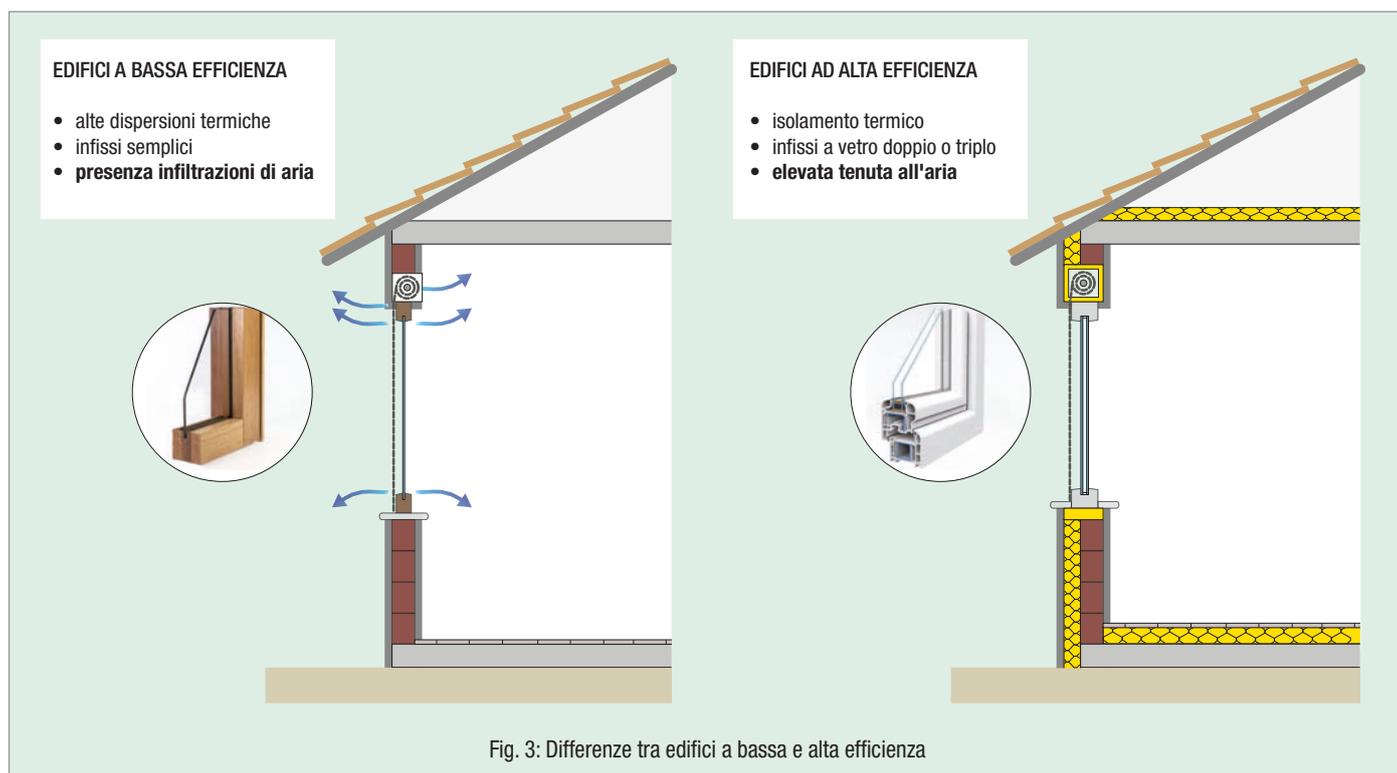


Fig. 3: Differenze tra edifici a bassa e alta efficienza

## Umidità

È un tipo di inquinante che, se non opportunamente controllato, può peggiorare la qualità dell'aria interna. Anzitutto, è bene ricordare la distinzione tra l'umidità assoluta e relativa.

- Umidità assoluta (UA): rapporto tra la massa di vapore d'acqua contenuto nell'aria ed il volume (o la massa) dell'aria che la contiene.
- Umidità relativa (UR): rapporto tra la massa di vapore d'acqua contenuto nell'aria e la massima quantità di vapore che può contenere lo stesso volume d'aria.

Negli ambienti chiusi è possibile trovare diverse sorgenti di umidità: l'uomo produce vapore d'acqua, durante il sonno (~40 g/h) e soprattutto durante le attività domestiche (~55 g/h). Anche cucinare o farsi una doccia, con una produzione media rispettivamente di ~900 g e ~240 g, contribuiscono all'accumulo di vapore negli ambienti. Vi è, tuttavia, una fascia di valori di umidità relativa in cui l'uomo percepisce il maggior benessere. Questa zona, indicata da diverse fonti autorevoli come ASHRAE, è indicata nella banda tra il 40 e il 60 %.

Con UR troppo basse l'aria diventa maggiormente secca favorendo la trasmissione di batteri e virus. Invece, con soglie di UR più elevate si generano condizioni maggiormente favorevoli per la formazione di muffe e per la proliferazione di acari. Ovviamente, l'umidità relativa negli ambienti chiusi tende ad aumentare quando non viene garantito un numero adeguato di ricambi d'aria.

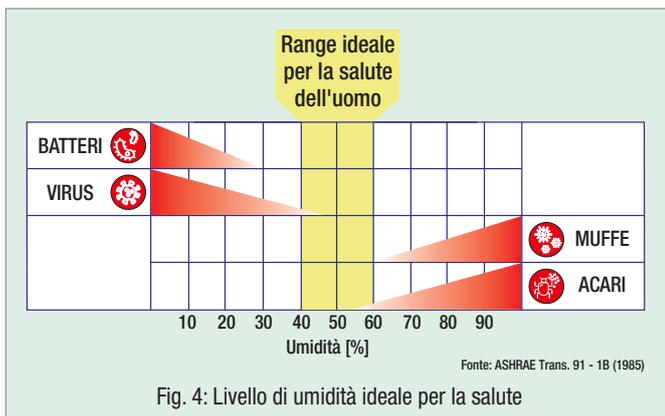


Fig. 4: Livello di umidità ideale per la salute

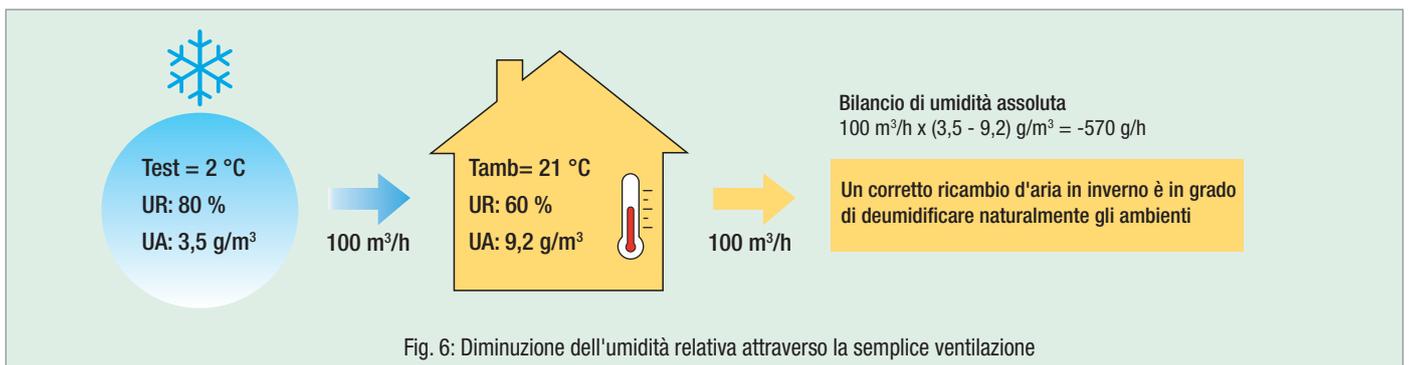


Fig. 6: Diminuzione dell'umidità relativa attraverso la semplice ventilazione

La formazione di **muffa** è favorita, oltre che dalla condizione di elevata umidità, dalla presenza di pareti più fredde di quelle circostanti. Infatti, un ambiente non riscaldato o un ponte termico non controllato possono causare la condensazione del vapor d'acqua contenuto nell'aria sulla superficie della parete (quando la sua temperatura è uguale a quella di rugiada) (fig. 5).

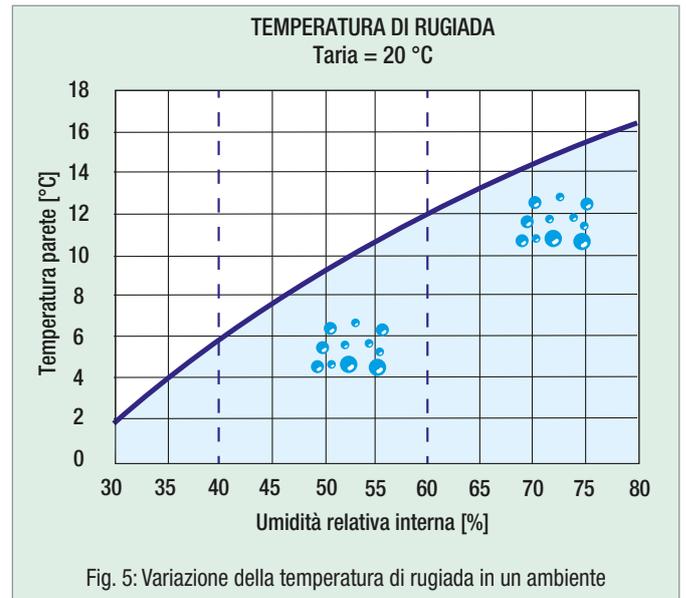


Fig. 5: Variazione della temperatura di rugiada in un ambiente

È interessante notare che in inverno, anche senza uno specifico trattamento di deumidificazione, il semplice ricambio d'aria può contribuire alla diminuzione dell'umidità negli ambienti chiusi.

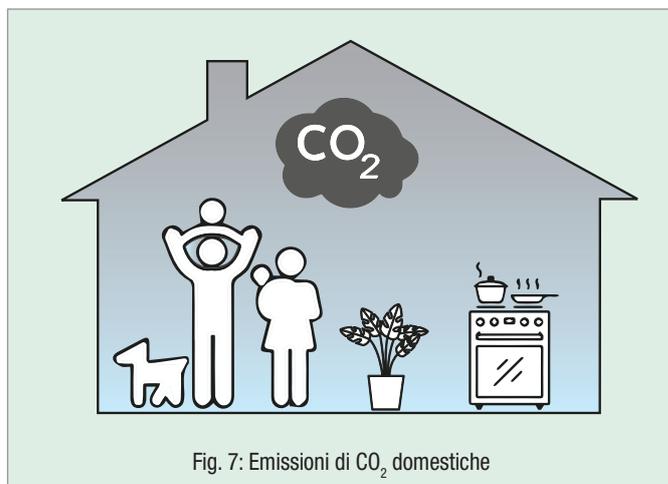
In inverno, l'aria esterna (più fredda), pur avendo una UR elevata, è solitamente caratterizzata da una umidità assoluta minore rispetto a quella interna. Questo perché più fredda è la temperatura dell'aria, meno è in grado di trattenere il vapor d'acqua (fig. 6).

## Emissioni di CO<sub>2</sub>

L'anidride carbonica è uno tra i principali responsabili dell'incremento dell'effetto serra ed è prodotta in gran parte dalla combustione dei derivati del petrolio. Ci sono, tuttavia, altre cause tra cui la respirazione delle persone, più o meno influente a seconda della loro attività, la presenza di animali domestici, i processi biologici notturni delle piante, ecc. (fig. 7). È un inquinante impercettibile ma con dei chiari effetti sulla salute umana.

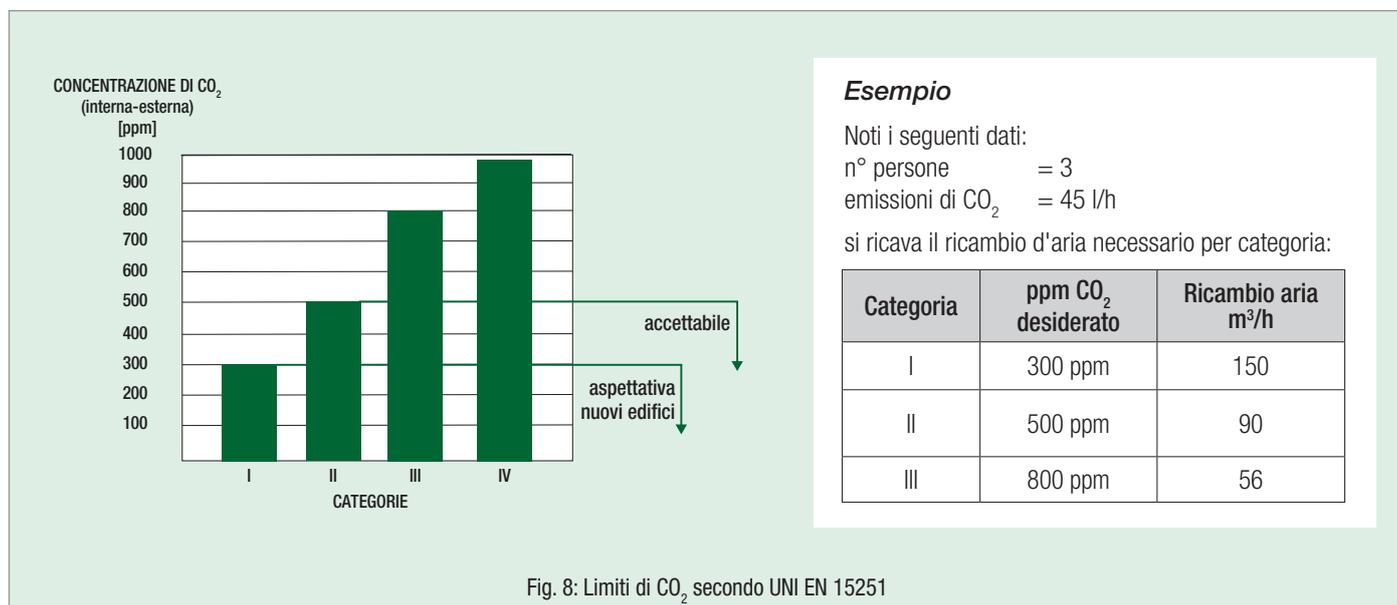
Viene qualitativamente considerata salubre l'aria con concentrazioni tra i 300 e i 500 ppm di CO<sub>2</sub>. Con valori oltre i 1000 ppm gli occupanti percepiscono l'aria come viziata, fino ad arrivare a concentrazioni molto elevate (> 5000 ppm) dove è possibile andare incontro anche a tossicità (tabella 2).

Per questo motivo, alcune normative, tra cui la UNI EN 15251, hanno stabilito dei limiti di concentrazione di anidride carbonica, allo scopo di garantire salubrità dell'aria e salute. La normativa citata classifica la quantità di CO<sub>2</sub>, secondo quattro categorie, come differenza tra la concentrazione presente nell'ambiente interno rispetto a quella presente all'esterno. Una categoria più alta implicherà un tasso di ricambio d'aria maggiore, per controbilanciare la quantità di CO<sub>2</sub> in ambiente (fig. 8).



Concentrazione di CO <sub>2</sub> (ppm)	Percezione ed effetti sulla salute	
300–500	Aria esterna	ARIA SALUBRE
500–1000	Spazi con buon ricambio d'aria	ARIA IGIENICAMENTE INNOCUA
1000–2000	Sensazione aria scadente	ARIA VIZIATA
2000–5000	Scarsa concentrazione, sonnolenza	ARIA MOLTO VIZIATA
> 5000	Tossicità	ARIA INSALUBRE

Tabella 2: Concentrazioni di CO<sub>2</sub> e salubrità dell'aria



# IL RINNOVO DELL'ARIA TRAMITE I SISTEMI VMC

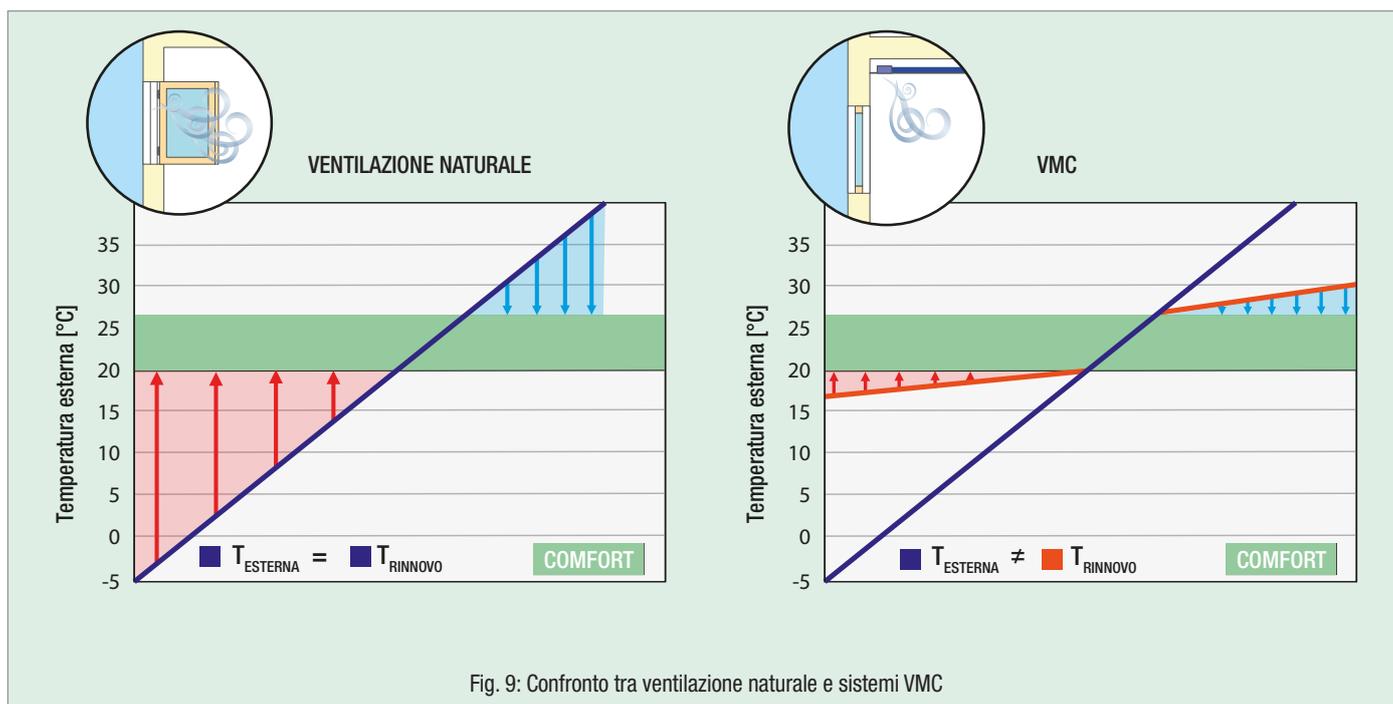
Ingg. Elia Cremona e Pietro Malavolta

Il corretto rinnovo dell'aria negli ambienti chiusi è determinante per mantenere elevata qualità e salubrità. La spontanea esigenza di aprire le finestre non è altro che la manifestazione di questo aspetto. I sistemi di ventilazione meccanica controllata sono pensati per far fronte a questa necessità apportando ulteriori benefici e vantaggi. Vediamo di seguito quali sono gli aspetti principali del loro funzionamento, oltre alla presentazione delle tipologie più diffuse.

## RISPARMIO ENERGETICO

Rinnovare l'aria significa espellere quella esausta dagli ambienti e sostituirla con aria fresca e salubre. Questa operazione può essere realizzata in maniera intelligente, sfruttando il calore contenuto nell'aria espulsa e cedendolo a quella di rinnovo. È questo il principio di funzionamento principale dei sistemi VMC, che ne determina un alto potenziale di risparmio energetico ottenibile attraverso il recupero del calore. Vedremo meglio e più in dettaglio come questo avviene fisicamente grazie ad opportuni componenti.

Per una migliore comprensione, è possibile fare un confronto tra ciò che avviene con ricambi d'aria tramite ventilazione naturale (senza alcun recupero di calore) e sistemi VMC.



La fascia verde in figura 9 indica l'intervallo di temperatura di comfort per l'occupante, compreso tra i 20 °C e i 26 °C. Se la temperatura media dell'aria interna è fuori da questo range è necessaria un'integrazione energetica da parte dell'impianto di riscaldamento o di raffrescamento per riportare l'aria ambiente all'interno della fascia di comfort.

Nel caso della ventilazione naturale, l'aria che viene rinnovata risulta essere alla stessa temperatura dell'aria esterna e dovrà essere riscaldata (o raffrescata) per rientrare nelle condizioni ideali di comfort. La quota parte di energia da integrare sarà a carico dell'impianto di climatizzazione e direttamente proporzionale alla differenza tra la temperatura di comfort e quella esterna. La VMC, il sistema è in grado di recuperare la maggior parte del calore dall'aria di ripresa (quella estratta dall'ambiente), grazie alla sua elevata efficienza. Il recupero termico fa sì che la temperatura dell'aria di rinnovo sia quindi sensibilmente prossima alle condizioni ideali di comfort. L'energia da integrare sarà, quindi, molto inferiore rispetto alla semplice ventilazione naturale.

## RECUPERO DEL CALORE

Il vantaggio più significativo dei sistemi VMC moderni è la capacità di recupero termico. Con l'ausilio di uno scambiatore, viene recuperato il calore contenuto nell'aria di ripresa dagli ambienti prima della sua espulsione, preriscaldando l'aria immessa nella stagione invernale o preraffrescandola nella stagione estiva.

### Tipologie di recuperatori

I recuperatori di calore più diffusi e utilizzati tra i sistemi VMC sono quelli di tipo a flussi incrociati e in controcorrente.

La differenza principale tra le due tipologie è determinata dalla direzione dei flussi che li attraversano, aspetto che ne influenza l'efficienza di scambio termico e di conseguenza la forma e le dimensioni. In particolare, nei recuperatori a flussi incrociati i due flussi d'aria che scambiano calore hanno direzione perpendicolare tra di loro. Invece, nel caso di recuperatori in controcorrente, i flussi d'aria si trovano ad avere direzioni opposte e parallele per gran parte del loro percorso: questo espediente determina un miglioramento generale della loro efficienza, oltre ad ingombri più ridotti a parità di prestazione. Per questa ragione sono di norma i più diffusi in applicazioni residenziali.

Generalmente, entrambe le tipologie di scambiatori sono costituite dalla composizione di diverse piastre, che, una volta sovrapposte, creano dei canali di passaggio distinti per i due flussi d'aria, grazie alla loro particolare forma (fig. 10).

Una terza tipologia, meno diffusa delle precedenti in applicazioni residenziali, è il recuperatore di tipo rotativo. È costituito da numerosi canali che formano un cilindro permeabile al passaggio dell'aria, il quale viene mantenuto in moto rotativo costante attorno al proprio asse. Durante la prima metà della rotazione, il recuperatore viene attraversato dall'aria a temperatura più alta, in modo che questa possa cedere il proprio calore; durante la seconda metà della rotazione, il recuperatore viene attraversato in direzione opposta dal flusso a temperatura più bassa, il quale assorbe l'energia accumulata. Rispetto alle altre tipologie, gli scambiatori rotativi sono più costosi per la loro maggiore complessità, ma possono adattare la loro efficienza variando la velocità di rotazione. Uno degli inconvenienti è la contaminazione tra i due flussi, in quanto una piccola percentuale d'aria durante la rotazione passa inevitabilmente nel flusso opposto.

