

Heinrich Huber

# Ventilazione residenziale

progettazione | realizzazione | esercizio





# Indice

<b>1. Nozioni di base</b>		
1.1 I compiti della ventilazione		
1.2 Norme		
1.3 Qualità dell'aria interna e contaminanti		
1.4 Contaminazione dell'aria esterna		
1.5 Umidità dell'aria interna		
1.6 Protezione termica estiva		
1.7 Controllo/regolazione e gestione		
1.8 Protezione antincendio		
<b>2. Concetto di ventilazione, requisiti</b>		
2.1 Sviluppo del concetto di ventilazione		
2.2 Occupazione e utilizzo		
2.3 Qualità dell'aria interna percepita		
2.4 Protezione contro l'umidità e umidità dell'aria interna		
2.5 Finestre		
2.6 Zona di permanenza		
2.7 Manutenzione		
2.8 Rapporti di pressione		
2.9 Influenze esterne		
2.10 Ermeticità all'aria della superficie dell'involucro		
2.11 Zone di installazione e protezione antincendio		
2.12 Locali secondari e locali di minor importanza		
2.13 Energia, ecologia e standard di costruzione		
<b>3. Distribuzione dell'aria</b>		
3.1 Circolazione generale dell'aria nelle abitazioni		
3.2 Volume del locale e profilo temporale del flusso d'aria		
3.3 Principio a cascata		
3.4 Principio di collegamento con distribuzione attiva		
3.5 Principio di collegamento con distribuzione libera		
3.6 Principio per singolo locale		
3.7 Distribuzione dell'aria nel locale		
3.8 Passaggio d'aria di transito		
3.9 Limiti della ventilazione miscelata		
3.10 Flussi d'aria aspirata minimi		
<b>4. Sistemi di ventilazione</b>		
4.1 Ventilazione naturale		
4.2 Impianto d'aspirazione		
4.3 Impianto di ventilazione semplice		
4.4 Ventilazione per singolo locale, combinata con impianti d'aspirazione		
4.5 Impianti per singoli versus impianti per più appartamenti		
4.6 Confronto tra sistemi		
<b>5. Indicazioni per la progettazione</b>		
5.1 Svolgimento del progetto		
5.2 Dimensionamento delle condotte dell'aria		
5.3 Tipi di condotte e materiali		
5.4 Calibrazione e misurazione		
5.5 Igiene e pulizia		
<b>6. Progettazione della ventilazione meccanica controllata</b>		
6.1 Flusso d'aria determinante		
6.2 Controllo/regolazione e utilizzo		
6.3 Distribuzione dell'aria nell'abitazione		
6.4 Disposizione di impianti per singolo appartamento		
6.5 Disposizione di impianti per più appartamenti		
6.6 Passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa		
6.7 Scambiatore di calore dal terreno		
6.8 Pulizia e igiene		
6.9 Documentazione		
<b>7. Progettazione di impianti d'aspirazione</b>		<b>83</b>
7.1 Tipi di impianti d'aspirazione		84
7.2 Rapporti di pressione e flussi d'aria		84
7.3 Dimensionamento dei flussi d'aria		86
7.4 Controllo/regolazione e utilizzo		90
7.5 Layout degli impianti d'aspirazione		90
7.6 Elementi dell'involucro di passaggio d'aria (EIPA)		92
7.7 La pratica		98
<b>8. Progettazione della ventilazione per singolo locale</b>		<b>100</b>
8.1 Flussi d'aria e umidità dell'aria interna		101
8.2 Tipologie di apparecchio, indicatori, requisiti		101
8.3 Impianti per l'esercizio continuo		106
8.4 Impianti con ventilatori push-pull		107
8.5 Note sull'abbinamento con impianti d'aspirazione		109
8.6 La pratica		112
<b>9. Componenti, apparecchi, fabbisogno energetico</b>		<b>115</b>
9.1 Igiene e filtrazione		115
9.2 Convogliamento dell'aria		116
9.3 Recupero di calore e di umidità		117
9.4 Incidenza del disequilibrio		120
9.5 Protezione dalla formazione di ghiaccio e disattivazione del RC		122
9.6 Perdite e tassi di trasmissione		124
9.7 Isolamento termico della distribuzione dell'aria		125
9.8 Fabbisogno energetico annuo di impianti di ventilazione		127
9.9 Eco-Design e classificazione energetica		133
9.10 Note sugli apparecchi multifunzionali		135
<b>10. Utilizzi e impianti speciali</b>		<b>137</b>
10.1 Ventilazione della zona di cottura		137
10.2 Focolari nelle abitazioni		141
10.3 Condizionamento degli scantinati		142
10.4 Riscaldamento ad aria		144
10.5 Risanamenti contro il radon		145
<b>11. Protezione dal rumore</b>		<b>147</b>
11.1 Termini, requisiti		147
11.2 Verifica secondo la SIA 181		148
11.3 Confronto tra i metodi di verifica		149
11.4 Propagazione del rumore nei locali		151
11.5 Note relative ai componenti		152
11.6 Protezione dal rumore verso l'esterno		156
11.7 Punti da considerare per una buona protezione dal rumore		157
<b>12. Consegna ed esercizio</b>		<b>158</b>
12.1 Consegna		158
12.2 Verifica e misurazione delle funzioni		158
12.3 Ispezione igienica iniziale		160
12.4 Documentazione e istruzione		161
12.5 Manutenzione		161
12.6 Letteratura		162
<b>13. Allegato</b>		<b>163</b>

## Impressum

**Ventilazione residenziale –  
progettazione, realizzazione, esercizio**

**Autore:** Heinrich Huber

**Traduzione:** Fabian Brüttsch, Zurigo

**Lettorato:** Milton Generelli, Gordora

**Editing e impaginazione:**

Faktor Journalisten AG, Zurigo;  
René Mosbacher, Noemi Bösch

**Immagine di copertina:** ayagiz via  
iStockphoto

Questa pubblicazione fa parte della collana specializzata in tedesco «Nachhaltiges Bauen und Erneuern» (Costruzione e ammodernamento sostenibile).

La pubblicazione è stata finanziata dall'Ufficio federale dell'energia UFE/ SvizzeraEnergia e dalla Conferenza dei direttori cantonali dell'energia (EnDK).

**Acquisto:** Come download (gratuito) su  
[www.svizzeraenergia.ch](http://www.svizzeraenergia.ch)

Gennaio 2023

Premessa

## Ventilare le abitazioni in modo efficace

Quando una decina di anni fa è stata pubblicata l'ultima versione in tedesco del libro «Planungshandbuch Komfortlüftung» (Manuale di progettazione per la ventilazione meccanica controllata), la ventilazione automatica di locali abitativi aveva ancora un carattere quasi pionieristico. All'epoca la ventilazione residenziale era associata soprattutto alle case Minergie e alle abitazioni di elevato standing. Nel frattempo, i vantaggi degli edifici ventilati automaticamente sono diventati decisamente più noti. Da allora sono state acquisite molte esperienze con gli impianti realizzati ed è stata effettuata parecchia ricerca sull'utilità degli impianti di ventilazione. Diversi studi hanno dimostrato, ad esempio, che gli odierni edifici molto ermetici difficilmente possono essere riforniti manualmente in modo affidabile con aria di buona qualità. Ciò comporta conseguenze ormai note anche ai non esperti: tra queste ne fanno parte la formazione di muffe, lo spreco di energia e l'alterazione del benessere.

Ma anche dal punto di vista tecnico molto è cambiato: alla classica ventilazione a cascata si sono aggiunte forme miste come la ventilazione con compensatori attivi. Esse hanno il vantaggio di utilizzare un numero nettamente inferiore di condotte per l'aria e sono quindi più adatte in caso di ammodernamenti. Infine, abbiamo fatto progressi anche in termini di norme e standard. In particolare, il quaderno tecnico SIA 2023 «Ventilazione negli edifici abitativi» è stato sostituito dalla nuova norma SIA 382/5 «Ventilazione meccanica negli edifici abitativi».