### Efficienza di recupero

L'efficienza di recupero può essere espressa come il rapporto tra il calore

recuperato rispetto a quello massimo recuperabile.

A seconda delle condizioni di funzionamento e della tipologia di recuperatore utilizzato, si possono raggiungere valori di efficienza molto elevati, anche attorno al 90 %.

In condizioni di identica portata immessa ed estratta, l'efficienza di recupero dipende solo dalle temperature e viene definita secondo la formula 1.

$$\eta = \frac{T_{imm} - T_{ext}}{T_a - T_{ext}}$$

Dove:

$\eta$	= rendimento di recupero	
$T_{imm}$	= temp. di immissione	[°C]
$T_{ext}$	= temp. esterna	[°C]
$T_a$	= temp. ambiente	[°C]

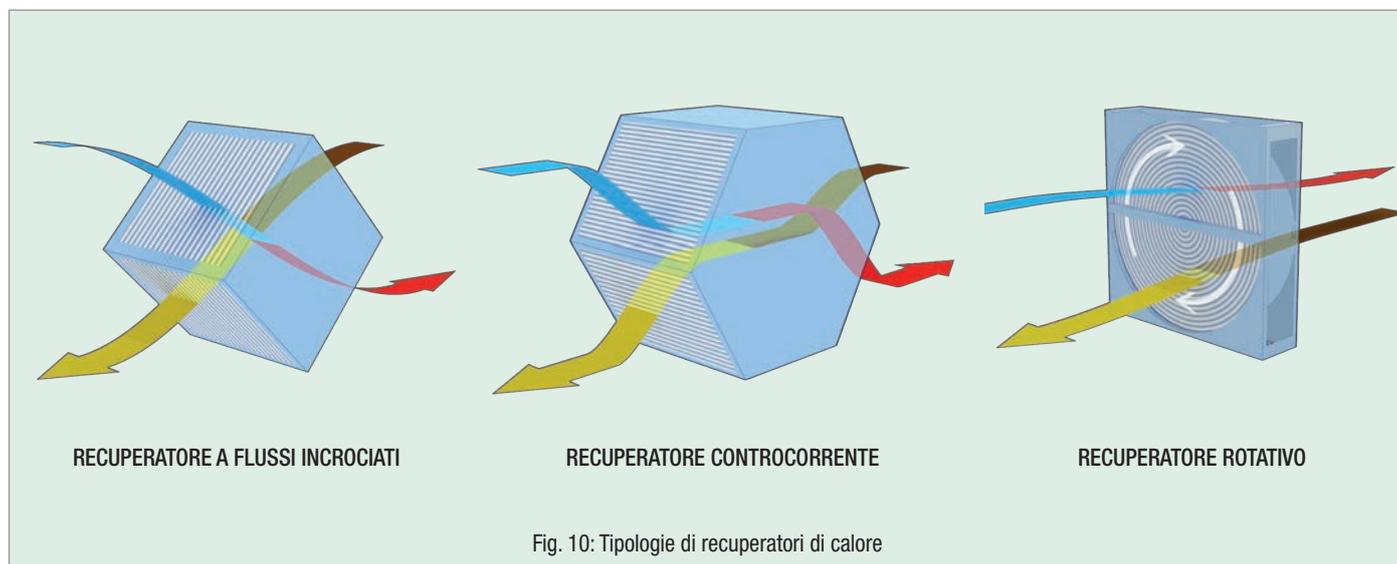
Formula 1

### Esempio

Noti i seguenti dati:  
Temp. esterna ( $T_{ext}$ ) = 5 °C  
Temp. ambiente ( $T_a$ ) = 21 °C  
Efficienza recupero ( $\eta$ ) = 85 %

si ricava la temp. di immissione ( $T_{imm}$ ):

$$T_{imm} = \eta \cdot (T_a - T_{ext}) + T_{ext}$$
$$T_{imm} = 0,85 \cdot (21 - 5) + 5 = 18,6 \text{ °C}$$



## FILTRAZIONE DELL'ARIA

Tutte le unità VMC sono equipaggiate di un sistema di filtrazione dell'aria esterna e di ripresa dall'ambiente.

Generalmente, gli elementi filtranti per l'aria esterna sono costituiti da un prefiltro e da un filtro più fine. I prefiltri, le cui maglie sono meno fitte, hanno lo scopo di trattenere particelle più macroscopiche (insetti, pollini, etc.) mentre i filtri con passaggi più fini consentono di trattenere quelle con diametri anche molto ridotti, quali polveri sottili e particolato. I filtri di ripresa dell'aria ambiente, invece, sono in genere poco selettivi in quanto devono solamente proteggere lo scambiatore di calore dalla polvere presente in casa.

### Classificazione dei filtri

I filtri vengono classificati secondo la loro efficienza di filtrazione. Fino a giugno 2018, ci si riferiva alla UNI EN 779:2012, che classificava i filtri in base all'efficienza di cattura delle particelle con diametro  $< 0,4 \mu\text{m}$  (tabella 3). Successivamente è entrata in vigore la normativa UNI EN ISO 16890:2017, che definisce le classi di filtrazione dei filtri utilizzati nei comuni sistemi di ventilazione in base all'efficienza di cattura in riferimento alla grandezza del particolato PM (tabella 4).

La pulizia dei filtri rappresenta l'operazione principale nella manutenzione delle unità VMC. Si tratta di un intervento molto semplice, ma da svolgere con cura e con una certa frequenza. Un filtro intasato rappresenta in primo luogo un notevole dispendio energetico per i ventilatori, in quanto devono contrastare una elevata perdita di carico, e in secondo luogo un rischio per gli occupanti. Un filtro sporco, infatti, potrebbe fungere da terreno fertile per la proliferazione di batteri e virus.

Efficienza (0,4 $\mu\text{m}$ )	Classe	
< 40 %	G	G1
		G2
		G3
		G4
40 % – 80 %	M	M5
		M6
> 80 %	F	F7
		F8
		F9

Tabella 3: Classificazione dei filtri in base all'efficienza di cattura delle particelle (UNI EN 779:2012)

Efficienza	Classe
< 50 % PM10	ISO Coarse
$\geq 50$ % PM10	ISO ePM10
$\geq 50$ % PM2,5	ISO ePM2,5
$\geq 50$ % PM1	ISO ePM1

Tabella 4: Classificazione in base all'efficienza di cattura in riferimento alla grandezza del particolato PM (UNI EN ISO 16890:2017)

## LE TIPOLOGIE DI SISTEMI VMC

I sistemi VMC possono essere classificati a seconda della del loro principio di funzionamento, caratterizzato dai seguenti aspetti:

- la **gestione dei flussi d'aria**. Un sistema VMC è definito a “semplice flusso” nel caso in cui siano presenti ventilatori che movimentano l'aria in una sola direzione (tipicamente il flusso di estrazione). Sono, invece, definiti a “doppio flusso”, i sistemi VMC in cui sono presenti ventilatori dedicati ai flussi di immissione rispetto a quelli di estrazione;
- la **presenza di un sistema di recupero termico**, che permette di estrarre e di sfruttare gran parte del calore dall'aria espulsa;
- la **tipologia di applicazione**. I sistemi VMC più semplici sono detti “decentralizzati”, quando svolgono la loro funzione in un singolo ambiente. Si parla invece di sistema VMC “centralizzato”, quando l'impianto gestisce contemporaneamente più ambienti attraverso un opportuno sistema di distribuzione.

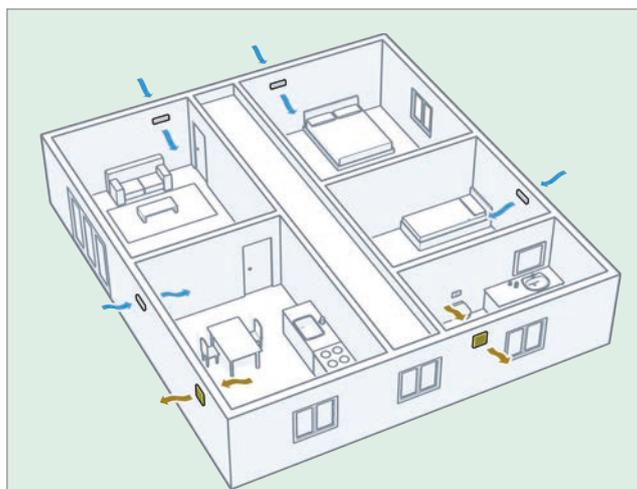
### SISTEMI VMC DECENTRALIZZATI A SEMPLICE FLUSSO E A SOLA ESTRAZIONE

La tipologia più semplice di sistema di ventilazione è senz'altro l'estrattore a semplice flusso. Si tratta di un dispositivo a singolo canale progettato per la sola estrazione di piccoli volumi d'aria viziata, tipicamente collocato ad esempio in bagni e cucine. Nonostante servano piccoli ambienti, sono forniti di ventilatori in grado di gestire portate notevoli (fino a 100 m<sup>3</sup>/h).

In commercio sono presenti estrattori equipaggiati con igrostatato. Questi modelli si attivano automaticamente quando il livello di umidità presente nel locale è maggiore rispetto a quello impostato, per poi fermarsi quando il valore scende al di sotto di tale soglia.

I principali vantaggi degli estrattori sono sicuramente la loro funzionalità, la semplicità di utilizzo e il costo relativamente basso. Tuttavia, sono sistemi riconosciuti come alquanto rumorosi, motivo per cui il loro utilizzo coincide in genere con il solo periodo di permanenza all'interno del locale. Per loro natura, questi dispositivi non dispongono di un recuperatore di calore.

In ambito residenziale sono diffuse soluzioni che prevedono la combinazione di estrattori posizionati nei bagni e di aperture in corrispondenza dei soggiorni e delle camere per favorire l'ingresso dell'aria esterna ed evitare che l'ambiente si trovi in depressione.



Tipologia di flusso	SEMPLICE – SOLO ESTRAZIONE
Tipologia di installazione	DECENTRALIZZATO
Recupero termico	NO
Portate elaborate	MAX 100 m <sup>3</sup> /h
Destinazione d'uso	BAGNI / CUCINE

Fig. 11: Sistema VMC decentralizzato - semplice flusso, solo estrazione

### SISTEMI VMC DECENTRALIZZATI A FLUSSO ALTERNATO

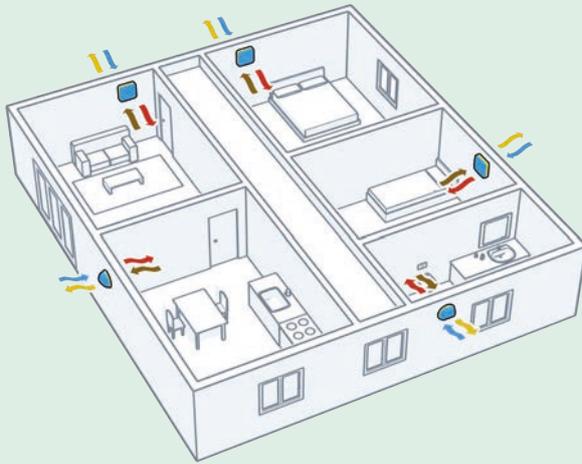
La VMC decentralizzata a flusso alternato, detta anche puntuale, lavora localmente nell'ambiente in cui viene installata. Similmente al semplice estrattore, si sviluppa su un singolo canale ma, funziona alternando la rotazione della ventola in modo ciclico, potendo quindi gestire sia l'immissione d'aria di rinnovo sia l'estrazione dell'aria viziata. Inoltre, è un sistema che è in grado di effettuare il recupero di calore, grazie alla presenza di uno scambiatore al suo interno.

Durante il ciclo di estrazione il ventilatore estrae l'aria viziata e umida dal locale. Prima di essere espulsa verso l'esterno, una parte dell'energia termica contenuta nell'aria di ripresa viene immagazzinata nel recuperatore di calore.

Durante il successivo ciclo di immissione, il ventilatore inverte la sua rotazione aspirando dall'esterno l'aria pulita, alla quale viene ceduta l'energia termica accumulata in precedenza. L'aria di rinnovo viene quindi filtrata e immessa nel locale.

I sistemi VMC decentralizzati a flusso alternato sono ideali per interventi su abitazioni nelle quali non è possibile l'installazione di un sistema centralizzato o dove non vengono effettuate importanti ristrutturazioni.

L'assenza di canalizzazioni invasive, il limitato impatto estetico e la facilità di posa rappresentano il principale vantaggio di questa tipologia di sistemi. Tuttavia, le prestazioni in termini di efficienza di recupero termico e di filtrazione, oltre alle ridotte portate elaborate, sono generalmente inferiori rispetto ad altri sistemi VMC.



Tipologia di flusso	FLUSSO ALTERNATO
Tipologia di installazione	DECENTRALIZZATO
Recupero termico	SI
Portate elaborate	MAX 50 m <sup>3</sup> /h – A CICLI
Destinazione d'uso	SINGOLE STANZE 30 m <sup>2</sup>

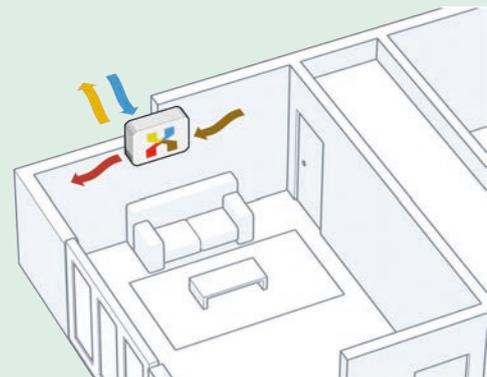
Fig. 12: Sistema VMC decentralizzato – flusso alternato

## SISTEMI VMC DECENTRALIZZATI A DOPPIO FLUSSO

Anche i sistemi VMC decentralizzati a doppio flusso svolgono la loro funzione localmente nell'ambiente di installazione ma, a differenza della tipologia a flusso alternato, dispongono di due canali distinti, uno dedicato al flusso di immissione e uno dedicato al flusso di estrazione.

Grazie alla gestione simultanea dei due flussi, le portate elaborate e l'efficienza di recupero risultano superiori rispetto alla soluzione a flussi alternati. Anche per questo tipo di sistemi è presente un recuperatore di calore, solitamente a flussi in controcorrente, che permette il recupero termico con buone efficienze.

Per le loro caratteristiche costruttive, sono sistemi realizzati con lo scopo di raggiungere un buon compromesso tra le prestazioni e la semplicità di installazione.



Tipologia di flusso	DOPPIO FLUSSO
Tipologia di installazione	DECENTRALIZZATO
Recupero termico	SI
Portate elaborate	MAX 100 m <sup>3</sup> /h
Destinazione d'uso	SINGOLI AMBIENTI - PICCOLI APPARTAMENTI 70 m <sup>2</sup>

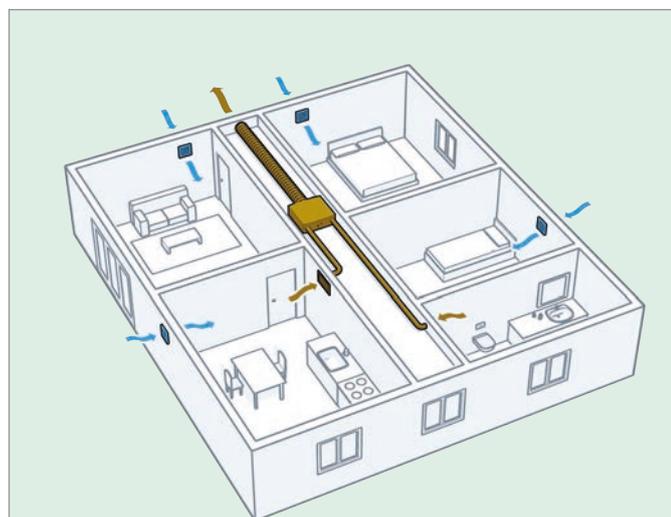
Fig. 13: Sistema VMC decentralizzato - doppio flusso

## SISTEMI VMC CENTRALIZZATI A SEMPLICE FLUSSO E A SOLA ESTRAZIONE

Tra i sistemi di tipo centralizzato, quello a semplice flusso con canalizzazioni dedicate alla sola estrazione dell'aria risulta essere quello più semplificato.

Si tratta di un sistema che prevede un impianto canalizzato per la sola estrazione dell'aria, costituito da una rete di distribuzione e una unità che include il ventilatore dedicato all'espulsione dell'aria viziata. Viene abbinato a bocchette di ripresa, semplici o igroregolabili (regolano il flusso d'aria in funzione dell'umidità presente), tipicamente posizionate nei locali più umidi come bagni e cucine. L'aria di rinnovo, viene introdotta negli ambienti grazie alla depressione creata dall'unità di estrazione, attraverso semplici aperture collocate nei vari locali.

Come per la soluzione decentralizzata a semplice flusso, il sistema centralizzato non effettua il recupero termico ma solo il rinnovo dell'aria ambiente. Risulta un sistema facilmente gestibile e di realizzazione relativamente semplice, data la limitata estensione della rete di distribuzione.



Tipologia di flusso	SEMPLICE – SOLO ESTRAZIONE
Tipologia di installazione	CENTRALIZZATO
Recupero termico	NO
Portate elaborate	MAX 400 m <sup>3</sup> /h
Destinazione d'uso	APPARTAMENTI 50 - 200 m <sup>2</sup>

Fig. 14: Sistema VMC centralizzato – semplice flusso, solo estrazione

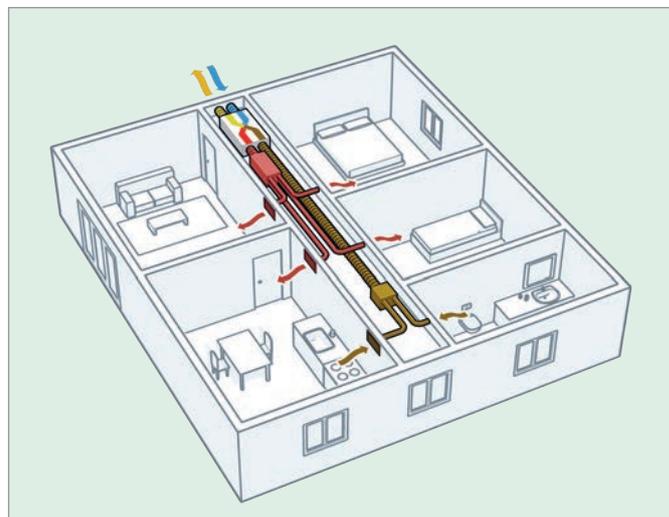
## SISTEMI VMC CENTRALIZZATI A DOPPIO FLUSSO CON RECUPERO DI CALORE

Sono sistemi VMC di tipo centralizzato in quanto è presente un'unica unità ventilante a servizio dell'intero edificio. L'unità è dotata di ventilatori separati per i due flussi d'aria. Al suo interno sono inoltre presenti i componenti dedicati alla filtrazione e lo scambiatore per il recupero termico.

La rete di distribuzione è costituita da un circuito di immissione, che ripartisce l'aria di rinnovo nei soggiorni e nelle camere, e da un circuito dedicato all'estrazione dell'aria viziata e umida da cucine e bagni.

I sistemi VMC centralizzati a doppio flusso rappresentano il sistema di ventilazione meccanica di riferimento, poiché più completi ed efficienti rispetto alle varie tipologie trattate in precedenza. Date queste caratteristiche, possono adattarsi alle esigenze specifiche degli edifici in cui sono installate, ma devono necessariamente essere accompagnate da un'adeguata progettazione e dimensionamento.

Per contro, richiedono necessariamente un'installazione abbastanza invasiva con conseguenti maggiori costi di investimento iniziale.



Tipologia di flusso	DOPPIO FLUSSO
Tipologia di installazione	CENTRALIZZATO
Recupero termico	SI
Portate elaborate	MAX 500 m <sup>3</sup> /h
Destinazione d'uso	APPARTAMENTI 70 - 200 m <sup>2</sup>

Fig. 15: Sistema VMC centralizzato – doppio flusso con recupero di calore

# LA DISTRIBUZIONE DELL'ARIA

Ingg. Mattia Tomasoni e Elia Cremona

Lo scopo della distribuzione dell'aria negli impianti VMC è quello di movimentare i flussi di immissione ed estrazione, sia dall'interno all'esterno dell'edificio e viceversa, sia all'interno dei singoli ambienti. In questo modo il sistema è in grado di garantire il ricambio ottimale dell'aria e il lavaggio dei locali. Ogni tratto della distribuzione ha uno specifico scopo e deve essere progettato e realizzato con opportuni accorgimenti, in particolar modo va posta attenzione ai materiali impiegati in relazione alla tipologia e al posizionamento delle distribuzioni. Inoltre, un aspetto significativo nella strategia di distribuzione dell'aria è il posizionamento delle bocchette di immissione ed estrazione.

## ASPIRAZIONE ED ESPULSIONE PRIMARIE DELL'ARIA

I componenti principali interessati a questo scopo sono:

1. prese ed espulsioni esterne;
2. canalizzazioni primarie tra ambiente esterno e unità di ventilazione.

In genere, questi tratti non presentano diramazioni in quanto movimentano l'aria tra l'esterno e la macchina di ventilazione, sia in estrazione sia in ripresa.

### Prese ed espulsioni esterne

La posizione di questi componenti deve essere attentamente valutata poiché bisogna evitare sia di aspirare aria esterna potenzialmente inquinata sia di espellere aria viziata in corrispondenza di spazi occupati dalle persone. Occorre, anche, impedire fenomeni di

aspirazione dell'aria espulsa.

Per questi motivi, le prese dell'aria esterna vanno installate alla quota più alta possibile: polveri ed inquinamento, essendo pesanti, tendono ad accumularsi verso il basso. Inoltre, è preferibile evitare l'aspirazione dai luoghi a maggior concentrazione di inquinanti come i parcheggi, il fronte strada o le zone interessate da esalazioni di camini e cappe.

Nel posizionamento delle prese d'aria esterne, è necessario controllare i regolamenti locali di igiene, che possono riportare specifiche prescrizioni in merito. Ad esempio, in molti regolamenti è riportato l'obbligo di collocare la presa d'aria esterna ad almeno 3 m da terra.

Le espulsioni dell'aria viziata hanno in genere meno vincoli di posizionamento, tuttavia, è bene collocarle lontano da punti di sosta delle persone come

balconi, logge o verande. Talvolta, è possibile sfruttare l'energia residua dell'aria posizionando le espulsioni in corrispondenza delle batterie di eventuali macchine frigorifere a compressione come le pompe di calore o i condizionatori.

Non di minore importanza è la posizione reciproca della presa d'aria rispetto a quella di espulsione: è raccomandato che queste siano almeno ad una distanza di circa 1 m per evitare fenomeni di ricircolo dell'aria espulsa. Dove non fosse possibile (fig. 17) è necessario convogliare opportunamente i flussi in direzioni diverse attraverso:

- bocchette direzionali;
- setti;
- curve di uscita;
- bocchette ad angolo.

Infine, prese ed espulsioni devono garantire un'adeguata protezione

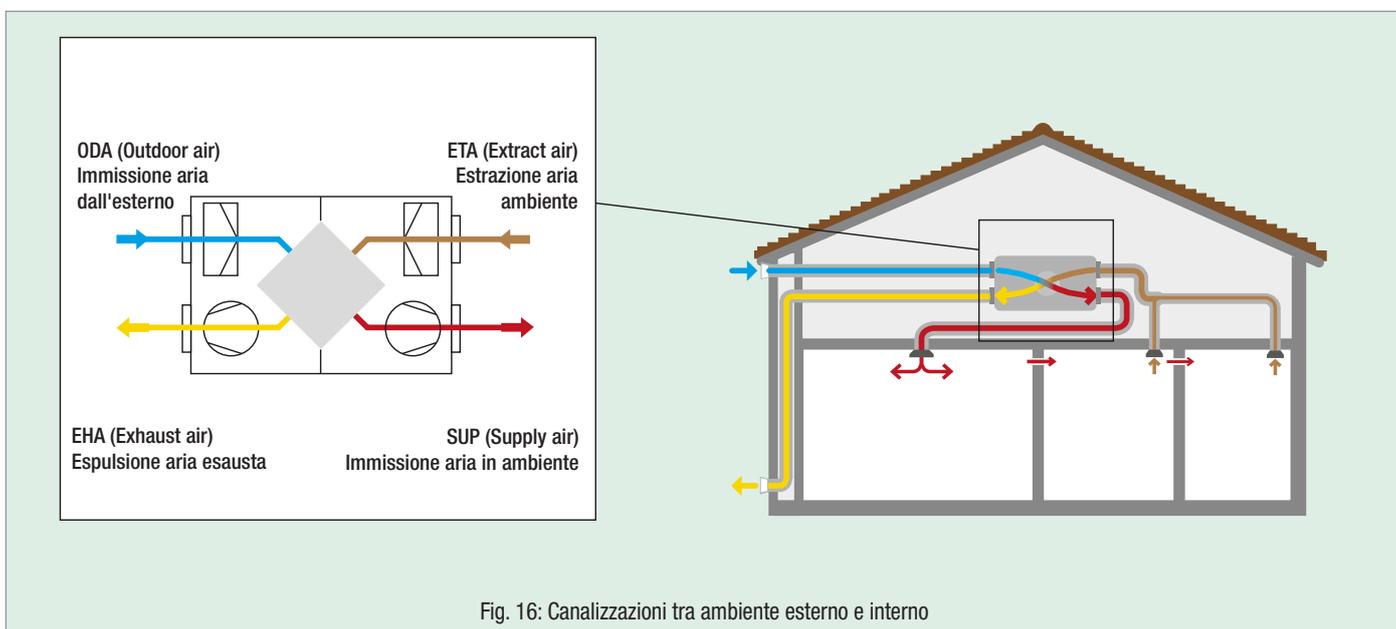


Fig. 16: Canalizzazioni tra ambiente esterno e interno

dell'impianto dalla pioggia e impedire l'ingresso nelle canalizzazioni di piccoli animali, come uccelli, roditori o insetti. La protezione dalla pioggia può essere garantita da alette inclinate, canali con curvature verso il basso o comignoli, mentre la protezione dall'ingresso di animali e insetti è in genere affidata a reti poste in prossimità delle prese (fig. 18).

### Canalizzazioni primarie tra ambiente esterno e unità di ventilazione

Queste canalizzazioni non presentano, in genere, derivazioni. Nel dimensionarle è possibile mantenere velocità leggermente superiori rispetto a quelle della distribuzione interna, in quanto l'eventuale rumore generato dal flusso non viene direttamente diffuso all'interno dell'abitazione. Tuttavia, occorre valutare con attenzione il loro percorso di passaggio: se queste dovessero attraversare locali come camere da letto o soggiorni è necessario adottare opportuni accorgimenti di abbattimento acustico, come l'utilizzo di canali fonoassorbenti o la riduzione della velocità del flusso. Infine, è sempre necessario valutare attentamente la lunghezza dei tratti di canalizzazione in quanto velocità sostenute portano a perdite di carico consistenti (tabella 5). In questi casi è opportuno aumentarne la sezione di passaggio.

### Isolamento delle canalizzazioni primarie

È fondamentale considerare l'isolamento per questi tratti di canalizzazioni per i seguenti scopi principali (tabella 6):

1. favorire il risparmio energetico, limitando il flusso termico disperso attraverso la superficie fredda del canale;
2. evitare che l'aria interna condensi sul canale.

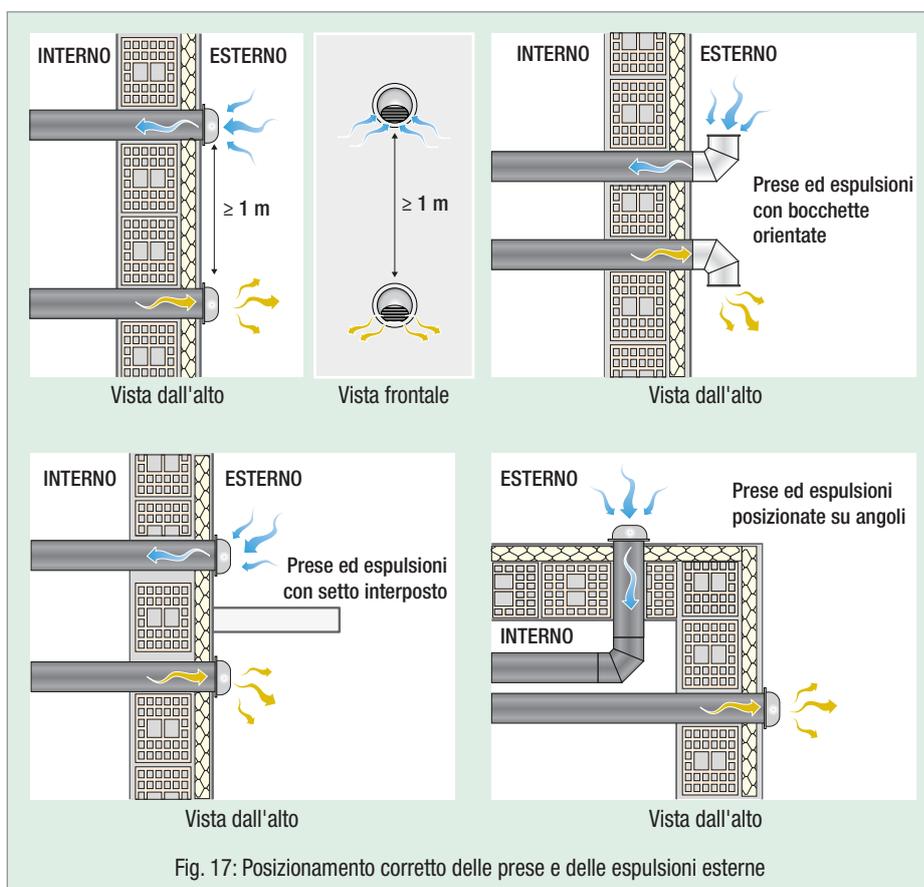


Fig. 17: Posizionamento corretto delle prese e delle espulsioni esterne

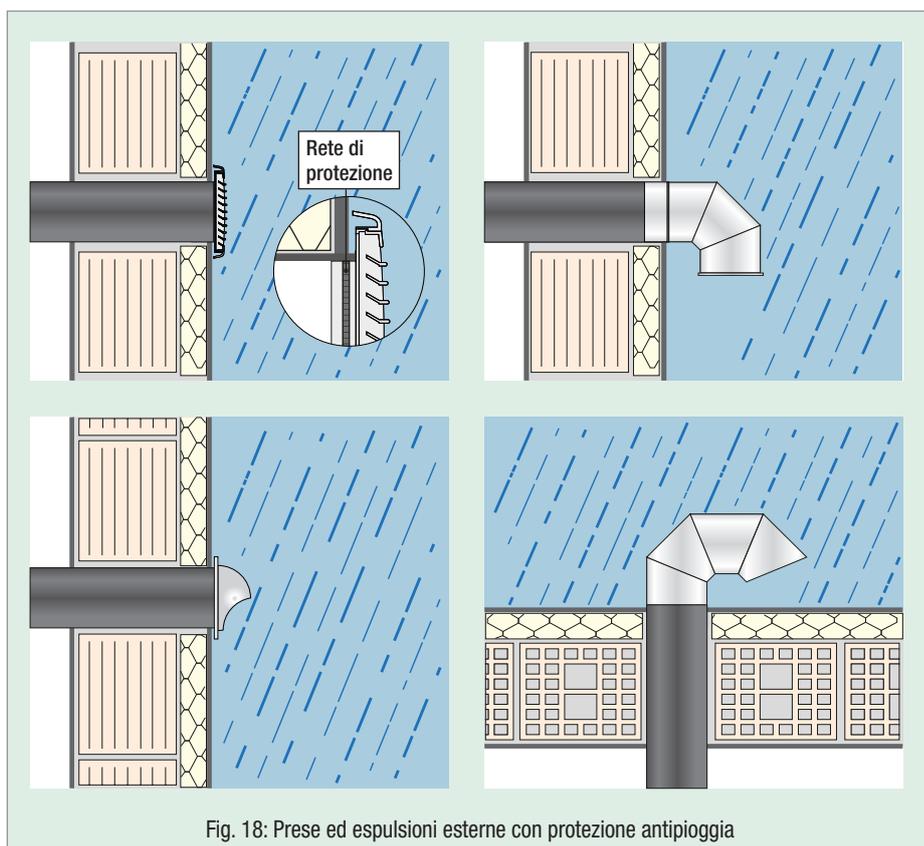


Fig. 18: Prese ed espulsioni esterne con protezione anti-pioggia

Il canale di immissione convoglia aria dall'esterno, e perciò potenzialmente molto fredda in inverno. In questa situazione l'isolamento è necessario per prevenire la formazione di condensa sulla superficie del canale, in quanto la tubazione fredda potrebbe raggiungere facilmente la temperatura di rugiada dell'aria ambiente (fig. 19).

Il canale di espulsione trasporta in genere aria con temperature meno rigide, ma spesso con umidità relative elevate. Di conseguenza, anche in questo caso, possono verificarsi le condizioni di formazione della condensa all'interno del canale rendendone necessario l'isolamento.

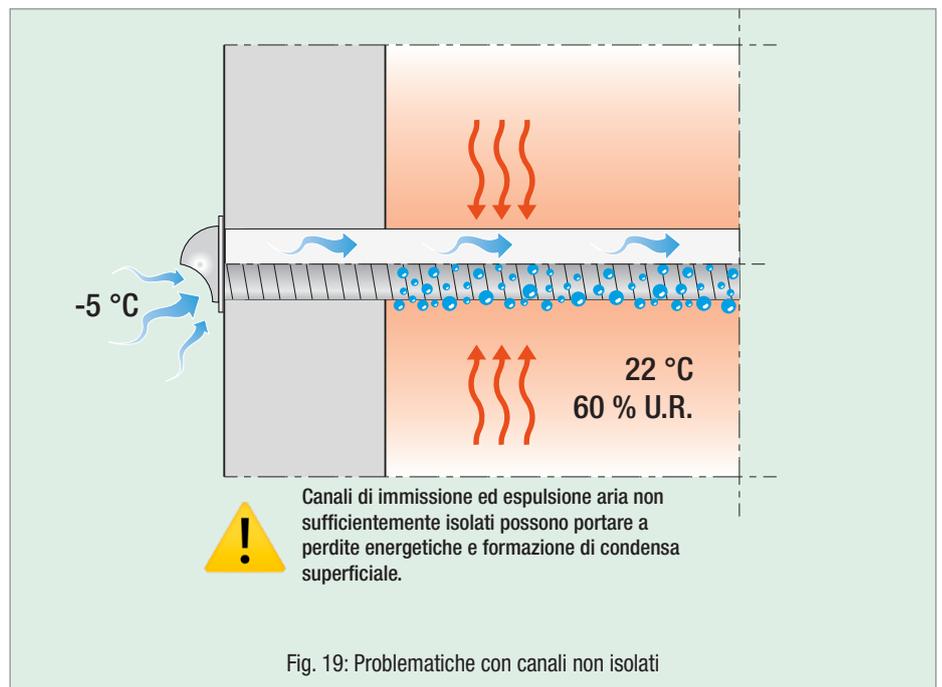


Fig. 19: Problematiche con canali non isolati

Portata aria [m³/h]	TUBAZIONI INGRESSO ED USCITA < 2 m			TUBAZIONI INGRESSO ED USCITA > 2 m		
	Diametro int. [mm]	Coeff. r [Pa/m]	Velocità [m/s]	Diametro int. [mm]	Coeff. r [Pa/m]	Velocità [m/s]
150	125	1,5	3,4	160	0,4	2,1
250	160	1,1	3,5	200	0,4	2,2
350	160	2,0	4,8	200	0,7	3,1
450	200	1,1	4,0	250	0,4	2,6
500	200	1,3	4,4	250	0,4	2,8

Tabella 5: Velocità suggerite nel dimensionamento delle canalizzazioni di aspirazione ed espulsione

Ø int. [mm]	SPESSORE ISOLAMENTO [mm]										
	0	6	8	10	12	14	16	18	20	25	32
125	-52	-31	-27	-25	-22	-21	-19	-18	-17	-15	-13
160	-68	-39	-35	-31	-28	-26	-24	-23	-19	-19	-17
200	-89	-49	-43	-39	-35	-32	-29	-27	-22	-22	-20
250	-112	-62	-54	-48	-43	-40	-36	-34	-27	-27	-24
Condensa con $T_{est} = -5\text{ °C}$ $T_{int} = 22\text{ °C}$ UR = 60 %					Condensa con $T_{est} = -5\text{ °C}$ $T_{int} = 24\text{ °C}$ UR = 65 %						

Tabella 6: Dispersioni [W/m] per condotti isolati aria esterna

## DISTRIBUZIONE DELL'ARIA INTERNA

La distribuzione all'interno dell'abitazione ha il compito di trasportare l'aria di rinnovo agli ambienti interni e, contemporaneamente, aspirare l'aria viziata dai locali più umidi, convogliandola verso l'unità di ventilazione.

### Tipologie di distribuzione dell'aria interna

Le reti di distribuzione possono essere di più tipi (fig. 20):

- ramificate;
- con plenum;
- miste.

La distribuzione di tipo **ramificato** prevede una canalizzazione principale che distribuisce l'aria attraverso derivazioni detti stacchi o rami. Generalmente viene posta nei controsoffitti, in quanto le dimensioni del canale principale non ne consentono l'installazione nei massetti dei pavimenti.

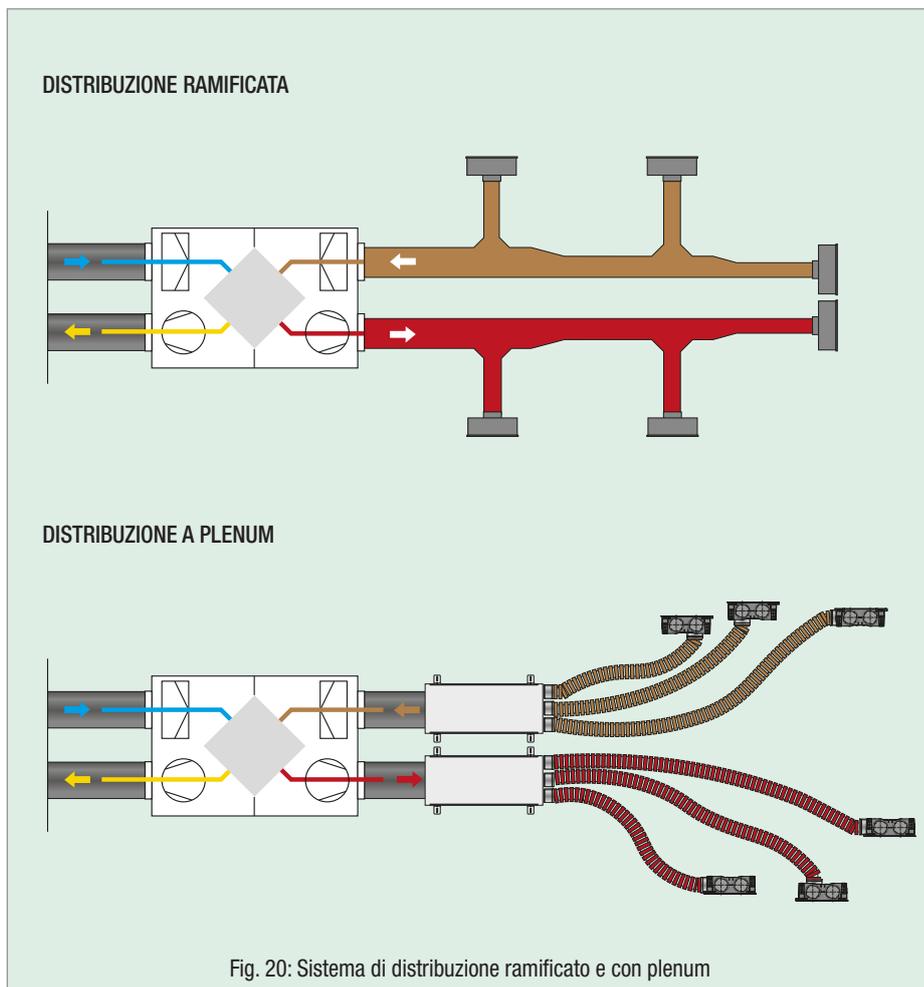
#### Vantaggi:

- numero inferiore di opere murarie;
- maggiore adattabilità nelle ristrutturazioni in presenza di sottotetti accessibili.

#### Svantaggi:

- bilanciamento difficoltoso;
- necessita di opere come controsoffitti o velette;
- limita l'altezza degli ambienti;
- è architettonicamente più invasiva;
- in genere non consente un posizionamento ottimale delle bocchette di immissione;
- il canale ramificato è in genere realizzato su disegno specifico e non con componenti standard.

La distribuzione a **plenum** prevede, invece, l'inserimento di cassette di derivazione (o plenum) alle quali sono collegate le tubazioni di distribuzione secondarie che movimentano i flussi d'aria da o verso le bocchette



poste negli ambienti. In genere, queste derivazioni sono costituite da canalizzazioni flessibili, che possono essere anche annegate nei pavimenti.

#### Vantaggi:

- disposizione ottimale delle bocchette;
- sistema costituito da componenti standard e non costruiti su misura;
- se distribuito nei massetti non è invasivo dal punto di vista architettonico;
- installazione e progettazione semplice;
- bilanciamento facile.

#### Svantaggi:

- necessita di uno spazio tecnico per il posizionamento delle cassette di distribuzione;

- non è generalmente utilizzabile nelle ristrutturazioni dove le altezze sono limitate.

### Posizionamento delle bocchette ambiente

L'immissione e l'estrazione dell'aria all'interno degli ambienti devono:

1. garantire una buona distribuzione dell'aria per evitare zone non interessate dal flusso (dette anche zone di ristagno);
2. evitare correnti di aria fredda che investono direttamente gli occupanti;
3. evitare correnti con velocità eccessive;
4. garantire il corretto lavaggio dei locali.

## Bocchette ambiente di immissione

In genere le bocchette di immissione sono installate a parete. Preferibilmente andrebbero posizionate in basso e dal lato opposto rispetto a quelle di estrazione (fig. 21): in questo modo si garantisce un buon lavaggio del locale senza zone di ristagno e si evitano getti d'aria fredda diretti sulle persone che occupano i locali. La posizione opposta all'estrazione consente di mantenere basse velocità di immissione in quanto non vi è la necessità di effettuare un "lancio" dell'aria per penetrare eventuali zone di ristagno.

Qualora non fosse possibile, è preferibile installare le bocchette nella parte superiore delle pareti o a soffitto (fig. 22). Questa soluzione va valutata attentamente: durante la stagione invernale la temperatura dell'aria immessa può essere inferiore a 20 °C e creare disagio. Inoltre, è consigliabile evitare bocchette di immissione in corrispondenza di zone a maggior frequentazione come salotti, camere da letto, zone studio, poiché l'aria fredda tende a "cadere" riducendo la percezione di comfort.

Se non si potessero adottare queste soluzioni, sarebbe necessario innalzare la temperatura di immissione attraverso una batteria di post-riscaldamento posizionata sul canale di mandata, almeno in presenza di temperature più rigide (vedi approfondimento "Le batterie di trattamento dell'aria").

Progettare le bocchette di immissione con velocità dell'aria più sostenute concorre ad evitare l'effetto by-pass dell'aria di rinnovo e conseguenti zone di ristagno (fig. 23). Questo espediente può essere adottato quando non è possibile posizionare le immissioni contrapposte alle estrazioni, per far penetrare più efficacemente il flusso d'aria immessa all'interno del locale (fig. 24). In questo particolare caso è preferibile posizionare le bocchette nella parte superiore della stanza tenendo sempre in considerazione di evitare flussi d'aria diretti sulle persone.

Negli impianti con terminali ad aria come i ventilconvettori, è possibile sfruttare convenientemente il sistema di ricircolo dell'aria presente immettendo l'aria di rinnovo direttamente nelle loro riprese. In questo modo, si ottiene il vantaggio di post-trattare l'aria immessa e di sfruttare il sistema di lancio dell'impianto di climatizzazione (fig. 25).

## Bocchette ambiente di ripresa

Hanno il compito di aspirare l'aria viziata dagli ambienti e il loro posizionamento presenta meno criticità. Tuttavia, è necessario porre alcune attenzioni: l'installazione deve preferibilmente essere prevista in tutti i locali dove si generano odori ed inquinanti, come cucine e bagni, in modo da non creare flussi d'aria da questi locali verso gli altri ambienti (figg. 26 e 27).

La collocazione ideale risulta quella

a soffitto o nella parte superiore delle pareti, poiché qui tendono ad accumularsi inquinanti e umidità, oltre all'aria più calda che favorisce di conseguenza il recupero termico.

## Bocchette di transito

Nella maggior parte delle distribuzioni di ventilazione meccanica all'interno delle abitazioni non sono installati sistemi di immissione e di ripresa all'interno di uno stesso ambiente. Per questo motivo è necessario garantire il corretto flusso d'aria attraverso le stanze in cui si immette aria di rinnovo e quelle da dove viene aspirata. Il mancato studio di questo aspetto può compromettere la corretta ventilazione in caso di chiusura delle porte.