Tutto ciò è stato motivo sufficiente per rivedere, completare e parzialmente reimpostare il libro «Planungshandbuch Komfortlüftung» (Manuale di progettazione per la ventilazione meccanica controllata). Ciò che rimane è il concetto di base: il libro è destinato a fornire ai progettisti le nozioni di base e a servire come strumento di lavoro nella vita quotidiana. Tuttavia, anche nella sua ultima edizione, non è una dispensa didattica in generale per la tecnica di ventilazione. Si occupa volutamente solo di argomenti che richiedono particolare attenzione nella ventilazione residenziale. Si presuppongono nozioni generali di base, come la padronanza dei calcoli della perdita di carico.



## Nozioni di base

### 1.1 I compiti della ventilazione

Il compito centrale di una ventilazione residenziale è quello di fornire agli occupanti aria interna di buona qualità. Vi sono però anche ulteriori requisiti:

- Deve inoltre assicurare il minimo ricambio d'aria per la protezione dell'edificio contro l'umidità.
- I suoi componenti e apparecchi non devono indebolire la protezione dal rumore dell'edificio.
- L'aumento del ricambio d'aria, in genere con la ventilazione tramite le finestre, contribuisce alla protezione termica estiva.
- Gioca un ruolo importante nel bilancio energetico degli edifici residenziali ad alta efficienza energetica: da un lato, può

minimizzare le perdite termiche di ventilazione, ma dall'altro necessita anche di energia elettrica.

- Gli aspetti ecologici come l'energia grigia e la possibilità di decostruzione assumono un'importanza sempre maggiore. Il fabbisogno di risorse e l'impatto ambientale dell'impianto di ventilazione devono essere proporzionati ai benefici.
- Le installazioni di ventilazione devono essere economicamente sostenibili sia in termini di realizzazione che di esercizio, cioè devono offrire benefici adeguati all'onere economico.

#### Cosa non può fare una ventilazione residenziale?

I sistemi descritti in questo libro aumentano il comfort e contribuiscono alla protezione della sostanza immobiliare. Ma, indipendentemente dal sistema scelto, valgono i seguenti limiti di prestazione e di comfort per la ventilazione residenziale:

- La ventilazione non è un impianto di climatizzazione e non sostituisce le misure costruttive per la protezione termica estiva. Anche se sono disponibili finestre apribili e una ventilazione meccanica intensiva, per un clima interno confortevole in estate sono necessari una sufficiente massa termica attiva e un'efficace protezione solare.
- Con misure tecniche adeguate, può contribuire a ridurre la durata dei periodi di bassa umidità dell'aria interna in inverno. Tuttavia, l'influenza decisiva sull'umidità dell'aria interna è data dall'utilizzo (occupazione, comportamento degli utenti, fonti di umidità).
- Essa non è dimensionata per un'occupazione insolitamente alta o per odori intensi. In situazioni particolari, come una festa di famiglia o una se-

rata con fondue, sono da attendersi odori percettibili.

- Non risolve i problemi di odori legati al fumare nelle abitazioni, né riduce il rischio per la salute ad esso associato.
- Non può eliminare le sostanze tossiche dell'aria interna, ma solo diluirle. Le emissioni dei materiali da costruzione devono essere evitate alla fonte, per quanto possibile, scegliendo materiali adeguati. Gli utenti stessi sono responsabili dell'inquinamento dell'aria causato dagli arredi e dalle attività (per esempio mobili, detersivi, candele profumate).
- Non può impedire agli odori esterni, come il fumo della combustione di legna o gli odori dell'agricoltura, di entrare nell'abitazione. Nel caso della ventilazione meccanica, si potrebbero utilizzare costosi filtri a carboni attivi. Tuttavia, l'alta perdita di carico aumenta il consumo energetico e il rumore generato dai ventilatori. L'impiego di filtri a carboni attivi deve quindi rimanere un'eccezione.

## 1.2 Norme

Generalmente, in Svizzera andrebbero applicate solo norme e direttive svizzere. Le norme di altra origine, come le DIN o VDI, non dovrebbero essere utilizzate, poiché potrebbero risultare malintesi o addirittura contraddizioni rispetto alle norme e ai regolamenti svizzeri.

Nel campo della ventilazione, le pubblicazioni della SIA (Società svizzera degli ingegneri e degli architetti), della Die Planer/SITC (Società svizzera degli ingegneri nella tecnica impiantistica) e dell'AICAA (Associazione degli istituti cantonali di assicurazione antincendio) fanno parte del quadro normativo svizzero. Inoltre, hanno validità in Svizzera tutte le norme che iniziano con l'abbreviazione «SN». Queste norme sono state elaborate dal Comitato europeo di normazione CEN (Comité Européen de Normalisation) e adottate dalle organizzazioni svizzere di normazione (Schweizerische Normen-Vereinigung, SNV e la SIA). Le seguenti norme sono centrali per quanto riguarda la ventilazione residenziale:

### **SIA 180:2014 Isolamento termico, protezione contro l'umidità e clima interno degli edifici**

La SIA 180 è la norma svizzera di base per la fisica della costruzione, la protezione termica estiva e invernale così come il comfort termico. Essa stabilisce inoltre dei requisiti riguardo al concetto di ventilazione.

### **SIA 382/1:2014 Impianti di ventilazione e climatizzazione – Basi generali e requisiti**

Questa norma copre tutti gli impianti di ventilazione meccanica per locali che sono utilizzati principalmente per la permanenza di persone. Essa ha carattere molto generale e non tratta specificamente la ventilazione residenziale. Le restanti norme e direttive svizzere sulla ventilazione sono subordinate alla SIA 382/1 (2022: in fase di revisione).

### **SIA 382/5:2021 Ventilazione meccanica negli edifici abitativi**

La norma SIA 382/5 ha sostituito il quaderno tecnico SIA 2023. Essa costituisce una base centrale per questo libro. In vari argomenti si fa riferimento ad essa. È consigliato dotarsi di questa norma e utilizzarla in parallelo con il libro. Fa sempre stato il testo originale della SIA 382/5.

## 1.3 Qualità dell'aria interna e contaminanti

Attraverso il metabolismo, gli esseri umani e gli animali consumano ossigeno. Ma molto prima che l'ossigeno in un locale finisca, l'odore diventa insopportabile. Inoltre, anche la concentrazione di contaminanti può raggiungere livelli che rappresentano un rischio per la salute. I locali non vengono quindi ventilati in primo luogo per fornire ossigeno, ma per rimuovere agenti inquinanti.

### **Contaminazione causata da persone**

L'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) è un buon indicatore della qualità dell'aria interna percepita quando il carico di odori proviene principalmente dal metabolismo umano. Il CO<sub>2</sub> è inodore e la sua concentrazione negli edifici ventilati non raggiunge livelli critici per la salute. Le emissioni di CO<sub>2</sub> di una persona dipendono dalla sua attività e dalle sue dimensioni corporee. Per adulti in abitazioni, le seguenti emissioni di CO<sub>2</sub> sono tipiche:

- Attività giornaliera media: per persona 18–20 l/h (valore di calcolo 20 l/h)
- Dormire: per persona 12–14 l/h (valore di calcolo 13,6 l/h)

Studi empirici hanno dimostrato che una persona che entra in un locale giudica la qualità dell'aria interna come buona se il contenuto di CO<sub>2</sub> non supera 800–1000 ppm<sup>1</sup>. Tuttavia, se una persona rimane in un locale per un periodo di tempo più lungo, si abitua agli odori, in particolare ai propri. In questo caso la qualità

<sup>1</sup> Sulla base di un contenuto di CO<sub>2</sub> dell'aria esterna di 400 ppm



dell'aria interna è giudicata ancora accettabile se il contenuto di CO<sub>2</sub> si situa tra 1200 e 1400 ppm. Di conseguenza, questo valore è appropriato ad esempio per le camere da letto. Esso vale anche per locali in cui, durante la giornata, diverse persone passano più ore insieme. La SIA 382/1:2014 utilizza le cosiddette classi AMB, che sono descritte nella tabella 1.1. Nell'attuale revisione della norma, le classi sono adattate alle nuove norme europee.

Dalle emissioni di CO<sub>2</sub> e dalla concentrazione di CO<sub>2</sub> di riferimento, si può calcolare il flusso d'aria esterna necessario da fornire a un locale o a un appartamento. Questi valori sono riportati nel capitolo 3.

#### Contaminazione dell'aria interna dovuta all'utilizzo

Gran parte della contaminazione da polveri fini nell'aria interna è letteralmente fatta in casa. Informazioni utili in merito sono contenute nel foglio d'informazione «Polveri fini nell'aria di ambienti interni» dell'Ufficio federale della sanità pubblica [1]. Candele, bastoncini d'incenso, fuochi aperti (per esempio fornelli a gas, caminetti, fuochi a etanolo) emettono quantità considerevoli di polveri fini e altre sostanze indesiderate. Anche la cottura, come il soffritto o la frittura, produce polveri fini.

Il fumo causa una massiccia contaminazione dell'aria interna. Nei locali in cui si fuma, è impossibile raggiungere una buona qualità dell'aria interna. Inoltre, mobili e altri arredi possono rilasciare sostanze indesiderate nell'aria interna. È responsabilità degli abitanti minimizzare tale contaminazione.

#### Materiali da costruzione

Secondo la SIA 180:2014, cifra 3.3, si applica il principio secondo il quale i materiali da costruzione devono essere scelti in modo tale da rilasciare il minor numero possibile di sostanze contaminanti nell'aria interna. Nell'allegato B, la SIA 382/5:2021 fornisce riferimenti a ulteriori pubblicazioni.

Costruire secondo Minergie-Eco offre buone premesse per una sostanza immobiliare che contami il meno possibile l'aria interna. Tale standard richiede e verifica l'utilizzo di materiali a basse emissioni.

#### 1.4 Contaminazione dell'aria esterna

In Svizzera, da alcuni anni l'inquinamento dell'aria esterna con polveri fini e ossidi di azoto tende a diminuire. Tuttavia, a livello regionale e locale, soprattutto lungo le strade trafficate, i valori indicativi e limite possono ancora essere superati. I seguenti siti web forniscono informazioni sulla qualità dell'aria esterna:

- [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch) elenca i valori misurati e le previsioni dei Cantoni della Svizzera orientale.
- L'Ufficio federale dell'ambiente offre mappe panoramiche con valori annuali per tutta la Svizzera al sito [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch).
- Per il Ticino: Osservatorio Ambientale Svizzera Italiana al sito [www.oasi.ti.ch](http://www.oasi.ti.ch).

Se l'esposizione alle polveri fini è superiore ai livelli raccomandati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), è consigliato scegliere un sistema di ventilazione che permetta di utilizzare filtri

Categoria	Esempi di utilizzo	Contenuto di CO <sub>2</sub>
AMB 1	Locali speciali come laboratori e camere bianche	non definito
AMB 2	Locali con esigenze di qualità dell'aria interna più elevate, ad esempio locali in cui entrano frequentemente nuove persone	< 1000 ppm
AMB 3	Locali con esigenze di qualità dell'aria interna medie, tipici locali residenziali e uffici	da 1000 a 1400 ppm
AMB 4	Locali in cui la permanenza di persone è rara o nulla, ad esempio locali subordinati e secondari	> 1400 ppm

Tabella 1.1:  
Classificazione dell'aria interna secondo la SIA 382/1:2014, con esempi di utilizzo.

per polveri fini di classe ISO ePM1 50 % (equivalente alla vecchia classe F7) o superiori.

### Radon

Il radon è un gas radioattivo naturale che può penetrare negli edifici dal sottosuolo. Il rischio dipende dall'ubicazione dell'edificio e dalla sua costruzione. In Svizzera, il radon è considerato la più importante causa naturale di cancro ai polmoni.

L'Ufficio federale della sanità pubblica (UFSP) stima che tra 200 e 300 morti all'anno sono causate dal radon.

Il sito web del Servizio radon dell'UFSP contiene ampio materiale informativo e una mappa con le zone a rischio ([www.ch-radon.ch](http://www.ch-radon.ch)).

L'Ordinanza federale sulla radioprotezione (ORaP) del 26 aprile 2017 fissa 300 Bq/m<sup>3</sup> come valore di soglia per il radon. Esso rappresenta l'esposizione alle radiazioni cumulativa totale annuale di una persona e non dovrebbe essere superata. Il valore di riferimento vale per i locali in cui le persone trascorrono regolarmente diverse ore, quindi anche per gli edifici abitativi. La responsabilità riguardo al radon è dei proprietari dell'edificio o della committenza. Essi devono adottare misure costruttive preventive secondo lo stato della tecnica per mantenere le concentrazioni di radon al di sotto del valore di soglia. Lo stato della tecnica è rappresentato dalla SIA 180:2014. Se il valore di soglia viene superato in un locale, i proprietari devono provvedere a proprie spese alle misure necessarie.

Gli edifici nuovi con pavimenti del piano interrato in calcestruzzo senza interruzioni e solette in calcestruzzo sopra il piano interrato sono generalmente considerati non critici, a condizione che nessuna condotta di approvvigionamento o di scarico (canalizzazioni, sonde ge-

otermiche, ecc.) attraversi la platea in calcestruzzo. Nelle regioni critiche e soprattutto nelle case monofamiliari di una certa età, il problema non deve essere in nessun caso trascurato. Per quanto riguarda la ventilazione, in relazione al radon occorre osservare i seguenti punti:

- L'aria esterna deve essere captata ad almeno 0,8 m sopra il livello del terreno.
- Negli edifici esistenti senza o con platee in calcestruzzo fessurate, una sottopressione è critica. In questo caso gli impianti d'aspirazione sono quindi rischiosi.
- L'attraversamento di condotte d'aria attraverso il pavimento e le pareti del piano interrato deve essere ermetico al gas.
- Gli scambiatori di calore terreno-aria devono essere ermetici al gas.

In uno studio della Scuola universitaria professionale di Lucerna [2] nel 2012, le concentrazioni di radon sono state misurate in 15 edifici con ventilazione meccanica controllata e scambiatori di calore terreno-aria. In tutti gli edifici studiati, la concentrazione media di radon nei locali abitati era di molto inferiore a 100 Bq/m<sup>3</sup>, il che significa che le raccomandazioni dell'OMS erano rispettate. La concentrazione di radon era anche inferiore a quella degli edifici di riferimento con ventilazione naturale nello stesso Comune. Nonostante il numero statisticamente ridotto di misurazioni, è possibile sostenere che la ventilazione meccanica controllata tendenzialmente porta a una concentrazione di radon più bassa rispetto alla ventilazione tramite le finestre.

## 1.5 Umidità dell'aria interna

L'umidità dell'aria interna dipende dalla produzione di umidità nell'abitazione (presenza di persone, comportamento nel ventilare, cucinare, fare la doccia, ecc.), dalla ventilazione e dal clima esterno.

### Produzione di umidità

Se non vi è una convenzione d'utilizzazione particolare, si presume che l'appartamento sia utilizzato secondo la SIA 2024.

Valore	Tipo di polveri fini	
	PM2,5	PM10
Valore medio annuale	10 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>
Valore medio max. su 24 ore	25 µg/m <sup>3</sup>	50 µg/m <sup>3</sup>

Tabella 1.2: Raccomandazioni dell'OMS per le immissioni massime di polveri fini.

La tabella 1.3 mostra la produzione di umidità in una casa plurifamiliare basata sulla SIA 2024:2015 e sulla SIA 180:2014. I valori della tabella 1.3 sono piuttosto conservativi per le abitazioni occupate permanentemente. La produzione di umidità delle persone a 21 °C è inferiore di circa il 20 % rispetto a 24 °C. D'altra parte, a dipendenza delle abitudini culinarie, delle piante da interno, ecc., si può ipotizzare una produzione di umidità da due a quattro volte superiore per le «ulteriori fonti di umidità». Un totale di 1 a 1,5 kg di vapore acqueo è tipicamente prodotto giornalmente per persona nelle abitazioni.

#### Requisiti nella stagione invernale

Secondo la SIA 180:2014 e la SIA 382/1:2014, l'umidità relativa interna (u.rel.) minima consentita è del 30%. Tale requisito è legato alle seguenti condizioni:

- L'umidità dell'aria interna minima consentita può non essere rispettata per il 10% del tempo di utilizzo.
- L'umidità relativa dell'aria interna per un normale utilizzo abitativo si riferisce a una temperatura dell'aria interna di 21 °C. Qualora siano previste altre temperature dell'aria interna, l'umidità viene ricalcolata in relazione ai 21 °C.
- Ad altitudini superiori a 800 m sopra il livello del mare, il limite consentito di umidità è ridotto di 1% u.rel. per ogni 100 m di dislivello.