Il transito dell'aria da una stanza all'altra può essere garantito attraverso apposite griglie di transito oppure

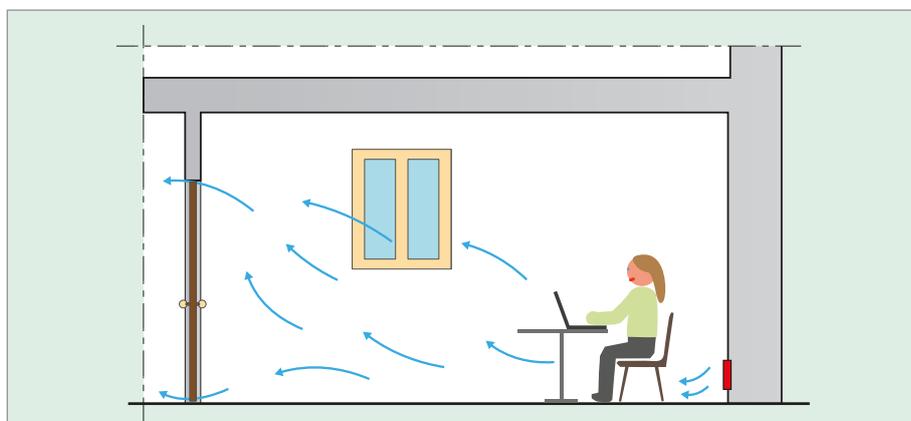


Fig. 21: Bocchetta di immissione in ambiente collocata in basso e dalla parte opposta all'estrazione

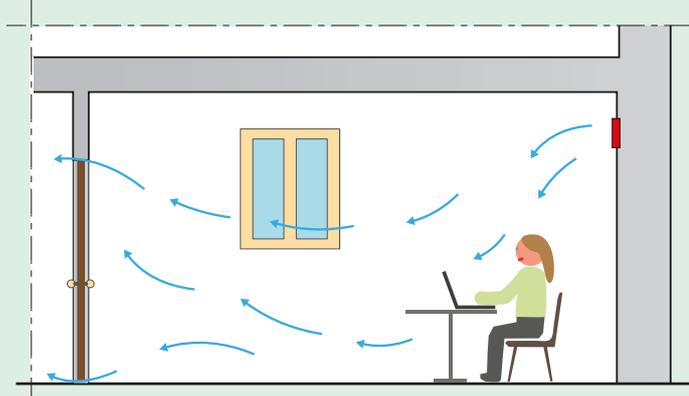
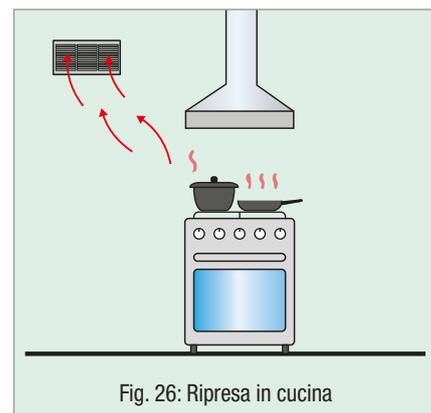
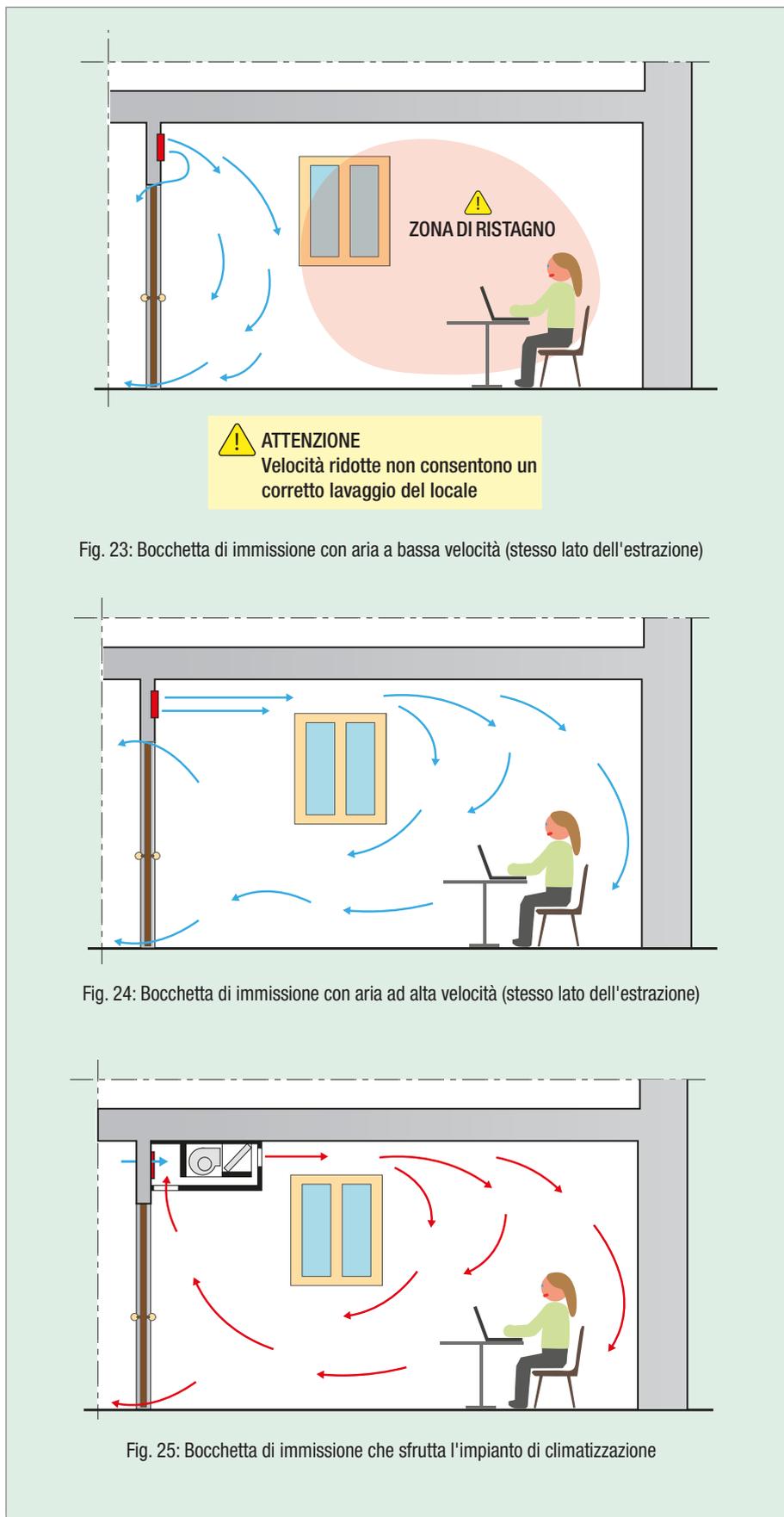


Fig. 22: Bocchetta di immissione in ambiente collocata in alto e dalla parte opposta all'estrazione

sfruttando gli interstizi tra le porte e il pavimento.

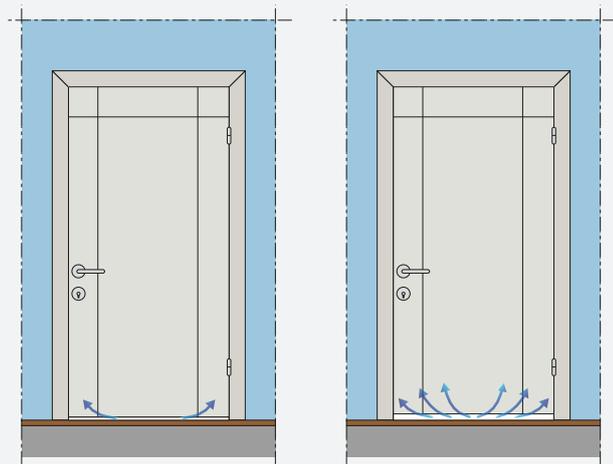
Le griglie di transito, nonostante siano la soluzione che tecnicamente consente il miglior controllo, non vengono di solito utilizzate per ragioni essenzialmente estetiche e di costo. Va inoltre considerato che nelle griglie di transito va sempre garantito un abbattimento acustico per evitare la propagazione del rumore tra le stanze adiacenti.

Per questo motivo la soluzione largamente più utilizzata è quella di sfruttare gli interstizi alla base delle porte interne: è sufficiente evitare di installare guarnizioni e rialzare leggermente le porte rispetto al piano del pavimento (tabella 7).



Nella tabella a fianco sono riportate le velocità di passaggio dell'aria in caso di transito al di sotto delle porte.

Si può ritenere accettabile una velocità di transito inferiore ai 2 m/s mentre è opportuno non superare la velocità di 3 m/s per evitare perdite di carico eccessive che limitano la portata effettiva dell'impianto.



Portata aria [m³/h]	Altezza luce sotto porta [mm]			
	2	4	6	8
30	1,3	1,0	0,9	0,7
40	1,7	1,4	1,1	1,0
50	2,1	1,7	1,4	1,2
60	2,5	2,0	1,7	1,5
70	2,9	2,4	2,0	1,7
80	3,4	2,7	2,3	1,9
90	3,8	3,0	2,6	2,2
100	4,2	3,4	2,8	2,4
110	4,6	3,7	3,1	2,7
120	5,1	4,1	3,4	2,9

Considerata una luce di 1 mm sul perimetro dell'intera porta.

Tabella 7: Velocità di passaggio nel transito delle porte [m/s]

### Isolamento della rete di distribuzione interna

L'aria di immissione nei moderni sistemi di ventilazione meccanica, in prossimità della macchina, si trova ad una temperatura prossima a quella di estrazione e, quindi, molto vicina a quella degli ambienti da trattare. Questo, in genere, non crea problemi di dispersioni energetiche o di condense superficiali, tranne quando il percorso, anche parzialmente, risulti al di fuori degli ambienti climatizzati (fig. 28).

In questi casi, durante la stagione invernale, il passaggio delle canalizzazioni in ambienti freddi causa la dispersione del calore dell'aria di rinnovo. Questo determina, di conseguenza, una perdita consistente dell'efficienza del sistema con maggiori problematiche in termini di comfort (vedi pag. 18).

Analogamente, nella stagione estiva il passaggio dell'aria attraverso i locali caldi disperde l'energia frigorifera recuperata dal sistema di ventilazione e, in alcuni casi, genera fenomeni di condensa all'esterno della tubazione.

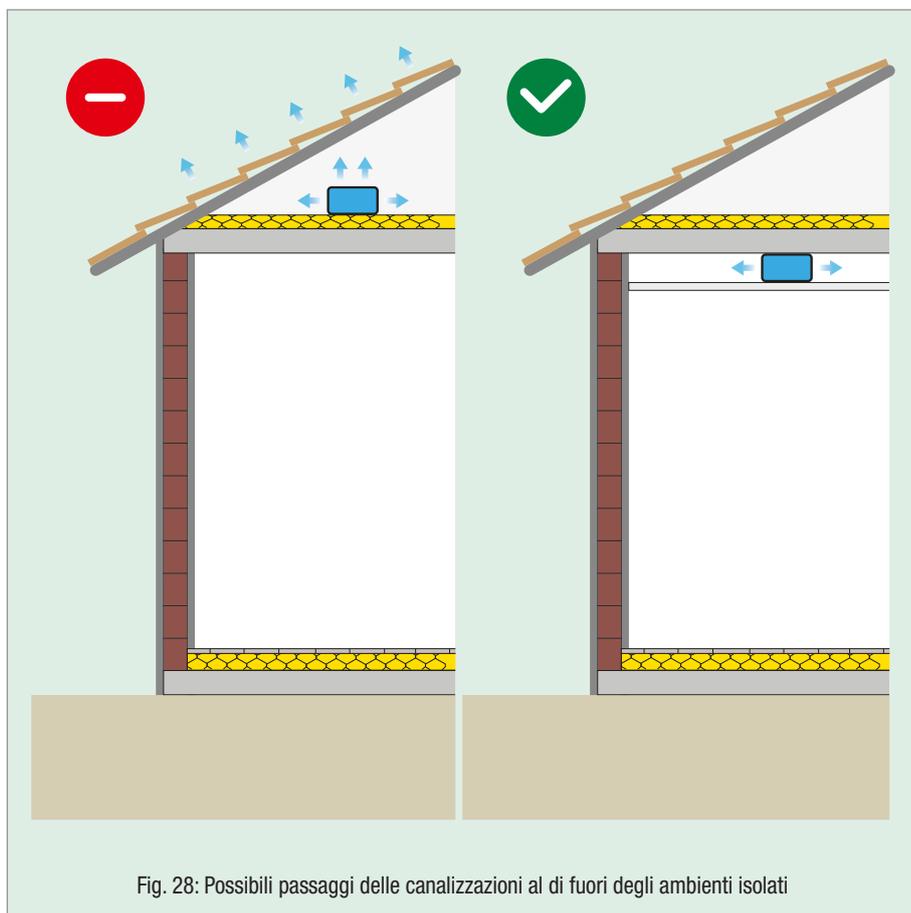


Fig. 28: Possibili passaggi delle canalizzazioni al di fuori degli ambienti isolati

# COME ATTENUARE IL RUMORE NEGLI IMPIANTI VMC?

Gli impianti di ventilazione meccanica, come tutti gli impianti di trasporto e trattamento dell'aria, possono generare o veicolare rumori all'interno degli ambienti abitati generando una diminuzione di comfort e un disturbo.

Negli impianti di tipo centralizzato, la rumorosità può essere generata dai ventilatori del recuperatore oppure, a causa delle turbolenze e vortici del flusso d'aria, direttamente all'interno dei condotti di distribuzione.

Per poterla limitare è necessario inserire sia sul condotto di mandata sia su quello di ripresa, degli opportuni silenziatori. Questi elementi possono essere del tipo:

- circolari;
- rettangolari a setti;
- integrati nei plenum di distribuzione.

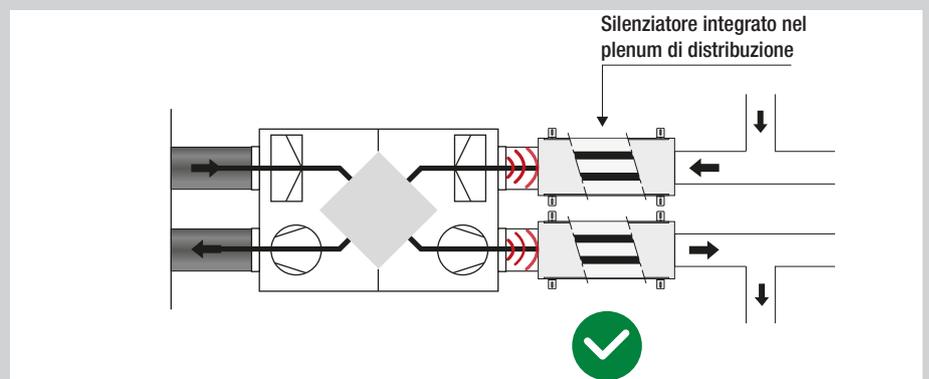
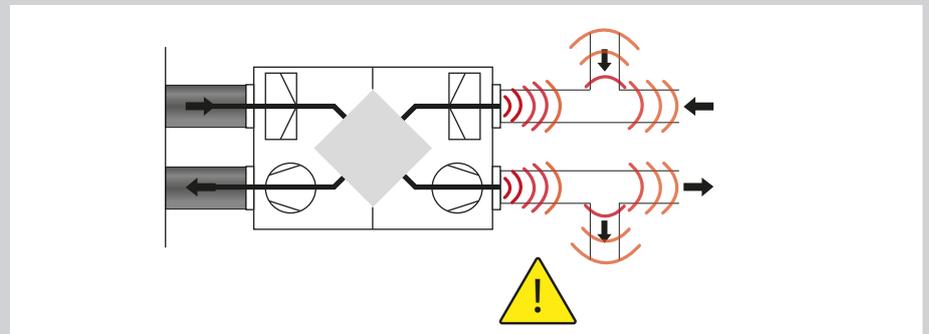
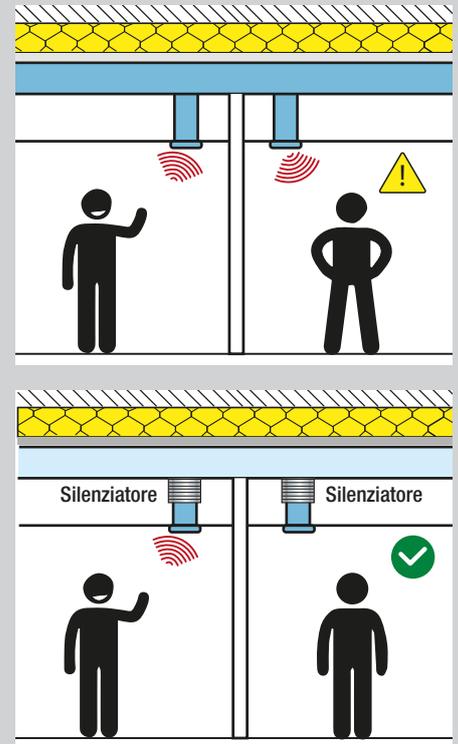
Il rumore generato all'interno dei condotti può essere controllato mantenendo una bassa velocità dell'aria, che per le normali applicazioni residenziali non dovrebbe superare i 3-4 m/s.

Nelle distribuzioni è altrettanto importante evitare bruschi cambi di direzione o di sezione che, al pari delle elevate velocità, potrebbero creare turbolenze, vortici e fischi. In caso di distribuzioni ramificate, dove per ragioni di ingombri non fosse possibile limitare le velocità nel canale di distribuzione principale, è possibile collegare le bocchette di distribuzione attraverso canali flessibili fonoassorbenti.

Un altro fenomeno da tenere sotto controllo è quello del collegamento acustico tra due ambienti. Infatti, un condotto aeraulico, può essere un ottimo mezzo di trasferimento del suono. La tipologia di distribuzione più esposta a questo tipo di problema è quella ramificata, in quanto, i collegamenti acustici

tra i vari ambienti risultano più diretti e ampi rispetto ad una distribuzione a plenum. Anche questa problematica può essere attenuata tramite l'utilizzo di canalizzazioni flessibili fonoassorbenti nei tratti terminali.

Gli impianti di tipo decentralizzato, in genere, sono meno soggetti a problemi acustici sia per le portate esigue di aria elaborate sia per la mancanza di una vera e propria rete di comunicazione. Tuttavia, il loro posizionamento va valutato con attenzione poiché creano un collegamento acustico esterno-interno. Da evitare, possibilmente, le installazioni verso strade trafficate o altre fonti di rumore/disturbo.



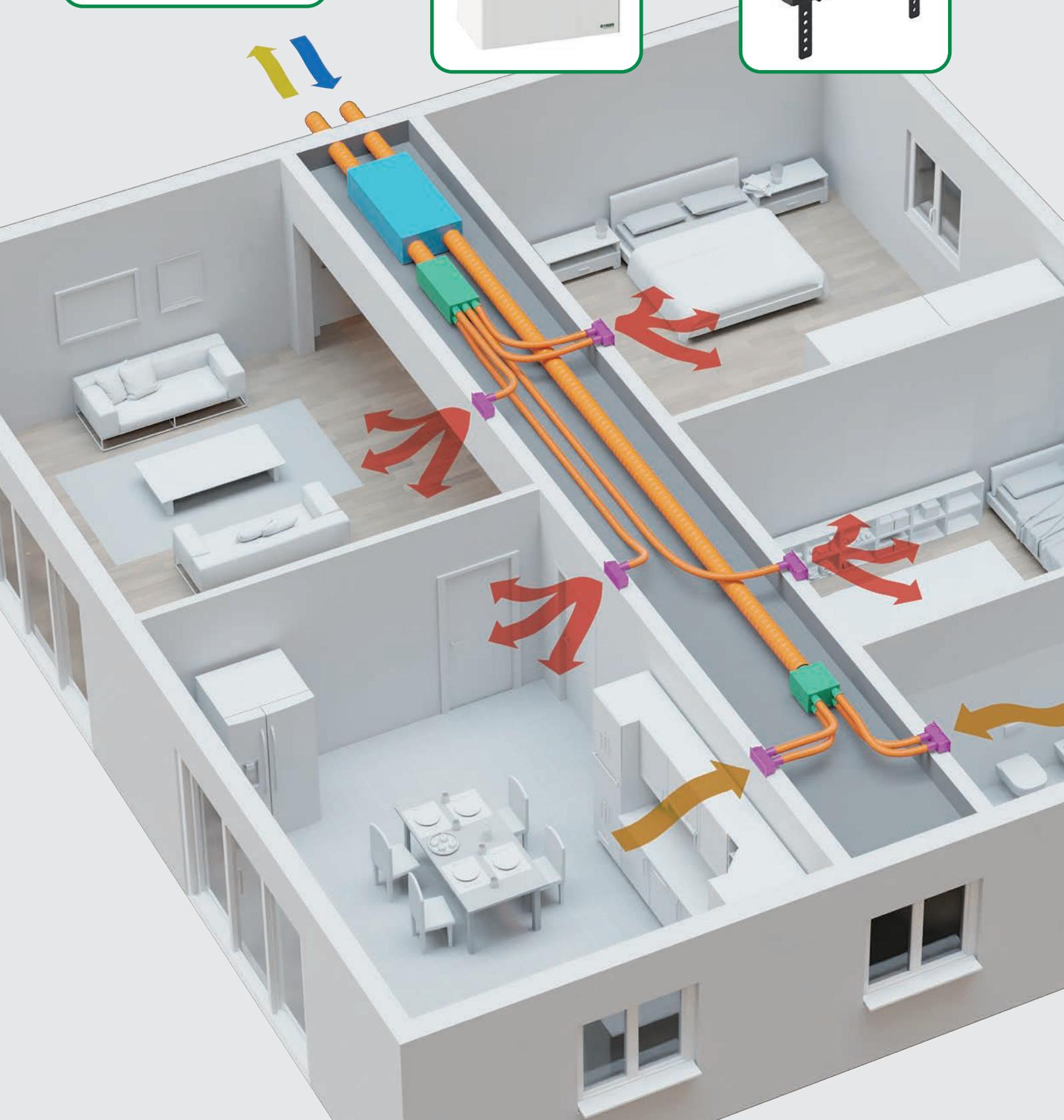
**UNITÀ VMC  
ORIZZONTALE**



**UNITÀ VMC  
VERTICALE**



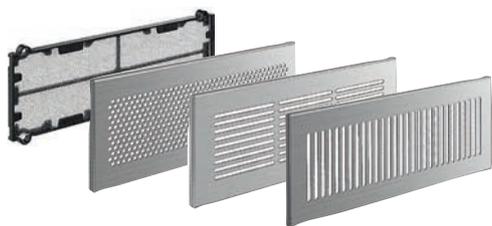
**BOCCHETTA  
AMBIENTE**



## PLENUM COMPACT



## ACCESSORI BOCCHETTA



## RECUPERATORE DECENTRALIZZATO



## MACCHINE E ACCESSORI VMC

Le **unità di ventilazione meccanica controllata** possono essere scelte tra modelli specifici per l'**installazione orizzontale a controsoffitto** oppure idonei per l'**installazione verticale a parete**. Il recupero di calore avviene grazie a scambiatori di calore in polistirene ad alta efficienza.

La regolazione e la gestione dell'unità è affidata ad apposite **interfacce di controllo a onde radio**, che consentono una facile messa in opera limitando i cablaggi necessari.

I due ventilatori sono mossi da motori a commutazione elettronica a basso assorbimento, e mantengono costante la portata, semplificando le operazioni di bilanciamento. L'unità è dotata inoltre di **funzione Free-Cooling** per deviare il flusso dell'aria di rinnovo by-passando lo scambiatore di calore in condizioni favorevoli ( $15\text{ °C} < T_{ext} < 18,5\text{ °C}$  e  $T_{amb} > 23\text{ °C}$ ) e **funzione antigelo**.

I **plenum COMPACT** permettono la distribuzione dell'aria dal circuito aria primaria a tutte le zone collegate all'impianto VMC e viceversa. Sono realizzati in **lamiera zincata** e rivestiti internamente con una **coibentazione fonoassorbente** che garantisce la tenuta all'aria. Il plenum viene fornito ripiegato su sé stesso offrendo un **ridotto ingombro** in fase di movimentazione e stoccaggio. La componibilità del plenum ne consente il facile completamento con la possibilità di collegare tubazioni di differenti misure e di realizzare differenti configurazioni di installazione.

Il **plenum COMPACT silenziatore** combina in un unico componente la funzione di distribuzione e quella di **attenuazione acustica**, grazie alla presenza di specifici setti fonoassorbenti al suo interno.

La **bocchetta ambiente** rappresenta il terminale di impianto e consente la diffusione dell'aria all'interno di ogni singola stanza. Il corpo in ABS offre una notevole resistenza. La presenza su tre lati degli attacchi per le canalizzazioni consente numerose possibilità di installazione: **orizzontale, verticale, a parete o a soffitto**. La profondità dell'incasso può essere adattata mediante staffe regolabili mentre il corretto posizionamento in asse viene assicurato grazie alle livelle integrate. Le griglie metalliche completano le bocchette con una **copertura estetica a vista** e sono disponibili con **differenti tipologie di design e finitura**. Il filtro per bocchetta ambiente evita l'ingresso della polvere di casa all'interno dell'impianto.