Le norme SIA non definiscono con chiarezza come va dimostrato che questi requisiti sono soddisfatti. Qualora venga effettuata una verifica, per il calcolo occorre definire quanto segue:

- Calcolo statico o dinamico? Tra le altre cose, occorre chiarire come gestire lo stoccaggio di umidità dei materiali da costruzione e dei dispositivi. Nel quadro dello studio «Feuchte in Niedrigenergiebauten» (Umidità negli edifici a basso consumo energetico) dell'Ufficio federale dell'energia [3], sono stati confrontati calcoli statici e dinamici. Per le tipiche giornate invernali non sono state riscontrate differenze significative. In condizioni estreme, cioè con un'umidità esterna molto bassa, il calcolo dinamico ha portato a un'umidità interna leggermente più elevata.

- Produzione di umidità: le norme SIA non definiscono un valore chiaro e tanto meno un andamento giornaliero relativo alla produzione di umidità. Inoltre, non è chiaro quale frazione della produzione di umidità venga espulsa direttamente (ad esempio, attraverso l'aria aspirata del bagno) e quale frazione raggiunga le camere. È inoltre rilevante se viene impiegata una cappa d'aspirazione ad aria espulsa o ad aria di ricircolo.

- Concetto di ventilazione: è necessario definire l'ordine di grandezza del flusso d'aria esterna e il modo in cui viene controllato o regolato. Occorre inoltre determinare quale infiltrazione aggiuntiva sia presente. Nel caso di un recupero dell'umidità, è necessario definire il grado di recupero di quest'ultima.

Descrizione	Unità	Attività		Giorno intero
		Veglia	Sonno	
Durata dell'attività (presenza secondo la SIA 2024:2015)	[h]	6	8	14
Produzione di umidità per persona e ora (secondo la SIA 180:2014, a 24 °C)	[g/h]	70	45	–
Produzione di umidità sommata per persona per tutta la durata dell'attività	[g/d]	420	360	780
Altre fonti di umidità (in conformità alla SIA 2024:2015: per persona 15 g/h in caso di presenza)	[g/d]	–	–	220
Produzione di umidità per persona e giorno	[g/d]	–	–	1000

Tabella 1.3: Produzione di umidità per persona e giorno in una casa plurifamiliare.

– Differenziazione tra i locali: la SIA 2024 considera l'intero appartamento come una zona contigua avente le stesse condizioni. Le norme sulla ventilazione, tuttavia, presuppongono locali con le porte chiuse. Per la distribuzione di umidità ai singoli locali, ciò costituisce una differenza.

#### **Raccomandazioni per la stagione invernale**

Per le persone sane non vi sono problemi se l'umidità dell'aria interna scende al di sotto del 30% per alcuni giorni all'anno. Tuttavia, le persone con particolari esigenze in termini di salute (pelle, vie respiratorie) possono reagire negativamente a un'umidità relativa bassa.

In linea di principio, in una ventilazione meccanica residenziale non dovrebbe essere installata alcuna umidificazione attiva dell'aria immessa. Sfavorevoli all'umidificazione sono i rischi igienici che

possono manifestarsi se la manutenzione non viene effettuata in modo corretto.

L'umidità dell'aria interna può essere

incrementata tramite le seguenti misure tecniche:

- I flussi d'aria esterna non devono essere sovradimensionati. Ciò significa che devono essere dimensionati in base ai valori minimi della SIA 382/5.
- La ventilazione residenziale deve essere regolata in base al fabbisogno.
- Un recupero combinato di calore e umidità (scambiatore entalpico) può aumentare l'umidità relativa dell'aria interna in inverno del 5 fino al 10% se viene soddisfatto almeno uno dei due punti precedenti.
- Per abitazioni con scarsa occupazione, i flussi d'aria devono essere regolati in base all'utilizzo effettivo e all'occupazione. Questa misura è particolarmente consigliata per le case monofamiliari e gli appartamenti in proprietà per piani.

**Nelle abitazioni vengono prodotti in genere da 1 a 1,5 kg di vapore acqueo al giorno per persona.**

Per quanto riguarda l'umidità, oltre alle misure tecniche sono possibili le seguenti misure operative:

- Regolazione del livello di ventilazione in funzione del fabbisogno.
- Non riscaldare eccessivamente: se per esempio la temperatura dell'aria interna viene aumentata da 21 °C a 24 °C, l'umidità relativa dell'aria interna scende da 35% a 29%.
- Lasciare aperte le porte nell'appartamento: Se è tollerabile in termini di protezione contro il rumore e diffusione degli odori, le porte all'interno dell'appartamento dovrebbero essere lasciate aperte. In questo modo il vapore acqueo si distribuisce in tutto l'appartamento.

Le piante rilasciano vapore acqueo. Tuttavia, il loro effetto non deve essere sopravvalutato. Per esempio, una yucca alta circa 80 cm produce solo 2 g/h di umidità. Si tenga presente inoltre che le piante da vaso possono rilasciare spore di muffa nell'aria interna.

Se per motivi di salute è necessaria un'umidificazione attiva, questa deve avvenire tramite umidificatori puntuali. Tuttavia, a causa del consumo energetico generato dall'umidificazione, tali dispositivi devono essere impiegati con moderazione e solo temporaneamente. Per motivi igienici, è necessario procedere a una pulizia regolare degli umidificatori puntuali.

Asciugare il bucato in casa per aumentare l'umidità dell'aria interna è rischioso. Le notevoli quantità di vapore acqueo rilasciate nel processo sono auspicabili a basse temperature esterne. A temperature esterne più elevate, l'umidità dell'aria interna può raggiungere livelli troppo alti e causare danni alla costruzione o problemi di salute dovuti alla muffa. Se il bucato viene asciugato in casa, l'umidità dell'aria interna deve essere monitorata con un igrometro. Ulteriori informazioni riguardo all'umidità e all'umidificazione sono disponibili in [4].

### **Parquet e materiali da costruzione sensibili all'umidità**

Dal rapporto finale dello studio «Raumlufffeuchte in Wohnneubauten» (Umidità dell'aria interna in nuovi edifici residenziali) del 2007 [5] è possibile riassumere le seguenti affermazioni sul parquet: Il legno è un materiale igroscopico. A causa delle proprietà del legno un parquet senza fughe non è realizzabile. La larghezza della fuga dipende dal tipo di legno; un parametro importante è l'entità del ritiro. Il mantenimento della forma (in caso di ritiro e dilatazione) dipende dalla qualità del legno, tra l'altro anche dalla quota parte di legno giovane.

Un parquet di buona qualità può tollerare un'umidità relativa interna fino al 30%; per brevi periodi sono ammessi anche valori inferiori. La formazione di fughe dipende anche dalla temperatura (riscaldamento a pavimento) e dalla dilatazione nella prima estate. Se si desidera un parquet possibilmente privo di fughe, occorre considerare i seguenti aspetti:

- Scegliere un legno e qualità che in genere sono meno soggetti a fughe. A tale proposito, la quercia, ad esempio, si comporta in modo favorevole, mentre il faggio in modo sfavorevole.
- Scegliere segmenti di parquet di dimensioni ridotte.
- Evitare lacche e sigillanti che incollano i bordi.
- Eventualmente utilizzare un parquet multistrato.
- Per il riscaldamento a pavimento, puntare a una temperatura di mandata non superiore a 30 °C. Il valore massimo è di 35 °C, conforme anche alle prescrizioni energetiche dei Cantoni.

Secondo la SIA 180, cifra 3.2.8, vale quanto segue: «I materiali da costruzione devono essere scelti in modo tale da non subire danni anche senza umidificazione dell'aria». La cifra 4.4 della stessa norma riguarda la prevenzione di cambiamenti eccessivi nella forma di materiali organici. Stando a ciò, il valore medio giornaliero dell'umidità relativa dell'aria interna ad altitudini fino a 800 m sul

livello del mare dovrebbe essere compreso tra il 30 % e il 70 %. Al di sopra degli 800 m sul livello del mare, il limite inferiore e il limite superiore sono ridotti dell'1% di umidità relativa per ogni 100 m di dislivello. I limiti possono essere oltrepassati per non più di cinque giorni consecutivi al mese.