## RECUPERATORI DECENTRALIZZATI

Il **recuperatore decentralizzato a flussi alternati** effettua il rinnovo dell'aria ambiente con il **recupero di calore mediante uno scambiatore** in ceramica tecnica ad alta efficienza. La gestione dell'unità è affidata a un pratico radiocomando a batterie da cui l'utente può decidere se far lavorare l'unità in modalità manuale oppure automatica. In **modalità manuale**, il recuperatore può lavorare a cicli alternati di immissione ed estrazione oppure in sola immissione o estrazione per un intervallo di tempo limitato. Per ogni ciclo di lavoro, possono essere impostate fino a tre velocità di funzionamento. In **modalità automatica**, tramite l'utilizzo di sensori di temperatura, umidità e luce, il recuperatore gestisce in autonomia le portate d'aria in modo da mantenere sotto controllo l'umidità ambiente.

# I CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE CANALIZZAZIONI AERAILICHE

Ingg. Mattia Tomasoni e Elia Cremona

La rete di distribuzione negli impianti di ventilazione meccanica deve essere dimensionata in modo da garantire il corretto afflusso ed estrazione di aria dagli ambienti. Un dimensionamento errato della rete può generare perdite di carico o velocità eccessive all'interno delle condotte con conseguente diminuzione delle prestazioni del sistema, in quanto non si garantiscono le corrette portate di progetto. Inoltre, velocità eccessive dell'aria possono diminuire il comfort generando rumori, vibrazioni e flussi d'aria fastidiosi all'interno dei locali abitati. Nei paragrafi seguenti spiegheremo come calcolare le condotte aerauliche ed introdurremo i principali metodi di dimensionamento.

## DIMENSIONAMENTO AERAILICO

Nei sistemi di ventilazione l'aria viene inviata agli ambienti attraverso apposite canalizzazioni. Il flusso d'aria viene generato da una differenza di pressione tra l'ingresso e l'uscita (fig. 29).

La pressione dell'aria all'interno di una condotta che trasporta un fluido è composta da tre fattori: la pressione statica, la pressione dinamica e quella di quota, come rappresentato dalla formula 2.

$$p_t = \rho \cdot \frac{w^2}{2} + \rho \cdot g \cdot z + p \text{ [Pa]}$$

Dove

- $p_t$  : pressione totale nella sezione considerata
- $\rho \cdot w^2/2$ : pressione dinamica (equivalente all'energia cinetica del fluido)
- $\rho \cdot g \cdot z$ : pressione di quota.
- $p$  : pressione statica esercitata dall'aria perpendicolarmente alle pareti del condotto)

Formula 2

Nelle normali applicazioni impiantistiche, le differenze di pressione relative alla quota sono trascurabili. La pressione totale all'interno di una condotta può essere quindi considerata formata da due fattori (fig. 30):

- la **pressione statica**, che agisce in tutte le direzioni;
- la **pressione dinamica**, che varia in funzione della velocità del fluido.

Come accennato, il movimento dell'aria in un tratto di condotta avviene quando

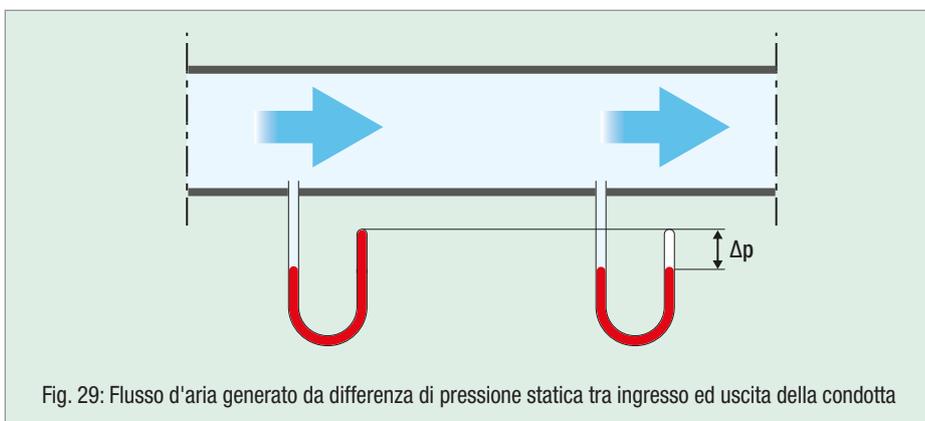


Fig. 29: Flusso d'aria generato da differenza di pressione statica tra ingresso ed uscita della condotta

vi è una differenza di pressione statica tra l'ingresso e l'uscita (fig. 29). Questa differenza di pressione serve a vincere le perdite di energia, distinguibili tra perdite di carico distribuite e perdite di carico concentrate. Le prime dovute all'attrito del flusso d'aria con le pareti

del condotto; le seconde causate dalle turbolenze in corrispondenza di una discontinuità nella sezione della condotta, come diramazioni, curve, ostruzioni e organi meccanici.

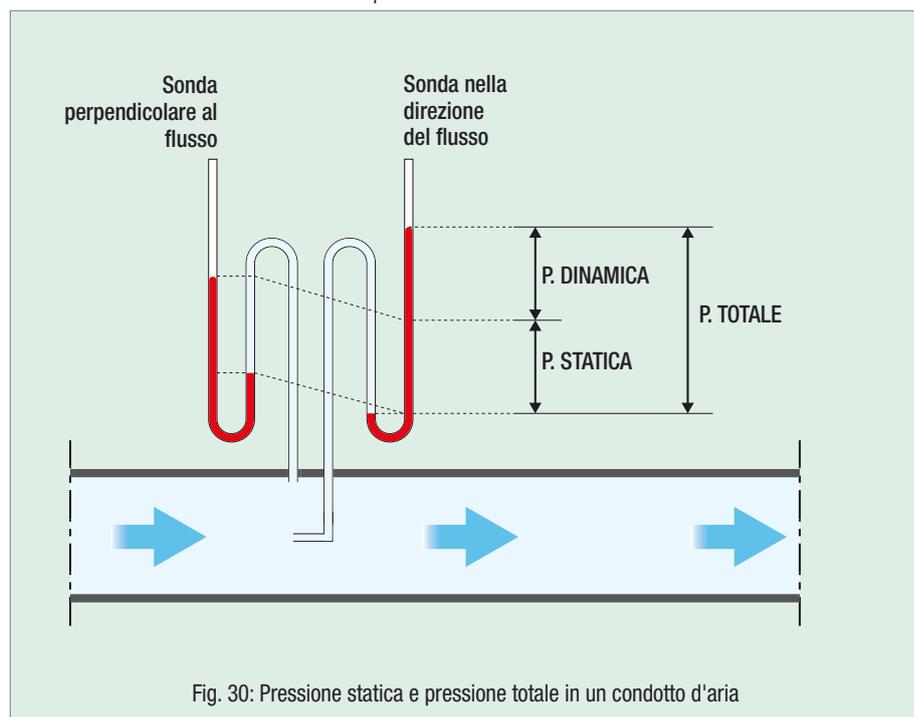


Fig. 30: Pressione statica e pressione totale in un condotto d'aria

## Calcolo delle perdite di carico nei condotti aerulici

La densità dell'aria è notevolmente minore rispetto a quella dell'acqua (circa mille volte). Ciò comporta che, a parità di portata di massa, le condotte d'aria siano di dimensioni maggiori e le velocità al loro interno risultino più alte rispetto a quelle di una tubazione idronica.

Inoltre, le differenze di pressione (o prevalenze) che trasportano l'aria nei condotti risultano decisamente minori rispetto a quelle necessarie per la movimentazione dell'acqua.

Tutti questi fattori fanno sì che la pressione dinamica nelle reti aeruliche, al contrario di quanto avviene in quelle idrauliche, sia un fattore da tenere opportunamente in considerazione (fig. 33).

Negli impianti VMC, l'aria proviene dall'ambiente esterno e viene inviata in ambienti a pressione atmosferica, nei quali la velocità dell'aria può essere considerata nulla.

La prevalenza sviluppata dai ventilatori (differenza tra la pressione a monte e a valle del ventilatore) dovrà uguagliare le perdite distribuite e localizzate dell'intero circuito.

Le perdite di carico distribuite dipendono dai seguenti fattori:

- velocità dell'aria;
- dimensioni del condotto (il condotto di diametro inferiore ha più attrito);
- rugosità del materiale;
- lunghezza del condotto.

Possono essere stimate con diagrammi come quello in fig. 31.

Questi grafici sono validi per i condotti circolari ma i risultati possono essere facilmente estesi a canali di qualsiasi forma attraverso opportune equivalenze.

*[Per approfondimento si rimanda alla consultazione di Tabelle e Diagrammi perdite di carico su [www.caleffi.com](http://www.caleffi.com)]*

Perdite di carico continue dell'aria – CONDOTTI CIRCOLARI “MOLTO LISCI” –  $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $H = 0 \text{ m}_{\text{slm}}$



Fig. 31: Esempio di diagramma perdite di carico continue

<p>Curva a 90°</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>rid</th> <th><math>\xi</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,50</td><td>0,9</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>0,2</td></tr> </tbody> </table>	rid	$\xi$	0,50	0,9	0,75	0,5	1,00	0,4	1,50	0,3	2,00	0,2	<p>Curve a 30°, 45° e 60°</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">rid</th> <th colspan="3"><math>\xi</math></th> </tr> <tr> <th>a=30°</th> <th>a=45°</th> <th>a=60°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,50</td><td>0,3</td><td>0,5</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,2</td><td>0,3</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>0,1</td><td>0,2</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>0,1</td><td>0,2</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>0,1</td><td>0,1</td><td>0,1</td></tr> </tbody> </table>	rid	$\xi$			a=30°	a=45°	a=60°	0,50	0,3	0,5	0,7	0,75	0,2	0,3	0,3	1,00	0,1	0,2	0,3	1,50	0,1	0,2	0,2	2,00	0,1	0,1	0,1
rid	$\xi$																																							
0,50	0,9																																							
0,75	0,5																																							
1,00	0,4																																							
1,50	0,3																																							
2,00	0,2																																							
rid	$\xi$																																							
	a=30°	a=45°	a=60°																																					
0,50	0,3	0,5	0,7																																					
0,75	0,2	0,3	0,3																																					
1,00	0,1	0,2	0,3																																					
1,50	0,1	0,2	0,2																																					
2,00	0,1	0,1	0,1																																					
<p>Curva a settori a 90°</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>rid</th> <th><math>\xi</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,50</td><td>1,1</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,6</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>0,2</td></tr> </tbody> </table>	rid	$\xi$	0,50	1,1	0,75	0,6	1,00	0,4	1,50	0,3	2,00	0,2	<p>Curve a settori a 30°, 45° e 60°</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">rid</th> <th colspan="3"><math>\xi</math></th> </tr> <tr> <th>a=30°</th> <th>a=45°</th> <th>a=60°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,50</td><td>0,4</td><td>0,6</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>0,75</td><td>0,2</td><td>0,3</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1,00</td><td>0,1</td><td>0,2</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>1,50</td><td>0,1</td><td>0,2</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>2,00</td><td>0,1</td><td>0,1</td><td>0,1</td></tr> </tbody> </table>	rid	$\xi$			a=30°	a=45°	a=60°	0,50	0,4	0,6	0,7	0,75	0,2	0,3	0,4	1,00	0,1	0,2	0,3	1,50	0,1	0,2	0,2	2,00	0,1	0,1	0,1
rid	$\xi$																																							
0,50	1,1																																							
0,75	0,6																																							
1,00	0,4																																							
1,50	0,3																																							
2,00	0,2																																							
rid	$\xi$																																							
	a=30°	a=45°	a=60°																																					
0,50	0,4	0,6	0,7																																					
0,75	0,2	0,3	0,4																																					
1,00	0,1	0,2	0,3																																					
1,50	0,1	0,2	0,2																																					
2,00	0,1	0,1	0,1																																					
<p>Curva con spigolo vivo a 90°</p> <p><math>\xi = 1,4</math></p>	<p>Curve con spigolo vivo a 30°, 45° e 60°</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3"><math>\xi</math></th> </tr> <tr> <th>a=30°</th> <th>a=45°</th> <th>a=60°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0,4</td><td>0,7</td><td>1,0</td></tr> </tbody> </table>	$\xi$			a=30°	a=45°	a=60°	0,4	0,7	1,0																														
$\xi$																																								
a=30°	a=45°	a=60°																																						
0,4	0,7	1,0																																						
<p>Curva ad un segmento a 90°</p> <p><math>\xi = 1,3</math></p>	<p>Curva a due segmenti a 90°</p> <p><math>\xi = 1,2</math></p>																																							
<p>Curva doppia</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>l/d</th> <th><math>\xi</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>&lt;1</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>1-2</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>&gt;2</td><td>2,0</td></tr> </tbody> </table>	l/d	$\xi$	<1	4,0	1-2	3,0	>2	2,0	<p>Curva e controcurva</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>l/d</th> <th><math>\xi</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>&lt;1</td><td>3,5</td></tr> <tr><td>1-2</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>&gt;2</td><td>2,0</td></tr> </tbody> </table>	l/d	$\xi$	<1	3,5	1-2	2,7	>2	2,0																							
l/d	$\xi$																																							
<1	4,0																																							
1-2	3,0																																							
>2	2,0																																							
l/d	$\xi$																																							
<1	3,5																																							
1-2	2,7																																							
>2	2,0																																							

Fig. 32: Canali circolari - valori indicativi dei coefficienti  $\xi$  per le curve

Le perdite di carico concentrate sono caratteristiche di ogni variazione puntuale del flusso (curve, cambiamenti di sezione, raccordi, serrande) e vengono calcolate attraverso la formula 3.

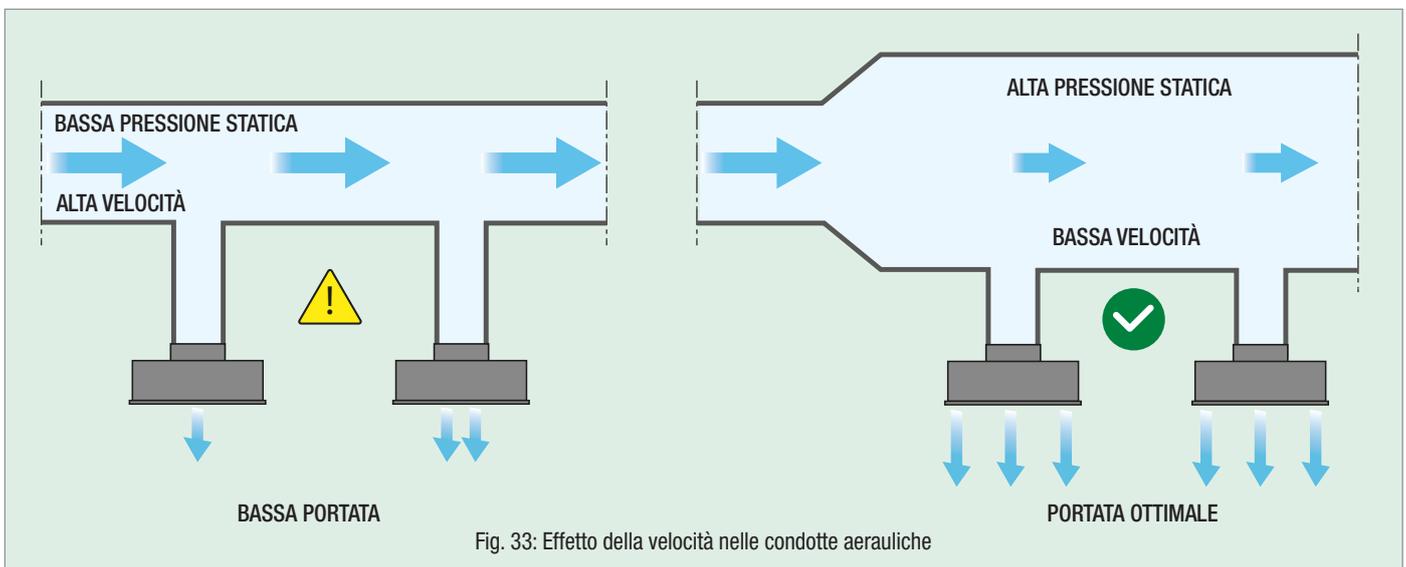
I coefficienti  $\xi$  invece si ricavano da tabelle come quella riportata in figura 32.

Tra le perdite concentrate è importante considerare nel computo anche la perdita di pressione dinamica, che si verifica quando l'aria entrando in ambiente, attraverso le bocchette o i diffusori, passa dalla velocità di immissione a valori pressoché nulli.

$$z = \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \quad [\text{Pa}]$$

$z$  = perdite di carico localizzate  
 $\xi$  = coefficiente di perdita localizzata, adimensionale  
 $\rho$  = densità [kg/m<sup>3</sup>]  
 $v$  = velocità [m/s]

Formula 3



## METODO DI CALCOLO A PERDITA DI CARICO COSTANTE

Con questo metodo si dimensionano i vari rami della rete aerea mantenendo una perdita di carico lineare costante. Una perdita di carico comunemente utilizzata per un sistema ben progettato è di 0,8 Pa/m di lunghezza del condotto. Valori ridotti a 0,4 Pa/m aumentano le dimensioni del condotto e i costi del 15 %, ma riducono del 50 % la caduta di pressione totale, con un conseguente risparmio dal 15 % al 20 % sui costi di ventilazione.

Tipologia	Perdita di carico costante [Pa/m]
Canali principali	0,7
Canali secondari	0,4
Canali di ritorno	0,3
Tratti terminali	1-3

Tabella 8: Perdite di carico medie per tipologia di condotto

### Vantaggi:

- è diretto e semplice;
- riduce automaticamente la velocità dell'aria nella direzione del flusso, garantendo meno rumori;
- è il più appropriato per i sistemi a volume d'aria costante (CAV).

### Svantaggi:

- deve essere bilanciato;
- non è raccomandato per i sistemi a portata variabile (VAV) (a meno di utilizzare serrande indipendenti dalla pressione);
- non è flessibile e adattabile a futuri cambiamenti di layout;
- tende a sovradimensionare i canali per le alte portate.

## METODO DI CALCOLO A VELOCITÀ COSTANTE

Con questo metodo, il dimensionamento delle canalizzazioni viene eseguito mantenendo a valori predefiniti e costanti la velocità del flusso nei condotti. A seconda della tipologia di canalizzazione, principale o secondaria, vengono comunemente utilizzati valori come quelli riportati in tabella 9.

Tipo di condotto	Impianto ad alto comfort (residenziale - uffici) [m/s]	Impianti industriali [m/s]	Sistemi ad alta velocità [m/s]
Condotto principale	5-7,5	7,5-12	10-12
Diramazione secondaria	3-4	5-8	6-12
Tratto finale	2-3	3-4	4-5

Tabella 9: Limiti di velocità dell'aria in base al tipo di condotto

### Vantaggi:

- *metodo più semplice e rapido;*
- *buon controllo delle rumorosità della rete.*

### Svantaggi:

- *tende a sottodimensionare i condotti di piccola dimensione, poiché, a pari velocità dell'aria, sono caratterizzati da perdite di carico maggiori rispetto a quelle di dimensioni più grandi;*
- *richiede un adeguato bilanciamento;*
- *sconsigliato per sistemi a portata variabile;*
- *non è flessibile e adattabile a futuri cambiamenti di layout.*

## METODO DI CALCOLO A RECUPERO DI PRESSIONE STATICA

Il recupero statico è il processo di conversione della pressione dinamica (PD) in pressione statica (PS). Come introdotto in precedenza, la pressione statica è il parametro che causa la movimentazione dei flussi d'aria, mentre la pressione dinamica ne è il fattore risultante, dato che dipende dalla velocità stessa.

Questo metodo si basa sulla conversione della pressione dinamica in pressione statica, fenomeno che avviene ogni volta che si verifica una riduzione della velocità in una canalizzazione. Le velocità all'interno del condotto vengono progressivamente ridotte lungo tutta la rete di distribuzione. Ciò consente di recuperare pressione statica, compensando le perdite di attrito tratto per tratto. Questo significa che la pressione statica in prossimità di tutte le diramazioni e tutti i diffusori e, quindi, la progettazione del sistema richiede poco o nessun bilanciamento.

### Vantaggi:

- *bilanciamento della rete è semplificato; pressione statica uniforme su tutti i rami e le uscite;*
- *eccellente per i sistemi a portata variabile (VAV), grazie a perdite di carico proporzionali al variare della velocità dell'aria. Di conseguenza la rete aeraulica è sempre bilanciata.*

### Svantaggi:

- *potrebbe verificarsi una forte caduta di pressione in una sezione vicino all'uscita del ventilatore. La velocità potrebbe essere ridotta al minimo entro poche sezioni in modo tale che tutte le canalizzazioni a valle siano dimensionate utilizzando la velocità minima;*
- *metodo laborioso: necessita di appositi software di calcolo;*
- *metodo che porta ad avere alcuni tratti con velocità molto basse. I condotti tendono ad essere molto grandi e sovradimensionati alla fine di lunghe diramazioni.*

## DIMENSIONAMENTO DELLA DISTRIBUZIONE INTERNA NEI SISTEMI VMC RESIDENZIALI

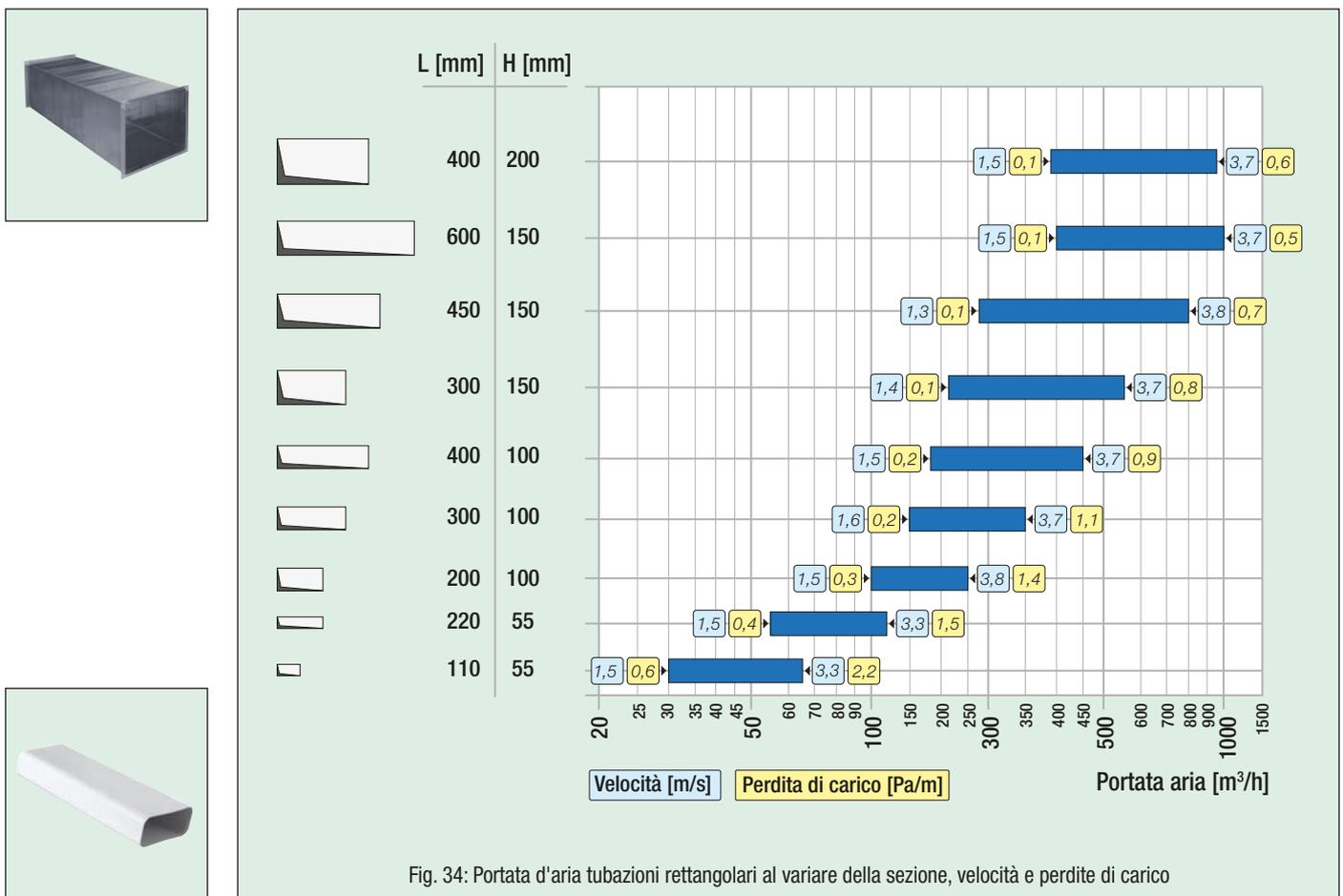
Le condotte di distribuzione interna dell'aria a servizio degli impianti VMC ad uso residenziale rappresentano una tipologia circoscritta di impianti aeraulici. Per questi canali di distribuzione si possono fare le seguenti ipotesi:

- portate d'aria contenute (in genere da 100 a 500 m<sup>3</sup>/h);
- portata minima 30 m<sup>3</sup>/h;
- elevato comfort richiesto (solitamente non si superano velocità di 3-4 m/s all'interno delle condotte).

Sulla base delle precedenti ipotesi è possibile riferirsi ad appositi diagrammi come quelli riportati in seguito per un pratico dimensionamento delle canalizzazioni. Nota la portata di progetto e la tipologia di tubo scelta, è possibile individuare la misura della tubazione che rientra nei corretti parametri di utilizzo.

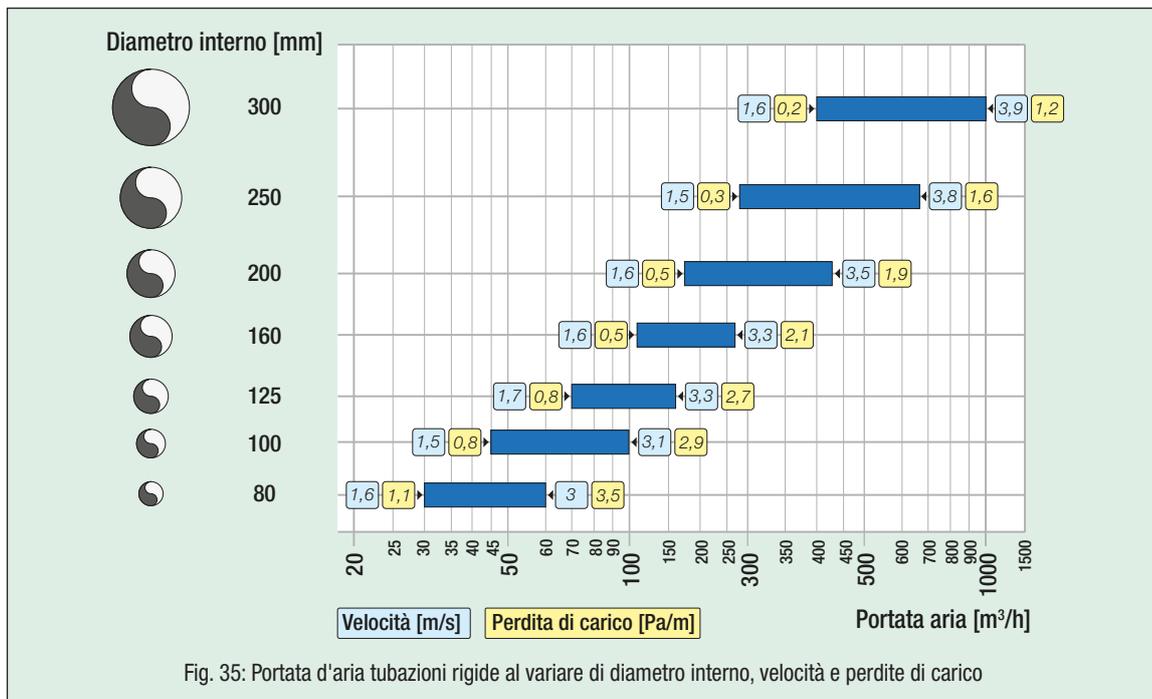
### Tubazioni rettangolari

Vengono utilizzate per realizzare i tratti principali delle reti di distribuzione. Sono fabbricate in acciaio zincato, tranne per le piccole dimensioni dove vengono impiegati materiali plastici. Possono eventualmente essere realizzate in apposito materiale isolante rivestito da lamine di alluminio, in modo da non dover essere coibentate successivamente.



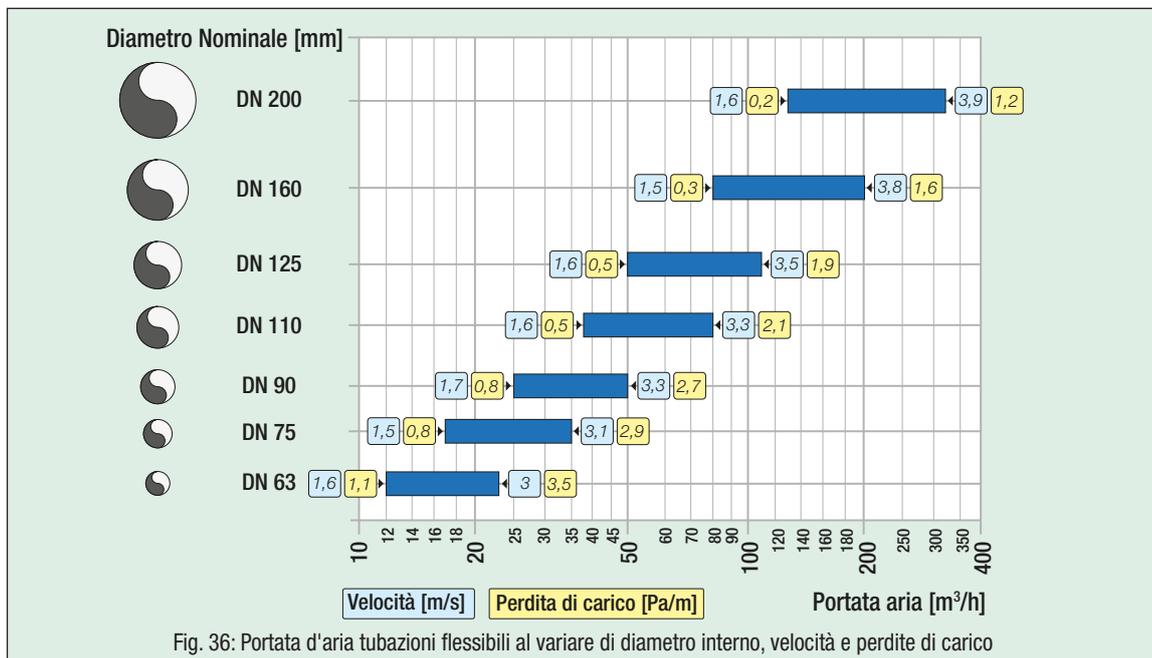
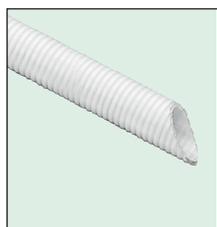
## Tubazioni circolari rigide

Vengono utilizzate per realizzare i tratti principali delle reti di distribuzione. Sono fabbricate in materiale plastico o, più comunemente, in acciaio zincato. Possono essere anche realizzate in apposito materiale isolante così da non dover essere coibentate successivamente.



## Tubazioni circolari flessibili

Le tubazioni flessibili in commercio sono disponibili in varie dimensioni e tipologie. In genere le misure di diametro più piccolo (DN 63, DN 75 e DN 90) sono di tipo "a schiacciamento" per poter essere annegate nei massetti delle pavimentazioni. Le misure più grandi, in genere utilizzate per il collegamento delle canalizzazioni primarie, sono normalmente realizzate con un'anima a spirale metallica, che permette di avere una struttura flessibile.



## LE BATTERIE DI TRATTAMENTO DELL'ARIA

Negli impianti di ventilazione meccanica controllata, anche se dotati di recuperatori molto efficienti, la temperatura di immissione dell'aria potrebbe essere eccessivamente bassa e talvolta causare situazioni di scarso comfort; ad esempio, in caso di clima invernale rigido e flusso d'aria che investe direttamente le persone che occupano gli ambienti.

Per questo motivo, il corretto posizionamento dei punti di immissione dell'aria ricopre un ruolo molto importante. Ad esempio, si dovrebbe evitare di collocare le bocchette di immissione direttamente al di sopra di tavoli, divani, letti o scrivanie. Tuttavia, a causa dei vincoli architettonici o di distribuzione, non sempre è possibile realizzare l'immissione dell'aria in posizione ottimale; in questi casi, si rende necessario l'innalzamento della temperatura di mandata. Generalmente questo può essere realizzato tramite l'utilizzo di apposite batterie riscaldate dall'acqua dell'impianto di riscaldamento oppure attraverso l'uso di resistenze elettriche.

Le **resistenze elettriche** presentano il vantaggio di non richiedere collegamenti idraulici, non sempre agevoli da realizzare (fig. 37). Tuttavia, presentano consumi elevati e dunque potenze non sempre

disponibili sugli impianti elettrici domestici. Inoltre, l'accensione accidentale di una resistenza in mancanza di flusso d'aria, può surriscaldarla fino alla rottura con possibile ricaduta di elementi incandescenti nei canali e conseguente pericolo di incendio. Per questo motivo è importante utilizzare resistenze con protezioni meccaniche o elettriche in grado di prevenire questo evento.

Le resistenze elettriche possono inoltre svolgere la funzione di protezione antigelo con lo scopo di preriscaldare l'aria di rinnovo, ad esempio in caso di zone climatiche con temperature invernali particolarmente rigide. In questo caso vengono installate tra la presa d'aria esterna e l'unità di ventilazione. Questa soluzione permette di evitare un possibile congelamento della condensa presente nel recuperatore di calore.

Le **batterie idroniche** (alimentate ad acqua) possono sfruttare il calore prodotto da generatori di calore efficienti ma richiedono linee di allacciamento dedicate e ingombri maggiori rispetto alle resistenze elettriche (fig. 38). Il dimensionamento di queste batterie deve essere effettuato tenendo in considerazione che il calore ceduto per il riscaldamento del flusso d'aria è solo sensibile (non viene modificata

la quantità assoluta di vapore acqueo presente nell'aria). Generalmente, le batterie di post-riscaldamento vengono dimensionate per ottenere un innalzamento della temperatura che varia dai 5 ai 15 °C, in modo da poter riportare l'aria alle condizioni di comfort, e quindi con lo scopo di integrare la quota parte di calore che non viene recuperata dall'unità VMC. Le batterie ad acqua possono essere utilizzate anche per il raffrescamento del flusso proveniente dal recuperatore nelle stagioni estive. Il post raffrescamento negli impianti di ventilazione meccanica, a differenza del post-riscaldamento, non è generalmente necessario per ragioni di comfort ma come integrazione ai sistemi di condizionamento. È tuttavia preferibile che le batterie siano appositamente dimensionate per questo scopo e dotate di bacinelle raccogli condensa.

Per un dimensionamento rapido delle batterie di riscaldamento, nella tabella 10 sono riportate le potenze necessarie al variare dell'innalzamento di temperatura richiesto e della portata di aria da trattare.

$\Delta T$ [°C]	Portata aria [m <sup>3</sup> /h]								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
2	57	101	134	168	201	235	268	302	335
4	134	201	268	335	402	469	536	603	670
6	201	302	402	503	603	704	804	905	1005
8	268	402	536	670	804	938	1072	1206	1340
10	335	503	670	838	1005	1173	1340	1508	1675
12	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1809	2010
14	469	704	938	1173	1407	1642	1876	2111	2345
16	536	804	1072	1340	1608	1876	2144	2412	2680

Tabella 10: Potenza necessaria (W) per innalzare la temperatura di un flusso d'aria

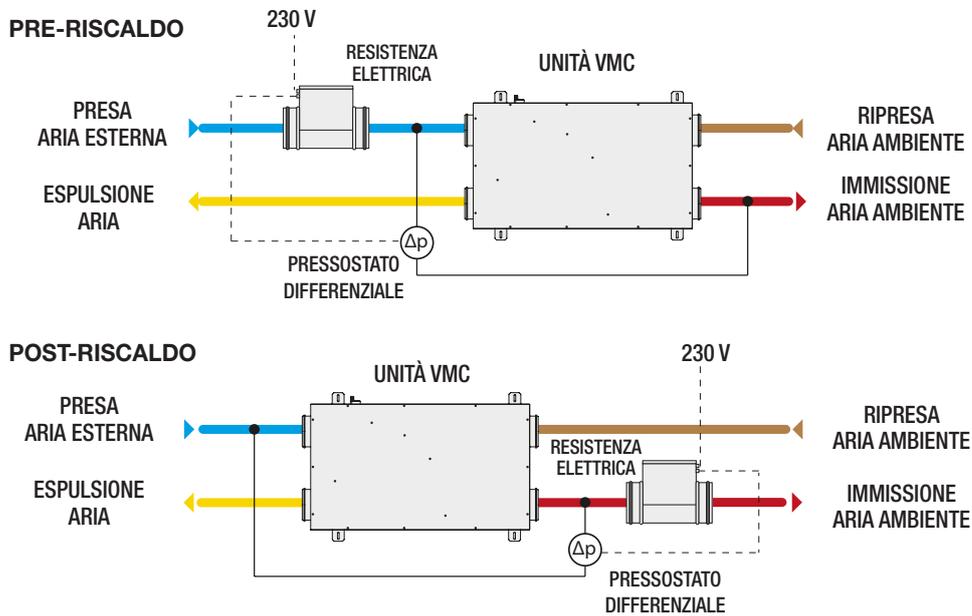
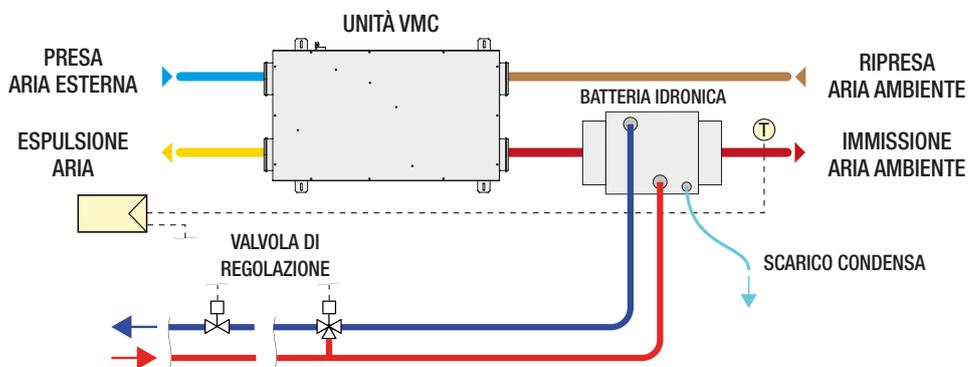


Fig. 37: Resistenza elettrica pre/post-riscaldamento

**FUNZIONAMENTO IN RISCALDAMENTO**



**FUNZIONAMENTO IN RAFFRESCAMENTO**

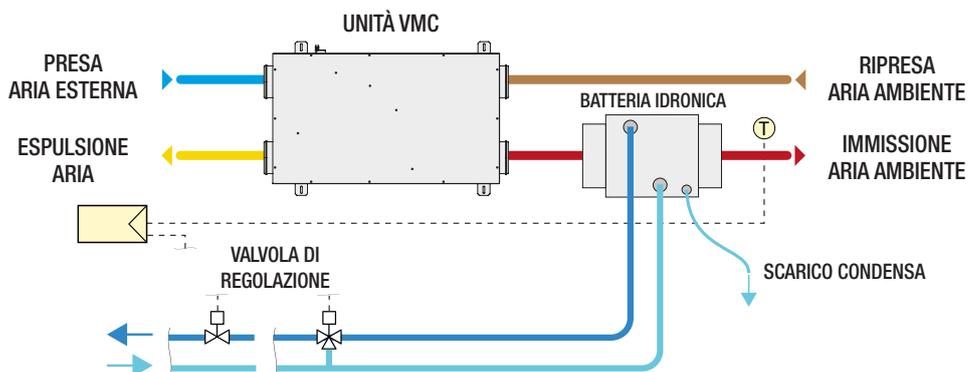


Fig. 38: Batteria idronica di post-trattamento

# SCHEMI DI IMPIANTI VMC A USO RESIDENZIALE

Ingg. Elia Cremona e Mattia Tomasoni

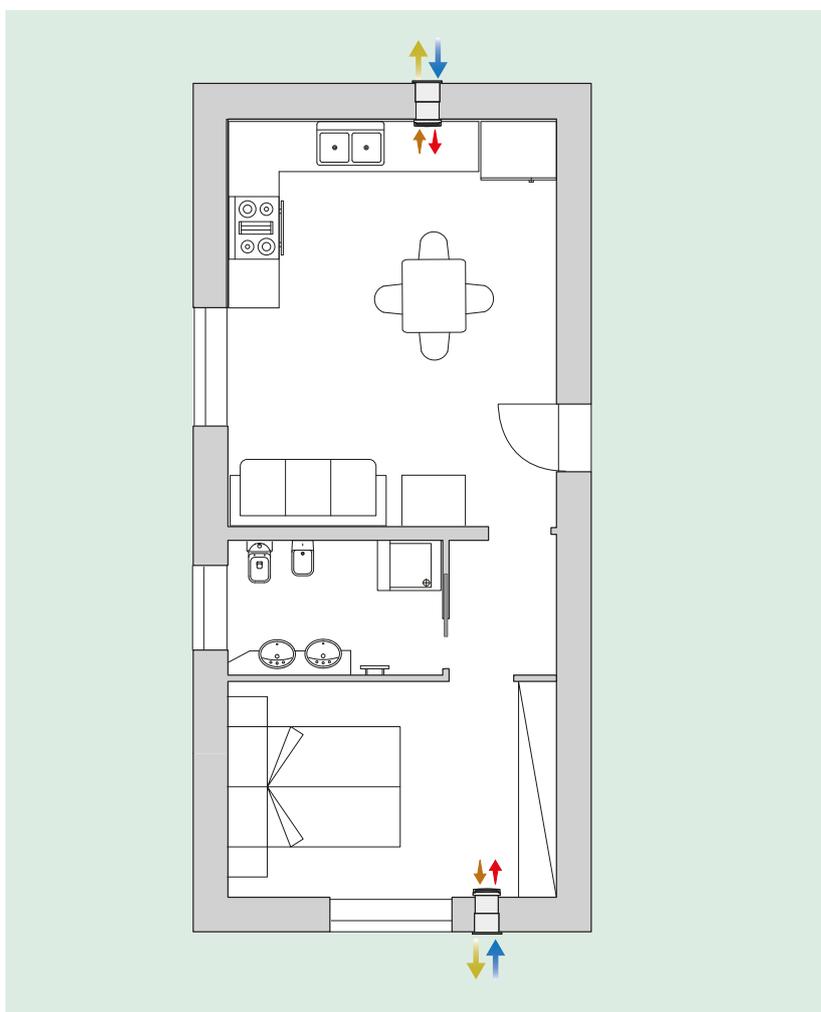
In ambito residenziale, la progettazione dell'impianto di ventilazione meccanica deve essere effettuata in modo da garantire un corretto ricambio d'aria. La scelta della tipologia di sistema VMC varia in funzione di diversi aspetti, quali la dimensione degli ambienti, il numero di occupanti, l'estensione dell'abitazione. Inoltre, ogni abitazione è contraddistinta dalla presenza di vincoli architettonici o strutturali, che possono complicare l'installazione. In tal senso, gli schemi proposti, evidenzieranno in maniera distinta la presenza eventuale di controsoffitto parziali o completi, così come le tubazioni, distinguendo quelle passanti a soffitto, a parete o a pavimento. Vediamo di seguito alcune soluzioni indicative, differenziate per tipologia di abitazione.

## APPARTAMENTO BILOCALE DI PICCOLE DIMENSIONI

### Impianto VMC con recuperatori di calore decentralizzati a flusso alternato

In appartamenti di piccole dimensioni, è comune la scelta di utilizzare recuperatori di calore decentralizzati a flussi alternati. La facilità di installazione e il relativo basso costo delle opere e dei componenti risulta essere un buon compromesso per la ventilazione in abitazioni di questo tipo, essendo caratterizzate da limitate metrature.

L'installazione di un recuperatore per ciascuno dei due ambienti principali risulta in genere sufficiente per apportare la corretta portata di ricambio.