La SIA 180 menziona che l'intervallo di umidità consentito deve essere mantenuto senza umidificazione e deumidificazione attiva. Tuttavia, non fornisce alcuna indicazione concreta su come ciò debba essere garantito o su come debba essere effettuata la verifica. Le misure elencate al paragrafo «Raccomandazioni per la stagione invernale» sono certamente utili, ma non garantiscono la conformità a tale requisito. A seconda delle situazioni, l'impiego di umidificatori mobili per l'aria interna deve essere preso in considerazione.

### **Umidità dell'aria interna elevata**

Un'elevata umidità dell'aria interna è molto più critica dal punto di vista igienico rispetto a una bassa umidità. Soprattutto durante il semestre estivo, nelle abitazioni vi è un eccesso di umidità che deve essere rimosso tramite ventilazione. Con un'umidità dell'aria interna superiore al 70%, il rischio di formazione di muffa aumenta notevolmente. Nella SIA 180:2014, l'argomento è trattato nel capitolo 6.

Un'aria interna molto umida non viene percepita come fresca e a causa della crescita di microrganismi si formano odori. Per gli allergici agli acari della polvere domestica, occorre creare condizioni che ne inibiscano la crescita almeno durante il semestre invernale. Secondo il Centro Allergie Svizzera, ciò è il caso quando l'umidità dell'aria interna è inferiore al 50% – a 19–21 °C nel soggiorno e a un massimo di 19 °C nella camera da letto.

Con una ventilazione residenziale realizzata e gestita a regola d'arte, non insorgono problemi di eccessiva umidità dell'aria all'interno dell'abitazione in caso di normale comportamento dell'utente, ovvero di normale produzione di umidità. Tuttavia, i locali al di fuori della zona ri-

scaldata, come le cantine e i locali di stenditura, possono risultare critici (vedi capitolo 10.3).

### 1.6 Protezione termica estiva

Una buona protezione termica estiva costruttiva è un prerequisito fondamentale per il comfort termico. Indipendentemente dal fatto che sia previsto o meno il raffreddamento, essa si basa su due premesse centrali:

- Una protezione solare esterna mobile, che riduce al minimo l'apporto termico attraverso le superfici vetrate dell'edificio durante il giorno.
- Una capacità termica attiva sufficientemente elevata, in grado di fungere da tampone per l'apporto di calore.

Questi due punti non sono tema di questo libro e non verranno discussi ulteriormente. La rimozione del calore attraverso la ventilazione, invece, è il tema dei capitoli che seguono.

Il carico termico della radiazione solare e il calore prodotto internamente vengono immagazzinati nella capacità termica attiva durante il giorno. Tale accumulo può essere nuovamente scaricato con una ventilazione intensiva durante le ore fresche della notte e del mattino. A condizione che siano soddisfatti i requisiti costruttivi di protezione solare e di capacità termica attiva, la ventilazione libera o naturale è sufficiente per raggiungere un buon comfort termico negli edifici abitativi.

#### Raffrescamento notturno con ventilazione libera

Un raffrescamento notturno efficace richiede generalmente un ricambio d'aria di due o tre volte all'ora. In conformità alla SIA 180:2014, cifra 5.2.3, si raccomanda quanto segue:

La superficie delle aperture deve essere pari ad almeno il 5% della superficie netta di un locale. Per i locali con una profondità fino a 2,5 volte l'altezza del locale, sono sufficienti finestre su una parete esterna. Per profondità dei locali da 2,5 a 5,0 volte l'altezza del locale, le finestre

devono essere presenti su due pareti esterne (opposte o ad angolo). Le finestre basculanti generalmente non offrono la superficie libera necessaria.

#### Raffrescamento notturno con ventilazione meccanica

La ventilazione residenziale permette di ottenere un ricambio d'aria orario compreso tra 0,5 e 1,0. Pertanto, può essere utilizzata per il raffrescamento solo in misura limitata. In combinazione con ottime misure costruttive, può ridurre la temperatura interna massima solo lievemente, da 1 a 3 K circa.

Se la ventilazione meccanica viene utilizzata per il raffrescamento notturno, deve essere gestita come segue:

- Il recupero di calore viene disattivato.
- Una regolazione del fabbisogno tramite la qualità o l'umidità dell'aria interna viene anch'essa disattivata.
- L'apparecchio di ventilazione viene impiegato al livello più alto possibile, ancora accettabile di notte da un punto di vista del rumore.

Nella ventilazione meccanica controllata, se possibile, dovrebbe essere realizzato un preraffrescamento dell'aria esterna mediante uno scambiatore di calore terreno-aria. Nel complesso, tuttavia, è possibile affermare che la ventilazione meccanica controllata dovrebbe essere utilizzata per il raffrescamento notturno solo in casi eccezionali. La sua efficacia rispetto ad altre soluzioni è piuttosto bassa e il dispendio energetico piuttosto elevato.

### 1.7 Controllo/regolazione e gestione

#### Definizioni e requisiti della SIA 382/5

La SIA 382/5 distingue le modalità di esercizio in base alla tabella 1.4. Per una migliore leggibilità, in questo libro vengono utilizzate denominazioni abbreviate. Nel caso di impianti di ventilazione con più livelli, gli utenti devono avere la possibilità di impostare almeno l'esercizio normale e l'esercizio di base. Gli apparecchi

di comando devono essere collocati aperti in posizioni facilmente accessibili all'interno dell'abitazione. Gli impianti di ventilazione devono essere dotati di un interruttore principale o di una spina di rete facilmente accessibili, che possano essere utilizzati per spegnerli o scollegarli dalla rete in caso di incendio o malfunzionamento. Ciò non si applica ai ventilatori per singolo locale, che non sono destinati all'esercizio continuo, come ad esempio i ventilatori d'aspirazione del bagno o WC.

Gli utenti o abitanti devono avere la possibilità di spegnere gli impianti per singolo appartamento e gli apparecchi di ventilazione per singolo locale. Gli impianti per più appartamenti devono poter essere spenti da una persona formata. Nelle zone di pubblico accesso, l'interruttore principale deve essere protetto contro l'utilizzo improprio (ad esempio, dietro un vetro). Valgono inoltre i requisiti della direttiva antincendio DA-AICAA 25-15 (capitolo 4.12).

### 1.8 Protezione antincendio

In linea di principio, le basi legali per la protezione antincendio sono stabilite dai Cantoni. Per quanto concerne l'implementazione, la maggioranza dei Cantoni adotta le norme e le direttive dell'Associazione degli istituti cantonali di assicurazione antincendio (AICAA). La mag-

gior parte dei documenti dell'AICAA sono liberamente disponibili sul sito [www.praever.ch](http://www.praever.ch).

#### AICAA 25-15 Prescrizioni della protezione antincendio – Impianti tecnici d'aerazione

La AICAA 21-15 descrive i requisiti e le misure generali per gli impianti di ventilazione. Per quanto concerne la ventilazione meccanica residenziale, il documento fornisce vari dettagli ed esempi. Vanno citate in particolare le seguenti regole:

- Un appartamento forma un compartimento tagliafuoco. Nelle case plurifamiliari, diversi appartamenti possono essere riuniti in un unico compartimento di ventilazione senza la necessità di installare serrande tagliafuoco. Premessa: la superficie totale del compartimento di ventilazione non supera i 600 m<sup>2</sup>.
- Nel caso di apparecchi di ventilazione che alimentano diversi compartimenti di ventilazione, è necessario installare un dispositivo di rilevamento dei fumi all'ingresso dell'aria aspirata. In caso di rilevamento esso spegne gli impianti di ventilazione e chiude le eventuali serrande tagliafuoco.
- Nel caso di condotte di ventilazione posate in getto e di scambiatori di calore terreno-aria (geotermici), all'interno del compartimento tagliafuoco sono ammesse condotte in plastica di classe RF3.

Modalità di esercizio (forma abbreviata in questo libro)	Definizione secondo la SIA 382/5 e nota
Esercizio di ventilazione normale (esercizio normale)	Esercizio dell'impianto di ventilazione secondo il dimensionamento. Nota: il dimensionamento degli impianti di ventilazione residenziale è lo stesso per l'esercizio diurno e notturno.
Esercizio di ventilazione di base (esercizio di base)	Esercizio di ventilazione ridotto in caso di assenza di persone. Nota: questa modalità di esercizio può essere attivata anche in caso di basso tasso di occupazione, ad esempio se in un appartamento di 4 locali vi è una sola persona durante il giorno.
Esercizio di ventilazione intensivo (esercizio intensivo)	Modalità di ventilazione utilizzata solo eccezionalmente in caso di carico elevato o al di fuori dell'orario di utilizzo effettivo (ad esempio, raffrescamento notturno). Nota: questa modalità di esercizio può essere ottenuta sia con un impianto di ventilazione meccanica che con la ventilazione manuale tramite le finestre.

Tabella 1.4: Modalità di esercizio degli impianti di ventilazione secondo la SIA 382/5.



– A determinate condizioni, l'aria espulsa della cucina, quindi le cappe d'aspirazione, possono essere collegate alla ventilazione meccanica residenziale.

In aggiunta alle norme e alle direttive, o in parte come corrigenda ad esse, esistono diversi documenti FAQ sulla protezione antincendio. Importante per la ventilazione meccanica controllata è il documento «Stand der Technik – Papier Brandschutz in Lüftungen in Wohnbauten» (Stato della tecnica – Documento protezione antincendio per ventilazioni in edifici residenziali) dell'associazione ImmoClima Svizzera. Si tratta di un ausilio per l'applicazione e la progettazione, in particolare per la ventilazione meccanica controllata. Riassume i requisiti dei vari documenti AICAA e documenta le soluzioni tipiche mediante numerosi esempi.

## 1.9 Letteratura

- [1] Ufficio federale della sanità pubblica UFSP: Polveri fini nell'aria di ambienti interni (Foglio d'informazione), Berna, 2008. Download via [www.bag.admin.ch](http://www.bag.admin.ch) → Vivere in salute → Ambiente & salute → Prodotti chimici → Prodotti chimici da A-Z → Polveri fini nell'aria di ambienti interni
- [2] Bionda, Davide et al.; Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmetauschern, Hochschule Luzern, Horw 2012. Download via [www.uwe.lu.ch](http://www.uwe.lu.ch) → Publikationen
- [3] Frei, Beat: Feuchte in Niedrigenergiebauten. Schlussbericht des BFE-Projekts 101843. Hochschule Luzern, Horw, 2007.
- [4] Ufficio federale della sanità pubblica UFSP; Umidificatori dell'aria (Foglio d'informazione), Berna, 2007. Download via [www.bag.admin.ch](http://www.bag.admin.ch) → Vivere in salute → Ambiente & salute → Veleni domestici → Abitare sano → Umidificatori dell'aria
- [5] Ganz, Roland: Schlussbericht Raumlufftfeuchte in Wohnneubauten. Ganz Klima GmbH, Rüti, 2007. Download via [www.bag.admin.ch](http://www.bag.admin.ch) → Vivere in salute → Ambiente & salute → Veleni domestici → Abitare sano → Umidificatori dell'aria



# Concetto di ventilazione, requisiti

## 2.1 Sviluppo del concetto di ventilazione

La norma SIA 180 prevede lo sviluppo di un concetto di ventilazione nel progetto di massima. In linea di principio, il concetto può essere basato sia sulla ventilazione naturale che su quella meccanica. È possibile anche una combinazione dei due concetti, detta anche ventilazione ibrida. Secondo la SIA 382/5, un concetto di ventilazione comprende tutti gli accorgimenti progettuali volti a ottenere un determinato ricambio d'aria.

La possibile implementazione tecnica comprende una varietà di sistemi, partendo dalle finestre apribili manualmente fino ad arrivare agli impianti di climatizzazione. Questo libro si limita alle soluzioni in cui l'aria viene rinnovata in gran parte meccanicamente. Inoltre, vale il principio che l'impianto di ventilazione è in primo luogo responsabile del ricambio d'aria necessario dal punto di vista igienico e di fisica della costruzione. Le funzioni di riscaldamento e raffreddamento dovrebbero essere separate dal rinnovo dell'aria. Le eccezioni a questa regola sono trattate nei capitoli 1.6 Protezione termica estiva, 10.4 Riscaldamento ad aria e 9.10 Apparecchi multifunzionali. Per lo sviluppo di un concetto di ventilazione si raccomanda di procedere come segue:

1. Chiarire le condizioni quadro e i requisiti
2. Determinare la circolazione dell'aria nell'abitazione
3. Determinare la circolazione dell'aria nel locale
4. Selezionare il sistema di ventilazione
5. Definire il tipo di estrazione dell'aria del piano cottura

Le condizioni generali e i requisiti sono trattati nei capitoli da 2.2 a 2.13. Per i requisiti acustici, si veda il capitolo 11.2. La circolazione dell'aria nell'abitazione e nel

locale è oggetto del capitolo 3. Per la scelta del sistema giusto non esiste una ricetta, in quanto le preferenze personali giocano un ruolo decisivo. Tuttavia, oltre a una panoramica generale, il capitolo 4 fornisce anche informazioni per un confronto tra i sistemi e per la selezione di uno di essi. L'estrazione dell'aria della zona di cottura è trattata nel capitolo 10.1.

## 2.2 Occupazione e utilizzo

Anche se nel presente documento vengono trattati solo gli spazi abitativi di case monofamiliari e plurifamiliari, lo spettro dei possibili utilizzi è enorme. Si va dalle economie domestiche composte da una sola persona agli appartamenti condivisi, alle famiglie patchwork, ai genitori single, al home office e allo stereotipo della piccola famiglia con due genitori e due figli. Una qualità essenziale di un'abitazione è quella di essere adatta a diverse forme di vivere e di abitare, che per loro stessa natura sono in continua evoluzione. Anche questo aspetto deve essere preso in considerazione nel concetto di ventilazione.

Ciononostante, è opportuno mantenere le specifiche di progettazione entro un intervallo praticabile. A questo proposito, la tabella 2.1 può essere d'aiuto. Essa mostra, da un lato, l'occupazione media delle abitazioni in Svizzera nel 2019. Fornisce inoltre suggerimenti per l'occupazione, che dovrebbe essere ipotizzata al momento del dimensionamento di un impianto di ventilazione. Il valore più alto è determinante per la progettazione del flusso d'aria. Il valore più basso serve come base per un esercizio ridotto, che può essere utilizzato per evitare un'umidità dell'aria interna eccessivamente bassa durante la stagione fredda. Naturalmente, ogni committente è libero di specificare utilizzi divergenti per la progettazione.

Il messaggio principale della tabella 2.1 è il seguente: quanto più grande è l'abita-

zione e quanto più bassa è l'occupazione, tanto più flessibile deve poter essere adattato l'esercizio dell'impianto di ventilazione al fabbisogno. In questo modo: a) è possibile ottenere una buona qualità dell'aria interna con un'occupazione elevata e b) il valore limite per l'umidità minima dell'aria interna in inverno può essere rispettato con un'occupazione ridotta. Oltre all'occupazione dell'intera abitazione, si pone la questione dell'utilizzo e dell'occupazione dei singoli locali. Nelle abitazioni classiche, ad esempio, una camera può essere utilizzata per dormire, giocare, sbrigare le faccende domestiche, come home office, quale locale hobby o per riposare. Tuttavia, l'utilizzo esatto di una camera è difficilmente prevedibile a lungo termine. Anche in una famiglia stereotipata, non sempre i genitori dormono nella camera da letto grande e i figli in ciascuna delle camere piccole. A volte i genitori si accontentano della camera più piccola o due bambini condividono una camera piccola. Pertanto, in generale e negli alloggi a pigione moderata, ogni camera dovrebbe poter essere utilizzata come camera da letto per due persone e come camera per le attività diurne di una persona. Se i progettisti della ventilazione definiscono a loro discrezione le camere per due genitori e per un bambino ciascuno, si tratta in primo luogo di un assunto e in secondo luogo di una riduzione del valore, in quanto limita l'utilizzo dei locali.

Nel caso di case monofamiliari e di edifici abitativi di standard elevato, possono aggiungersi utilizzi speciali come camere per la terapia o la musica. Tali camere potrebbero dover essere trattate in modo particolare per quanto riguarda il comfort.