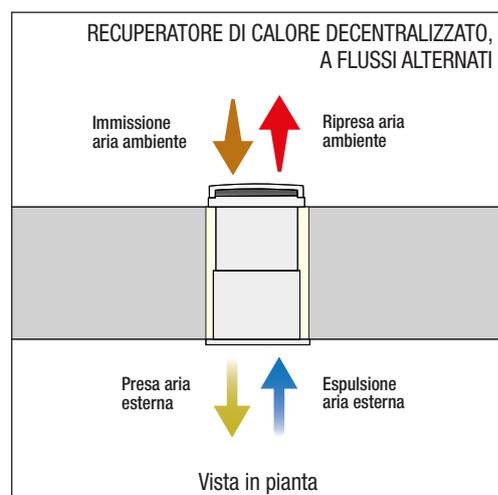


Difficoltà installazione	BASSA
--------------------------	-------

Ingombro	BASSO
----------	-------

Rumorosità	MEDIA
------------	-------

Difficoltà manutenzione	BASSA
-------------------------	-------

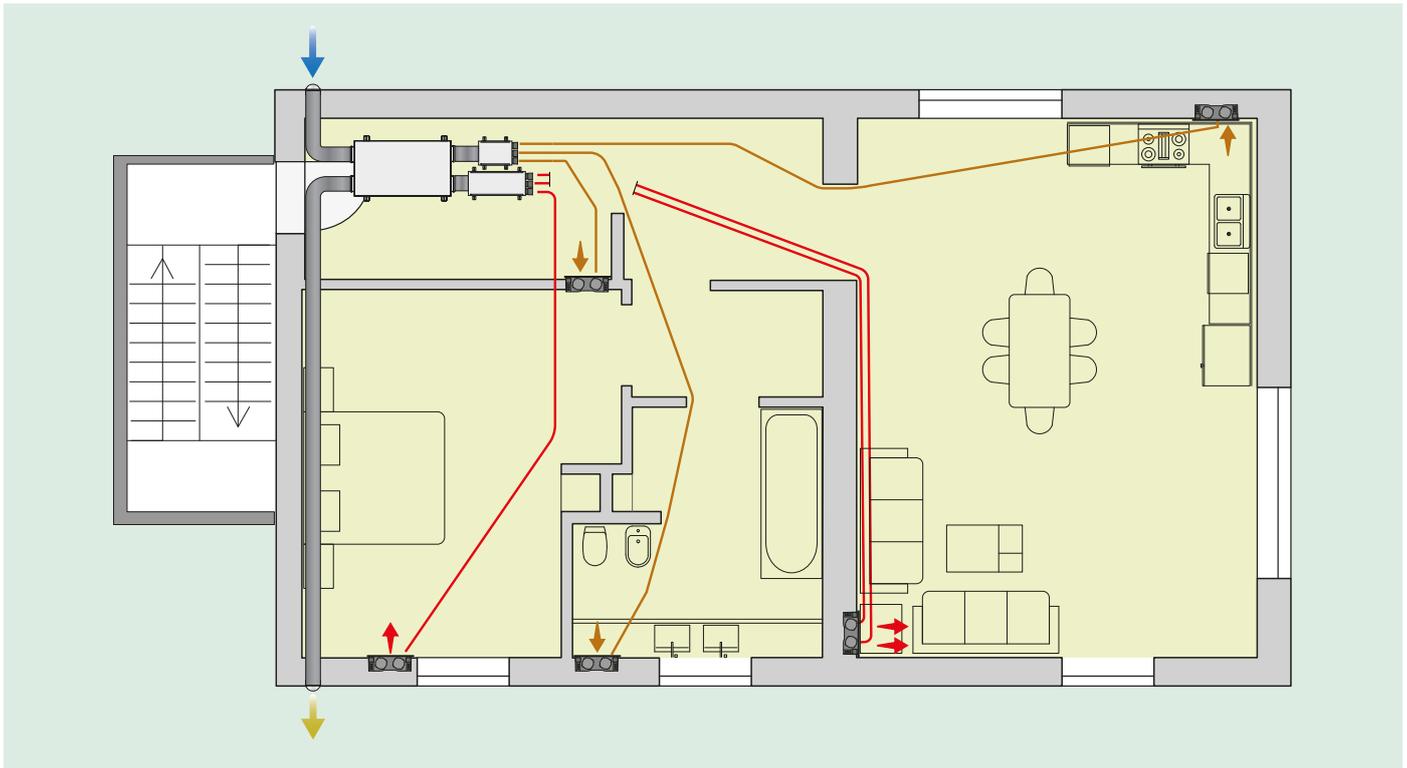


# APPARTAMENTO BILOCALE DI MEDIE DIMENSIONI

## Impianto VMC con unità a installazione orizzontale a soffitto

Nella ristrutturazione di questa tipologia di abitazione, è possibile realizzare un impianto VMC a scomparsa nel controsoffitto, utilizzando unità a installazione orizzontale. Questo espediente aiuta a ottimizzare gli ingombri. La presenza del controsoffitto permette di realizzare facilmente una distribuzione a plenum con canalizzazioni di ridotta dimensione ed efficace posizionamento delle bocchette.

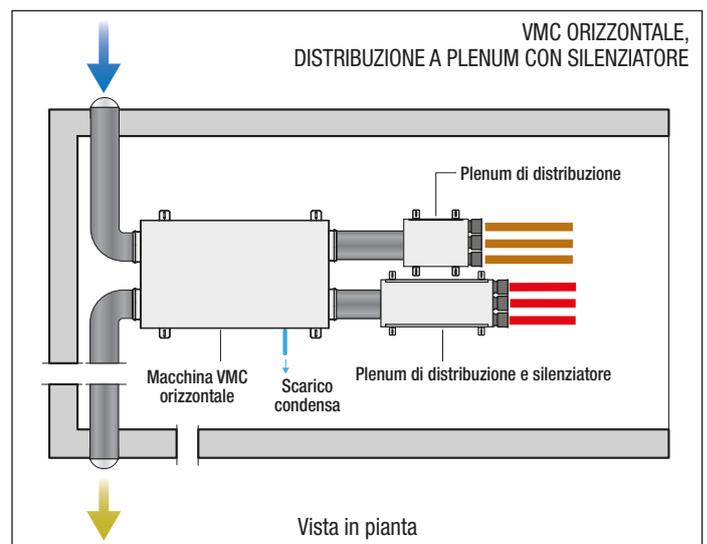
La manutenzione dell'unità di ventilazione, in particolare quella dei filtri, è poco agevole e va sempre prevista una botola di ispezione di adeguate dimensioni.



Difficoltà installazione	MEDIA
Ingombro	ALTO
Rumorosità	BASSA
Difficoltà bilanciamento	BASSA
Difficoltà manutenzione	MEDIO/ALTA

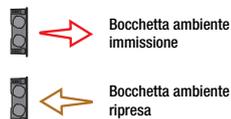


\* altezza 2,7 m  
ricambio 0,5 vol/h



Canalizzazione flessibile ambiente di immissione aria a controsoffitto

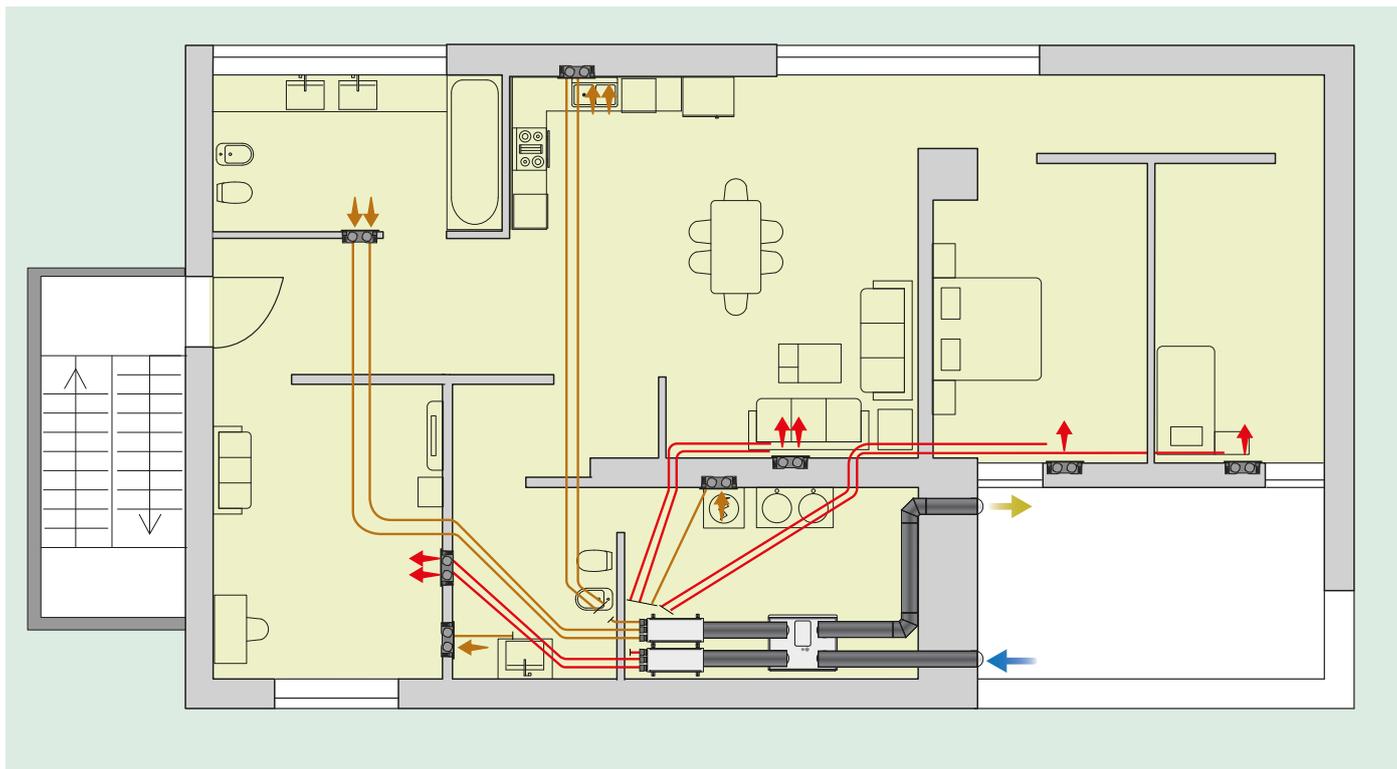
Canalizzazione flessibile ambiente di ripresa aria a controsoffitto



# APPARTAMENTO QUADRILOCALE DI MEDIE DIMENSIONI

## Impianto VMC con unità a installazione verticale

Nel caso di appartamenti di media dimensione è, spesso, presente un locale ad uso lavanderia o similare. In questi casi è conveniente l'utilizzo di una unità di ventilazione a vista, installata a parete. La distribuzione viene realizzata sfruttando la presenza di controsoffitti di altezza molto contenuta, dovendo solo garantire il passaggio delle canalizzazioni con ingombro ridotto. La collocazione dell'unità in un locale dedicato e l'utilizzo di plenum dotati di dispositivi di attenuazione acustica permettono la massima prevenzione del rumore. Inoltre, la facile accessibilità all'unità, agevola le operazioni di manutenzione.

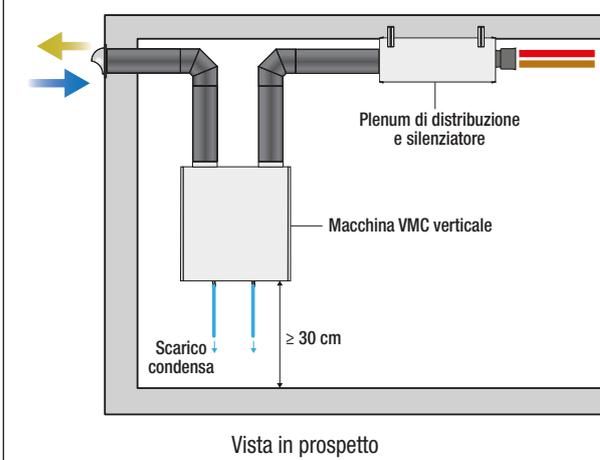


Difficoltà installazione	MEDIO/ALTA
Ingombro	ALTO
Rumorosità	BASSA
Difficoltà di bilanciamento	MEDIA
Difficoltà manutenzione	BASSA



\* altezza 2,7 m  
ricambio 0,5 vol/h

### VMC VERTICALE, DISTRIBUZIONE A PLENUM CON SILENZIATORE



Controsoffitto

Canalizzazione flessibile ambiente di immissione aria a controsoffitto  
Canalizzazione flessibile ambiente di ripresa aria a controsoffitto



Bocchetta ambiente immissione



Bocchetta ambiente ripresa

Canalizzazione rigida

Curva 90°

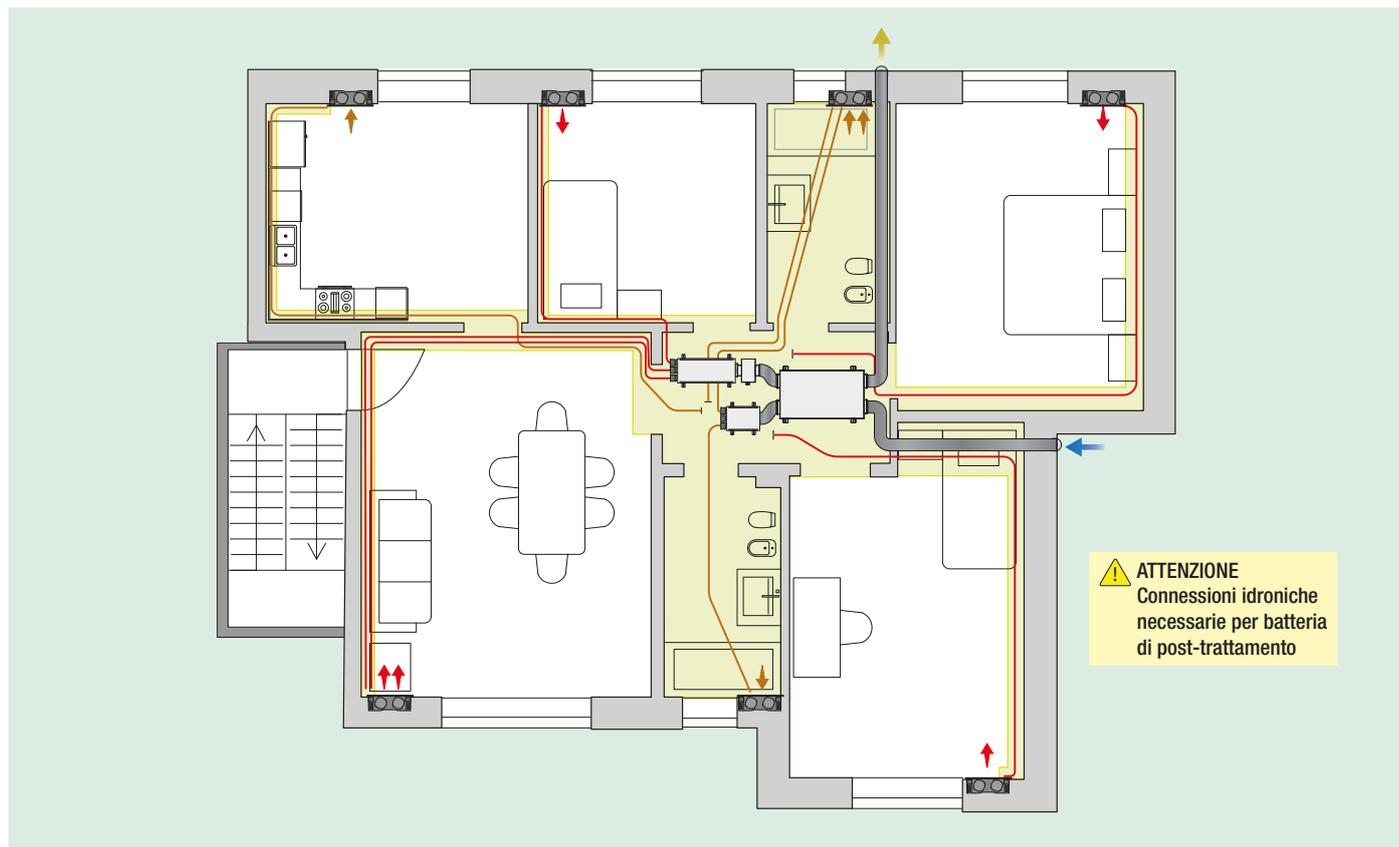
Griglia presa aria esterna

Griglia espulsione aria esterna

# APPARTAMENTO QUADRILOCALE DI PICCOLE DIMENSIONI

## Impianto VMC con unità ad installazione orizzontale con batteria di integrazione

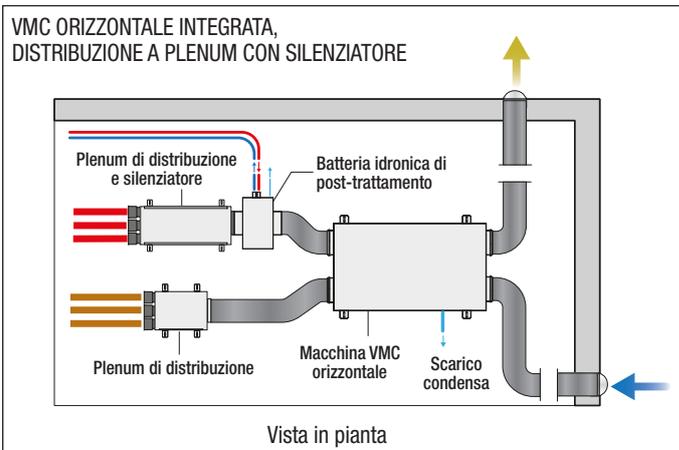
Se le operazioni di ristrutturazione non consentono di realizzare una controsoffittatura estesa nei locali principali (assenza di altezze minime), una soluzione comunemente utilizzata è quella di prevedere una unità di ventilazione ad installazione orizzontale a soffitto. In appartamenti quali i quadrilocali di dimensioni limitate, la macchina è tipicamente posizionata in corridoi o disimpegni che hanno vincoli architettonici meno stringenti. I plenum di distribuzione sono collocati in prossimità dell'unità, mentre le canalizzazioni, fino alle bocchette ambiente, sfruttano la presenza di velette estetiche su alcuni lati delle pareti. La batteria idronica di integrazione a valle dell'unità VMC ha lo scopo di riportare l'aria alle condizioni ideali di comfort sia nella stagione invernale sia eventualmente in quella estiva.



Difficoltà installazione	MEDIO/ALTA
Ingombro	MEDIO/ALTO
Rumorosità	MEDIO/BASSA
Difficoltà di bilanciamento	MEDIA
Difficoltà manutenzione	MEDIA/ALTA



\* altezza 2,7 m  
ricambio 0,5 vol/h



- Canalizzazione flessibile ambiente di immissione aria a controsoffitto
- Canalizzazione flessibile ambiente di ripresa aria a controsoffitto

- Bocchetta ambiente immissione
- Bocchetta ambiente ripresa

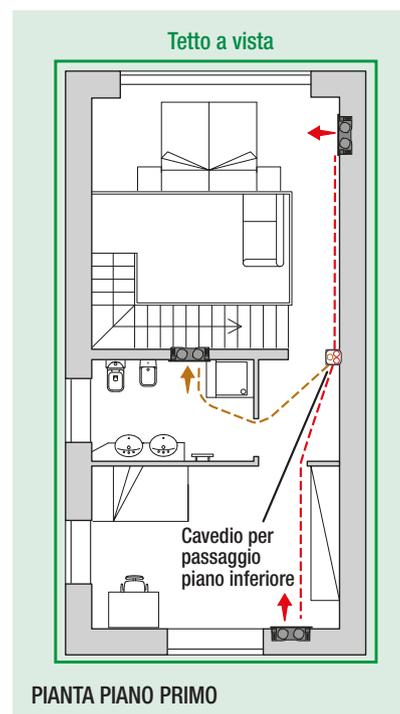
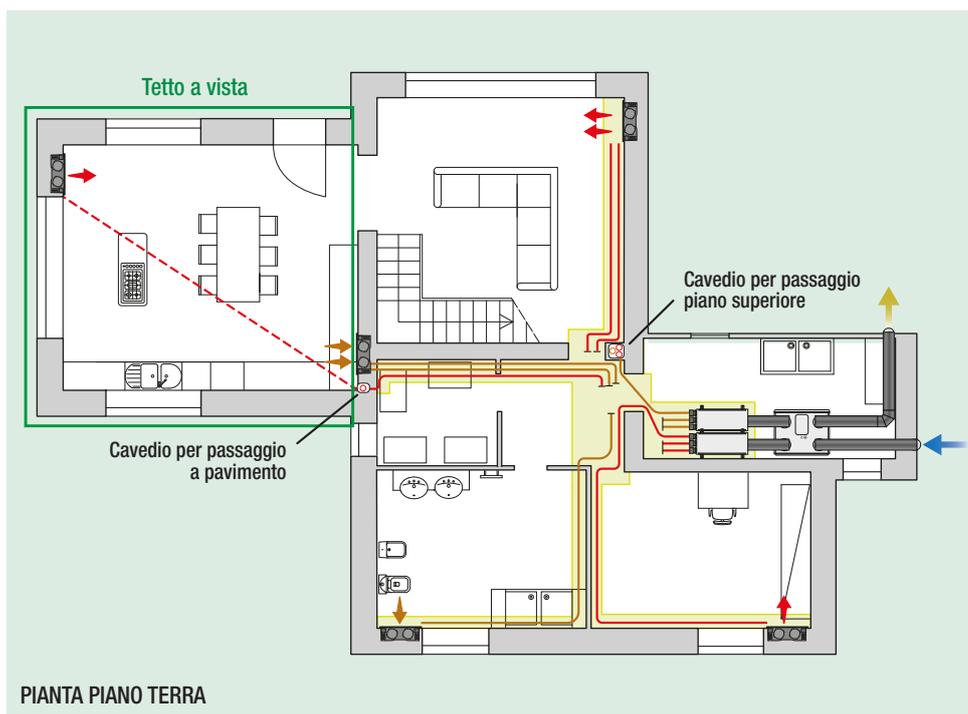


- Griglia presa aria esterna
- Griglia espulsione aria esterna

# ABITAZIONE PRIVATA A DUE PIANI CON TETTO A VISTA

## Impianto VMC con unità a installazione verticale con canalizzazioni a soffitto e a pavimento

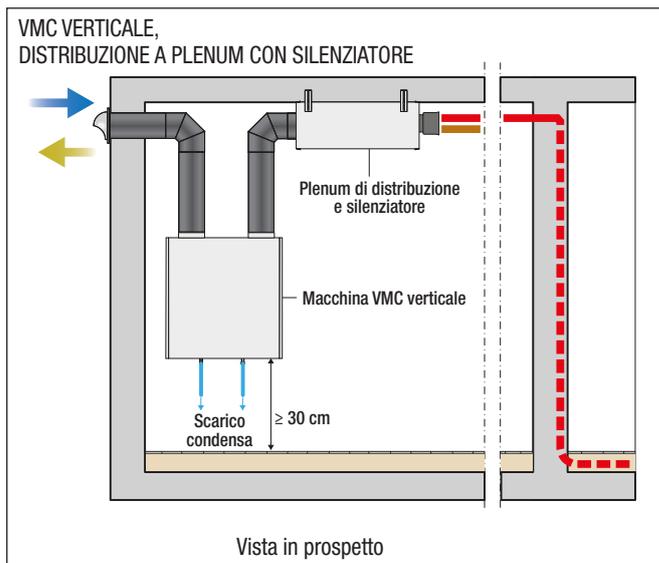
Le abitazioni private a due piani spesso possono disporre di un locale tecnico dedicato in cui installare l'unità di ventilazione. Normalmente lo spazio consente l'installazione di una unità verticale a parete, che agevola la gestione e la manutenzione. In questa tipologia di abitazioni, non sempre è possibile realizzare controsoffittature, ad esempio nel caso di ambienti con tetto a vista. In tale situazione, si ricorre al passaggio delle canalizzazioni a pavimento, che risalgono poi attraverso tracce a muro dedicate per il collegamento alle bocchette ambiente installate a parete. Il passaggio da un piano all'altro è realizzato attraverso opportuni cavedi. Grazie alle canalizzazioni a pavimento, le bocchette di immissione possono facilmente essere collocate nella parte inferiore delle pareti, per garantire un migliore ricambio d'aria.