### 2.3 Qualità dell'aria interna percepita

In generale, si raccomanda di definire la qualità dell'aria interna in base ai requisiti minimi previsti dalla SIA 382/5. Essi prevedono un contenuto di CO<sub>2</sub> compreso tra 1000 e 1400 ppm. Nel caso standard, questo valore dovrebbe poter essere mantenuto nelle camere a porte interne chiuse. In base a ciò, è possibile definire un flusso d'aria standard minimo di 30 m<sup>3</sup>/h per camera. Questo valore verrà utilizzato a seguire in maniera ripetuta.

**Valore standard per il flusso d'aria immessa per camera: 30 m<sup>3</sup>/h**

Negli edifici esistenti, in caso di soluzioni minime economicamente vantaggiose o di ventilazione con compensatori attivi, è possibile definire un contenuto di CO<sub>2</sub> più elevato tramite una convenzione d'utilizzazione. È pure possibile stabilire che le 1400 ppm devono essere rispettate solo in caso di camere a porte interne aperte. Tuttavia, non è consigliabile stabilire valori superiori a 1800 ppm. Da un lato, la qualità dell'aria diminuirebbe in modo significativo, dall'altro, la protezione contro l'umidità dovrebbe essere controllata in modo particolare.

**Non è compito della progettazione della ventilazione determinare o limitare l'utilizzo.**

Tabella 2.1: Occupazione media delle abitazioni in Svizzera e suggerimenti per il tasso di occupazione di persone ipotizzato per il dimensionamento degli impianti di ventilazione.

Standard	Dimensione dell'appartamento [numero di locali]					
	1-1,5	2-2,5	3-3,5	4-4,5	5-5,5	6-6,5
Media svizzera 2019 [n. di persone]	1,2	1,4	1,9	2,5	2,8	3,0
Occupazione elevata (p. es. abitazioni sociali) [n. di persone]	1-2	1-2	2-3	3-4	4-5	4-6
Occupazione media (appartamento in affitto tipico) [n. di persone]	1	1-2	1-2	2-3	2-4	3-5
Occupazione bassa (p. es. segmento di prezzo elevato, case monofamiliari) [n. di persone]	1	1	1-2	1-3	2-4	2-5

In caso di esigenze particolari, è possibile concordare un contenuto di CO<sub>2</sub> inferiore o un flusso d'aria superiore. In questo caso, tuttavia, è importante considerare che l'umidità dell'aria interna diminuisce durante il periodo di riscaldamento, il che può rendere necessario l'utilizzo di umidificatori.

Nelle abitazioni pianificate per un'occupazione ridotta, le emissioni di sostanze nocive provenienti dai materiali da costruzione o dall'arredamento possono rappresentare un significativo carico dell'aria interna. Ciò avviene, ad esempio, se la superficie netta per persona è superiore a circa 50 m<sup>2</sup> e/o se sono previsti brevi periodi di occupazione. Questo vale, ad esempio, per le case di vacanza o per le abitazioni che sono occupate regolarmente per meno di 10 ore al giorno. Per tali utilizzi, occorre concordare se è necessaria una ventilazione minima al di fuori del tempo di utilizzo o se il dimensionamento deve tener conto di un supplemento per le emissioni di sostanze nocive. In questo caso, tuttavia, è necessario tenere conto del fatto che un flusso d'aria più elevato comporta un'umidità dell'aria interna ridotta.

## 2.4 Protezione contro l'umidità e umidità dell'aria interna

La protezione contro l'umidità consiste nell'evitare la formazione di condensa superficiale e di muffa. A tale proposito, le superfici fredde degli elementi costruttivi dell'edificio e l'eccessiva umidità interna rappresentano un rischio. La figura 2.1 mostra l'umidità massima ammissibile dell'aria interna in condizioni standard e secondo le ipotesi della SIA 180:2014, cifra 6.2. In questo caso si ipotizza che la temperatura dell'aria interna sia di 21°C fino a una temperatura esterna di 14°C. A temperature esterne più elevate, essa aumenta costantemente fino a 24°C. Per quanto concerne gli elementi costruttivi nelle nuove costruzioni, i requisiti standard secondo la SIA 180 sono generalmente soddisfatti. Tuttavia, negli edifici esistenti possono presentarsi punti deboli, come i ponti termici, che richiedono un'umidità interna più bassa. Ciò deve essere verificato con il fisico della costruzione.

Più bassa è la temperatura esterna, più bassa deve essere l'umidità relativa interna per evitare il rischio di formazione di muffe. Allo stesso tempo, tuttavia, deve essere mantenuta l'umidità minima dell'aria interna (fino a 800 m s.l.m. 30%, vedi capitolo 1.5). In base a questi due requisiti opposti, viene definito l'intervallo

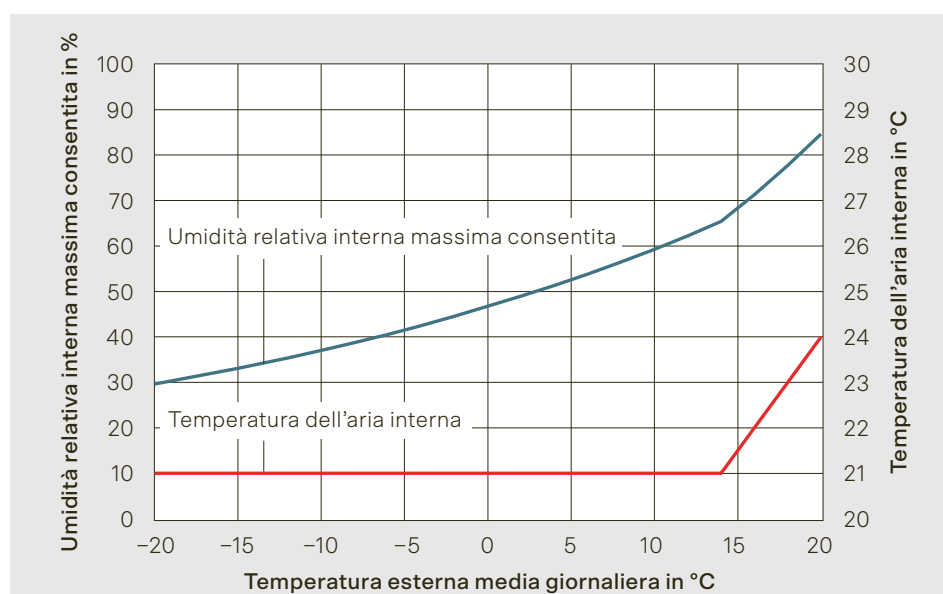


Figura 2.1: Umidità massima consentita dell'aria interna per quanto riguarda la protezione contro l'umidità in condizioni standard secondo la SIA 180:2014 in funzione della temperatura dell'aria esterna e interna.

**Esempio di lettura 1 per la figura 2.2**

Un impianto di ventilazione è in esercizio continuo e fornisce 30 m<sup>3</sup>/h per persona. La protezione contro l'umidità è rispettata in tutti i casi indicati. Con il recupero dell'umidità, a Zurigo non si raggiunge più il 30% di umidità dell'aria interna richiesto a partire da -1°C di temperatura esterna. A Davos, l'umidità minima relativa, secondo il capitolo 1.5, è del 22%.

Questo valore non è più rispettato al di sotto di -8°C. La durata massima consentita di non raggiungimento pari al 10%, indicata nel capitolo 1.5, sarà probabilmente rispettata. Senza il recupero di umidità, è probabile che i periodi con umidità dell'aria interna eccessivamente bassa aumentino in entrambe le località.