Difficoltà installazione	ALTA
Ingombro	ALTO
Rumorosità	BASSA
Difficoltà di bilanciamento	MEDIA
Difficoltà manutenzione	BASSA



\* altezza 2,7 m  
ricambio 0,5 vol/h

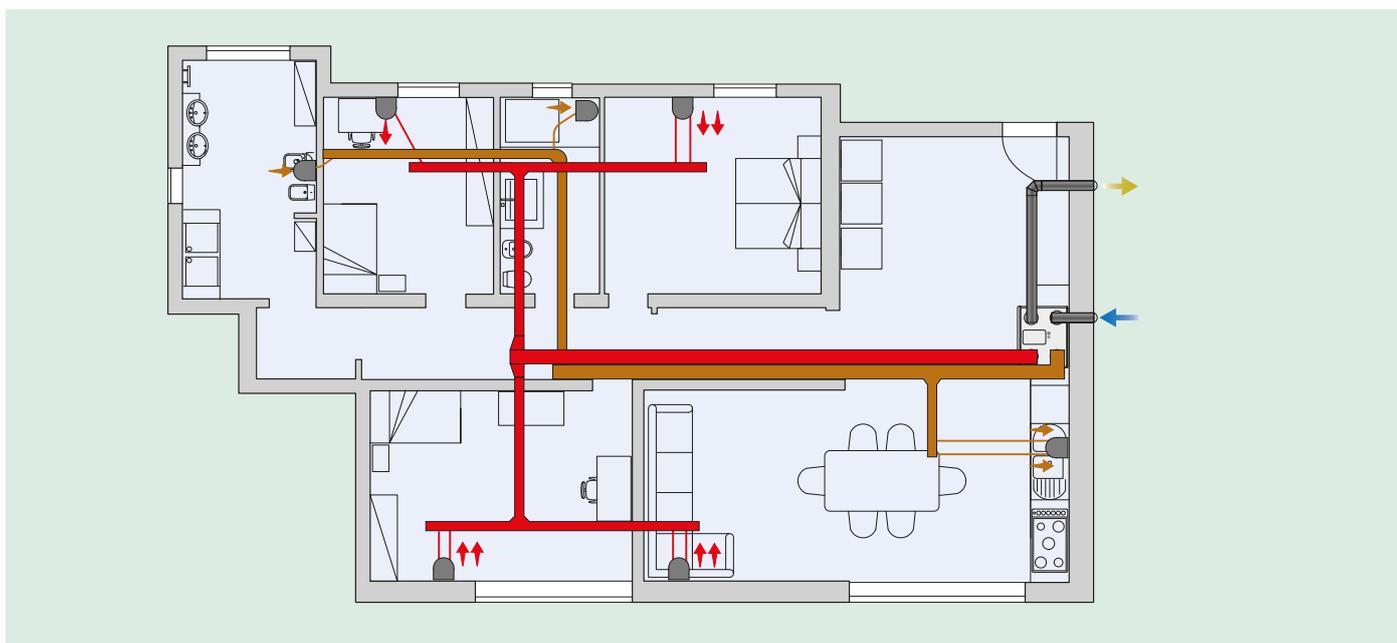


- Canalizzazione flessibile ambiente di immissione aria a pavimento
- Canalizzazione flessibile ambiente di immissione aria a controsoffitto
- Canalizzazione flessibile ambiente di ripresa aria a pavimento
- Canalizzazione flessibile ambiente di ripresa aria a controsoffitto
- Bocchetta ambiente immissione
- Bocchetta ambiente ripresa
- Canalizzazione rigida
- Curva 90°
- Controsoffitto
- Griglia presa aria esterna
- Griglia espulsione aria esterna

# ABITAZIONE PRIVATA CON SOTTOTETTO

## Impianto VMC con unità a installazione verticale con distribuzione ramificata

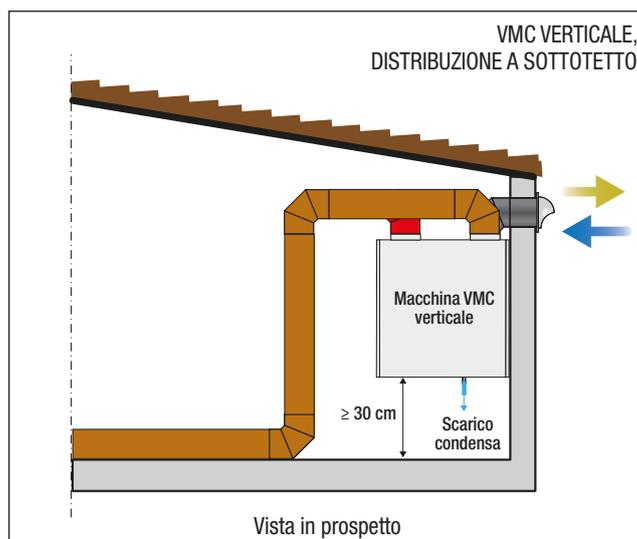
In presenza di un sottotetto di dimensioni adeguate, è possibile sfruttare questo spazio per l'installazione dell'unità di ventilazione e delle canalizzazioni. L'impianto VMC rappresentato è contraddistinto da una distribuzione nel sottotetto di tipo ramificata, che va a servire le bocchette ambiente. In questi casi le bocchette hanno, spesso, un tubo diffusore circolare, passante attraverso carotature nelle solette, in corrispondenza della posizione desiderata nei locali sottostanti. Se il sottotetto non fosse riscaldato, è importante prevedere una adeguata coibentazione, per non inficiare l'efficienza di recupero del calore.



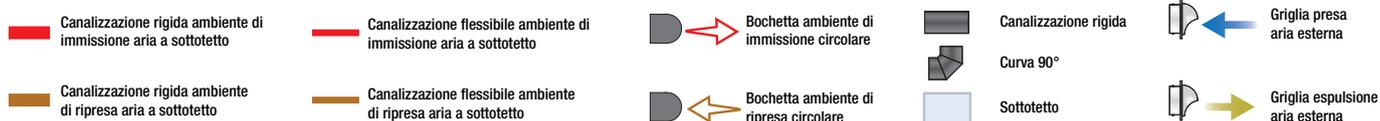
Difficoltà installazione	MEDIO/BASSA
Ingombro	BASSO
Rumorosità	BASSA
Difficoltà di bilanciamento	ALTA
Difficoltà manutenzione	MEDIO/BASSA



\* altezza 2,7 m  
ricambio 0,5 vol/h



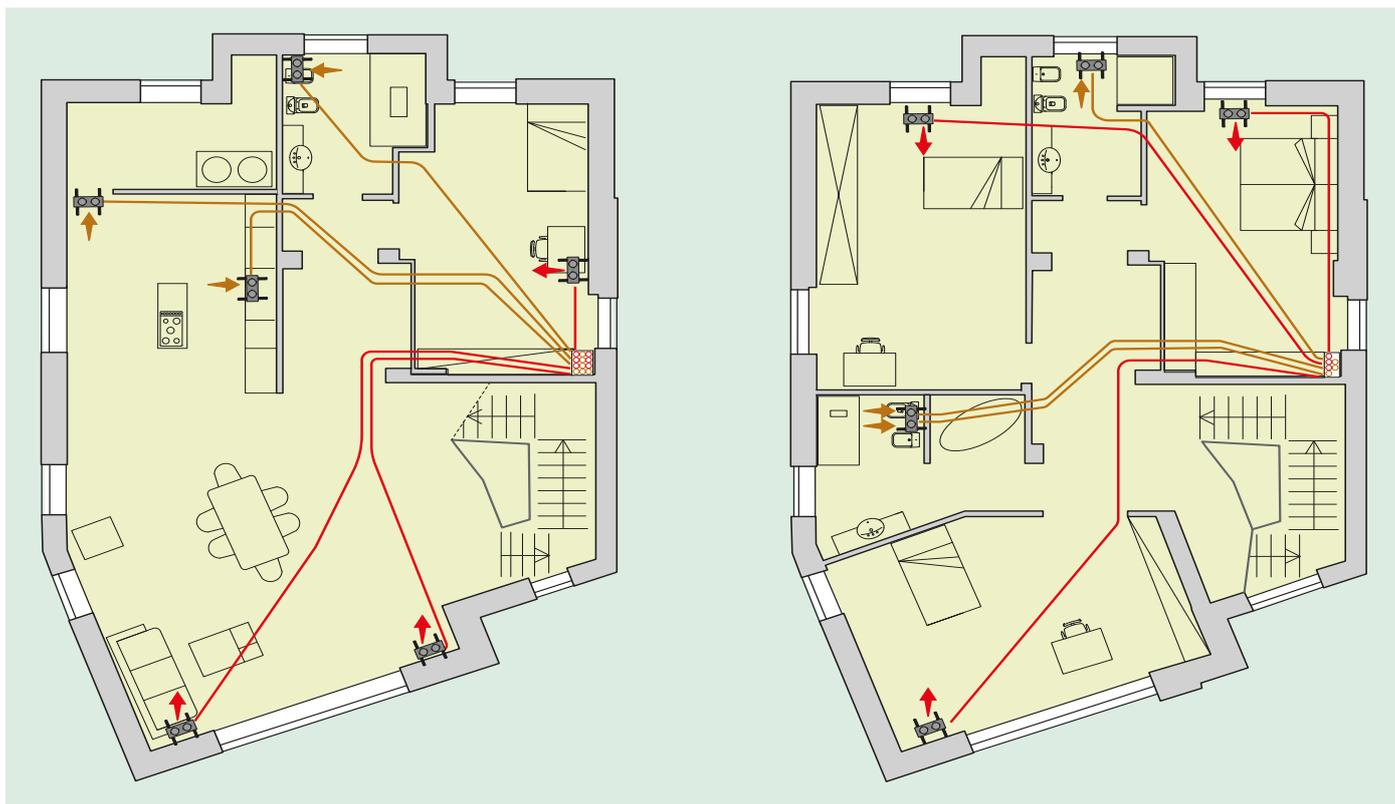
Vista in prospettiva



# ABITAZIONE PRIVATA DI GRANDI DIMENSIONI

## Impianto VMC con unità a installazione verticale

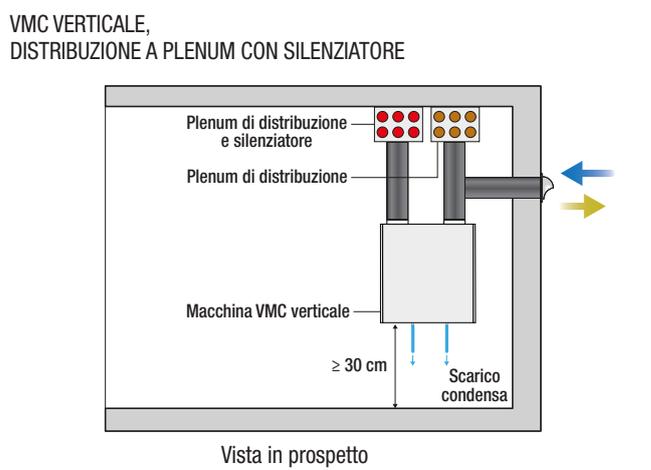
Le abitazioni di grandi dimensioni sono caratterizzate da un elevato numero di ambienti e richiedono considerevoli portate di progetto. Ciò comporta la scelta di unità di ventilazione di grande taglia dall'adeguato numero di tubazioni e bocchette ambiente. Spesso si ricorre all'utilizzo di canalizzazioni di sezione maggiorata per limitare il numero delle tubazioni mantenendo limitate velocità dell'aria. Nell'impianto rappresentato, l'unità di ventilazione a installazione verticale ed i plenum di distribuzione sono collocati in un locale tecnico. Ciò consente una agevole manutenzione sebbene con lunghezze considerevoli delle tubazioni: la posizione dell'unità non è baricentrica rispetto all'estensione, le canalizzazioni sono distribuite in controsoffittature di altezza limitata ed il passaggio ai vari piani è realizzato tramite un cavedio dedicato.



Difficoltà installazione	MEDIO/ALTA
Ingombro	MEDIO/ALTO
Rumorosità	BASSA
Difficoltà di bilanciamento	MEDIA
Difficoltà manutenzione	BASSA



\* altezza 2,7 m  
ricambio 0,5 vol/h



Canalizzazione flessibile ambiente di immissione aria a controsoffitto

Canalizzazione flessibile ambiente di ripresa aria a controsoffitto



Bocchetta ambiente immissione



Bocchetta ambiente ripresa

Canalizzazione rigida

Curva 90°

Griglia presa aria esterna

Griglia espulsione aria esterna

# BIM.CALEFFI.COM

## Tutta la gamma VMC in un unico file

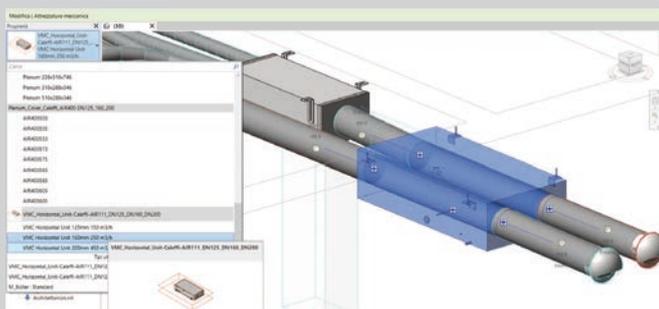
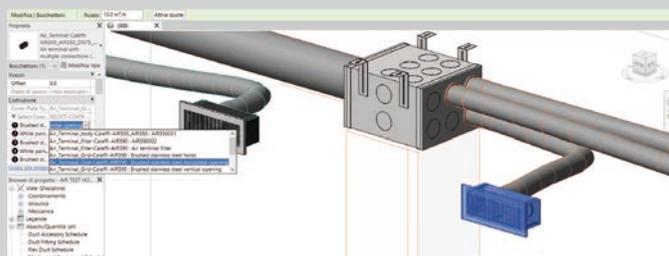
Collegandovi a [bim.caleffi.com](http://bim.caleffi.com), potrete scaricare gratuitamente dal Catalogo BIM, il file di progetto per Revit dei prodotti della serie Caleffi AIR, uno showcase (.RVT) dell'intera libreria di prodotti relativi alla gamma della ventilazione meccanica controllata, nel file di progetto sono inserite tutte le famiglie caricabili, le famiglie di sistema e i loro relativi instradamenti.

Nella sezione dedicata alla Nuova VMC, inoltre potrete navigare due progetti di impianti di distribuzione VMC (una ad installazione verticale e una orizzontale).

### FAMIGLIE CARICABILI

Parliamo di unità di ventilazione meccanica verticali e orizzontali, plenum di distribuzione, bocchette ambiente, griglie estetiche e recuperatori di calore decentralizzati. Ciascuna famiglia è contraddistinta da un elevato livello di parametrizzazione, tutte le varianti di prodotto in un unico file, tutti i componenti possono essere inseriti all'interno degli abachi di Revit in tempo reale garantendo un dettagliato elenco dei materiali impiegati all'interno dell'impianto.

Le famiglie sono corredate di apposite aree definite come aree di manovra che creano interferenza durante le analisi preliminari ed è possibile modificare direttamente all'interno del progetto la distanza ideale dal piano di riferimento sul quale vengono alloggiati.



### FAMIGLIE DI SISTEMA

Canalizzazioni di aria primaria rigide e flessibili e canalizzazioni di aria secondaria.

Le lunghezze impiegate nel progetto possono essere immediatamente quantificate e se collegate alle nostre famiglie caricabili vengono automaticamente realizzati manicotti per il collegamento, riduzioni di diametro e derivazioni; il tutto sempre predisposto per essere inserito all'interno degli abachi.

Sfruttando le famiglie Caleffi della serie AIR è possibile risparmiare tempo nella progettazione ed ottenere un modello più simile alla realtà.

[bim.caleffi.com](http://bim.caleffi.com)

**CALEFFI**  
Hydronic Solutions

# 100% BIM

## CONDIVIDIAMO LA NOSTRA EXPERTISE



+600  
file



+7  
anni  
di expertise



+3000  
codici

Scopri Caleffi BIM! Il nuovo portale dove trovi tutto il nostro know-how 100% BIM: famiglie, progetti e template dedicati al settore MEP, ma anche modelli IFC e BOL. Niente informazioni superflue, solo dati e parametri indispensabili con specifiche tecniche aggiornate in tempo reale dal nostro team dedicato alla realizzazione dei contenuti e al supporto dei progettisti. **GARANTITO CALEFFI.**



## CASO STUDIO BIM:

### Fabrica e Caleffi per Coop Reno

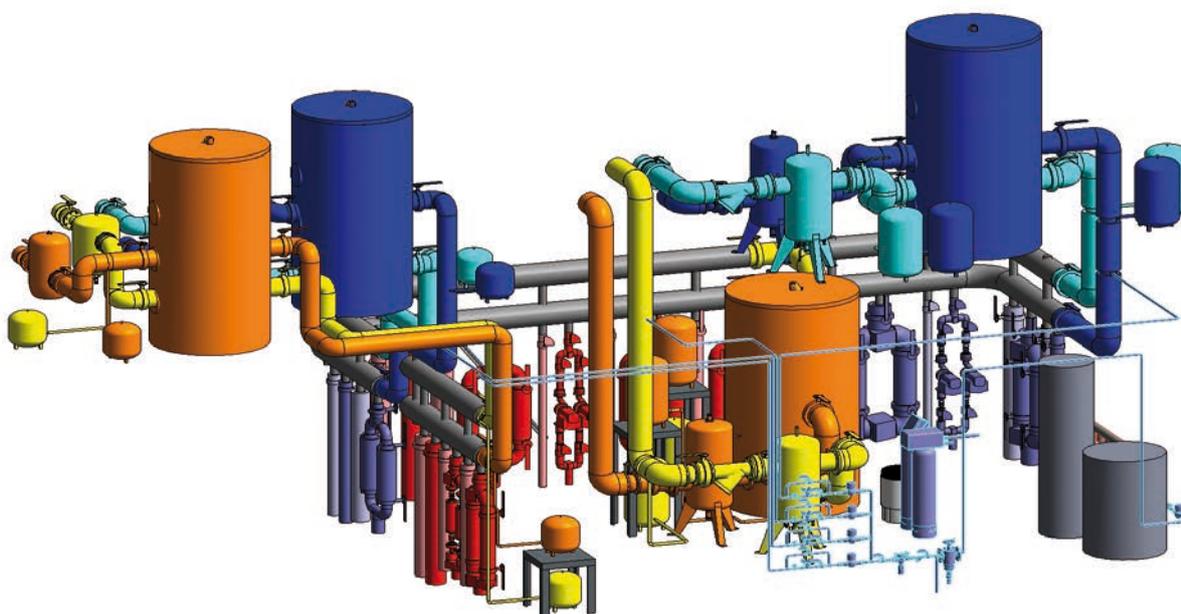
Politecnica e Fabrica insieme hanno realizzato la progettazione del nuovo Centro Direzionale Coop Reno, un progetto che è già diventato il simbolo del carattere innovativo che da tempo Coop Reno porta avanti sul territorio. Centro Direzionale organizzato secondo principi di condivisione ed aggregazione, progettato per svilupparsi funzionalmente nel tempo, sempre nel rispetto dell'ambiente e dei futuri utenti. Il lotto di intervento di circa 19.000 mq, in origine completamente libero e pianeggiante, si trova al termine dell'insediamento produttivo di Poggio Piccolo, nel Comune di Castel Guelfo di Bologna. **"A different kind of Green"**: l'immagine del Progetto, ricercata ed organicamente inserita nel contesto, valorizza gli aspetti paesaggistici ed ambientali dell'area. Una curva morbida ed organica che si distende sul lotto, diventando un asse simbolicamente identificato con una pianta che affonda le sue radici nelle strade del quartiere, per poi crescere liberamente nel verde seguendo gli schemi tipici dell'evoluzione naturale.



#### Gli impianti

L'impiantistica a servizio degli edifici, con particolare riferimento all'edificio amministrativo ed all'auditorium, nasce e si sviluppa secondo criteri di efficienza energetica, qualità nella scelta di componenti, materiali ed apparecchiature e flessibilità nell'uso e nella regolazione degli impianti stessi.

In particolare, gli edifici sono serviti da impianto idronico a ventilconvettori e da impianto di ventilazione ad aria primaria. La distribuzione dell'acqua sanitaria è gestita in modo centralizzato per garantire la qualità dei trattamenti e sono previste la raccolta e la distribuzione dell'acqua meteorica a servizio delle cassette di risciacquo.



Per ottimizzare gli spazi e le future attività manutentive, si è scelto di realizzare un edificio dedicato in cui concentrare gli impianti meccanici, elettrici ed antincendio a servizio degli edifici principali ed in generale dell'intero lotto.

### L'uso degli strumenti BIM

Politecnica e Fabrica utilizzano metodi e strumenti BIM per le attività di progettazione. Il percorso composto da attività legate a commesse, a momenti strutturati legati alla ricerca e sviluppo e a possibilità di scambio e confronto ha portato a rendere stabile, continuo ed efficiente l'utilizzo degli strumenti di BIM Authoring. Il progetto Caso Studio è stato infatti realizzato interamente all'interno del "flusso BIM", infatti il software di authoring, completato da diversi plugin, ha permesso di realizzare tutti i calcoli per il dimensionamento delle tubazioni e dei condotti aereaulici e ha consentito di sviluppare tutta la computazione in modo dinamico.

Appare evidente come l'utilizzo degli strumenti BIM comporti un sempre crescente interesse verso il "lato informativo" dei modelli che è finalizzato ad aumentarne le prestazioni sia

nelle fasi progettuali sia al momento della gara d'appalto e, successivamente, delle fasi costruttive, e di as built. La continuità nell'utilizzo del modello prosegue oltre, andando a servire la vita dell'intero sistema edificio-impianto rappresentando il nuovo cardine del sistema di facility management.

In ultima analisi appare evidente come accanto ad una buona e consapevole attività di progettazione, dove il progettista continua e continuerà la propria attività indipendentemente dai metodi e dagli strumenti utilizzati, diventi molto importante l'aspetto informativo legato ai modelli collegati e di conseguenza agli oggetti che li compongono e li popolano.

Gli oggetti virtuali, ovvero le famiglie BIM dei componenti vengono oggi scelte dai progettisti come elemento centrale rispetto ai modelli disciplinari che il metodo BIM prevede con enormi ricadute sulla qualità, i tempi e tutte le attività correlate per il completamento delle fasi di progettazione.

**fabricalab.eu**  
**politecnica.it**

### La collaborazione con Caleffi

Il presente Caso Studio è apparso da subito come un'ottima occasione di collaborazione e confronto tra due realtà di progettazione BIM come Politecnica e Fabrica e uno tra i maggiori produttori di componenti impiantistiche a livello mondiale come Caleffi, che dalla sua ha la possibilità di migliorare gli oggetti virtuali dei suoi prodotti per venire incontro alle esigenze di chi direttamente li utilizza. I progettisti essendo i veri e propri utilizzatori hanno invece la necessità di condividere il più possibile le informazioni necessarie per far sì che questi oggetti siano sempre più utili e integrati nel flusso BIM.

La sinergia creata durante questa collaborazione ha toccato alcuni temi e punti molto profondi essendo, per Fabrica e Caleffi, la vera prima occasione di un confronto così mirato.

Volendo scendere nel dettaglio, Caleffi ha potuto meglio comprendere le vere necessità di un utilizzatore BIM e capitalizzarle, seguendo tutto il flusso applicato ad un progetto reale; flusso che deve essere inteso come successione di tutti gli step nascosti dietro alla realizzazione di una centrale termica. Partendo dal suo schema unifilare fino al computo metrico, passando per il posizionamento di tutte le famiglie dei prodotti all'interno ed esterno del vano tecnico dedicato.

Questa stretta collaborazione, vissuta quotidianamente dalle tre realtà, ha portato molti spunti di miglioramento. Caleffi seguendo nel dettaglio il posizionamento, utilizzo e applicazione degli oggetti virtuali che realizza, è riuscita a implementare nuove caratteristiche e parametri necessari al gruppo di progettisti per una migliore e totale integrazione degli oggetti all'interno di un progetto BIM, in tutte le sue fasi.



# V M C CALEFFI

DIFFONDE  
BENESSERE



Progettiamo i nostri sistemi di **Ventilazione Meccanica Controllata Caleffi** per garantire aria pulita e un clima perfetto in tutti gli ambienti residenziali. Qualità, ricambio d'aria efficiente, risparmio energetico e assistenza continua in ogni fase della progettazione, pre e post vendita. **GARANTITO CALEFFI.**