**Esempio di lettura 2 per la figura 2.2**

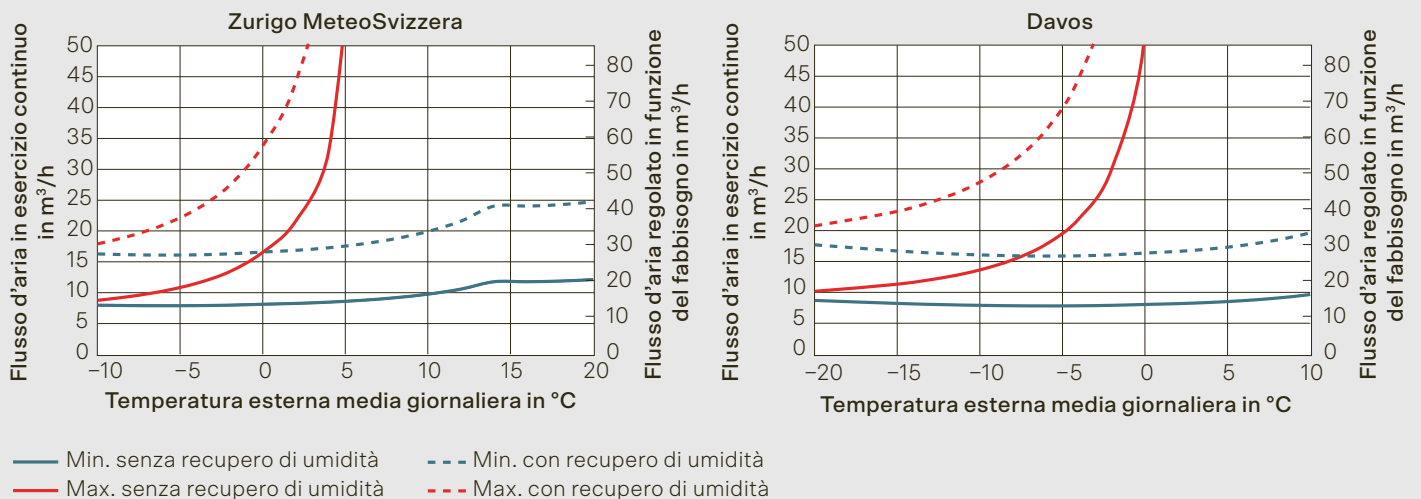
L'impianto di ventilazione è dimensionato a 30 m<sup>3</sup>/h per persona, ma fornisce l'aria in base al fabbisogno. Senza recupero di umidità, la protezione contro l'umidità è quindi garantita tutto l'anno. Con il recupero di umidità, è necessario adottare misure nel caso di temperature esterne superiori a +5°C per evitare danni da umidità. Possibili misure sono l'aumento del tempo di esercizio e/o la disattivazione del recupero di umidità, ad esempio tramite il bypass o la velocità di rotazione del rotore.

L'umidità minima dell'aria interna con il recupero di umidità può essere mantenuta senza problemi. In assenza di recupero di umidità, tuttavia, il «criterio del 10%» viene a malapena soddisfatto.

In questo caso sarebbero necessari ulteriori chiarimenti o misure.

Quando si utilizza la figura 2.2, occorre sempre verificare se le ipotesi fatte rappresentano una buona approssimazione. A seconda dell'utilizzo, ad esempio, la produzione di umidità per persona e giorno può essere superiore a 1,2 kg. Nel caso di impianti di ventilazione senza recupero di umidità, solitamente ciò non comporta problemi. Nel caso di impianti con recupero di umidità, tuttavia, è necessario prevedere misure di protezione contro l'umidità. Dalla figura 2.1 si può dedurre che il valore nominale per l'attivazione di queste misure deve dipendere dalla temperatura esterna.

Figura 2.2: Flusso d'aria minimo necessario e massimo consentito per persona in base all'umidità dell'aria interna (ipotesi e condizioni quadro vedi testo).



ammissibile del flusso d'aria. In questo contesto vengono presi in considerazione anche il controllo, la regolazione e il recupero dell'umidità.

La protezione contro l'umidità interna all'abitazione deve essere garantita nel settore più elevato di produzione di umidità. A tale proposito, si consiglia di assumere 1,2 kg per persona al giorno. L'umidità minima dell'aria interna, invece, deve essere garantita nel settore più basso di produzione di umidità interna. Secondo il capitolo 1.5, in questo caso si dovrebbe ipotizzare 1,0 kg per persona al giorno.

La figura 2.2 mostra, sulla base dei dati climatici di Zurigo e Davos, il flusso d'aria minimo necessario per persona per la protezione contro l'umidità e il flusso d'aria massimo ammissibile per persona con il quale è possibile mantenere l'umidità relativa interna minima. La produzione di umidità corrisponde ai valori suggeriti qui sopra. La temperatura dell'aria interna e l'umidità interna massima consentita corrispondono a quelle indicate nella figura 2.1.

La scala di sinistra rappresenta il flusso d'aria ad esercizio costante durante tutta la giornata (esercizio continuo). La scala di destra rappresenta il flusso d'aria di un impianto regolato in funzione del fabbisogno. Si presume che

- la ventilazione è in funzione solo quando vi è presenza di persone e
- vi è presenza di persone per 14 ore al giorno (ore a pieno carico, cfr. cap. 1.5).

La figura 2.2 mostra anche i flussi d'aria consentiti o necessari con e senza recupero di umidità. Con il recupero di umidità, si presume che il 60% dell'umidità presente nell'aria aspirata venga trasferita all'aria immessa. In particolare, nel caso del recupero di umidità, è necessario valutare quale frazione del flusso d'aria entra ed esce dall'abitazione per infiltrazione (perdite nell'involucro dell'edificio). Si ipotizza che sia il 15% del flusso d'aria trasportato meccanicamente.

Questa infiltrazione si aggiunge ai flussi d'aria indicati nella figura 2.2 e di conseguenza rimuove ulteriore umidità.

## 2.5 Finestre

Finestre apribili ed elementi come ante e clappe di ventilazione sono un'aggiunta essenziale a tutti i sistemi trattati in questo libro. Possono essere impiegati in particolare per la ventilazione intensiva, il raffrescamento notturno e la protezione contro l'umidità. Inoltre, non va trascurato un importante fattore psicologico: la ventilazione meccanica viene accettata decisamente meglio se gli utenti hanno la possibilità di aprire una finestra in qualsiasi momento. Poco importa se l'opzione viene utilizzata o meno.

Di conseguenza, la SIA 382/5, alla cifra 4.1.7, richiede che nei locali con finestre o ante di ventilazione almeno uno di questi elementi possa essere aperto in qualsiasi momento. Ciò vale anche se, ad esempio, la pura ventilazione tramite le finestre o il raffrescamento notturno tramite le finestre sono fuori questione a causa del rumore esterno.

La probabilità che le finestre a ribalta siano permanentemente aperte è maggiore rispetto alle finestre senza questa funzione. Per questo motivo, talvolta si raccomanda di non installare dispositivi che permettono la posizione a ribalta. Questa tesi viene qui chiaramente respinta. In primo luogo, equivarrebbe a un «processo alle intenzioni» nei confronti degli utenti e, in secondo luogo, non vi è alcuna ragione per cui le finestre a ribalta non debbano essere lasciate aperte per periodi più lunghi al di fuori della stagione di riscaldamento. Inoltre, le finestre a ribalta offrono una protezione nettamente migliore contro le intemperie e l'effrazione rispetto alle finestre a bilico.

A seconda delle esigenze o del livello di comfort, le finestre o le ante di ventilazione possono essere dotate di azionamenti automatici. In combinazione con un sistema di controllo/regolazione adeguato, è possibile migliorare notevolmente il raffrescamento notturno e la protezione contro l'umidità e le intemperie.

## 2.6 Zona di permanenza

Nella zona di permanenza devono essere soddisfatti tutti i requisiti di comfort. La SIA 180 definisce la zona di permanenza attraverso distanze dagli elementi costruttivi e dagli elementi di passaggio d'aria. Si raccomanda di trattare esplicitamente la zona di permanenza nel concetto di ventilazione. La figura 2.3 mostra un esempio di un locale di 12 m<sup>2</sup> in cui, secondo la SIA 180, solo il 37% della superficie netta rimane come zona di permanenza. Per i committenti e gli utenti, questo spazio molto limitato, in cui sono soddisfatti i requisiti di comfort, è probabilmente insoddisfacente. Negli edifici conformi agli standard di costruzione odierni, tali requisiti sono soddisfatti senza problemi anche a distanze inferiori dalle pareti interne, dalle pareti esterne ben isolate e dalle finestre. In caso di distanze inferiori o di una zona di permanenza più ampia, tuttavia, è importante la posizione dell'elemento di passaggio dell'aria immessa. A seconda della temperatura e della velocità dell'aria immessa, esso deve essere posizionato a una distanza compresa tra 0,5 e 1,0 m dalla zona di permanenza (cfr. anche il capitolo 3.7).

## 2.7 Manutenzione

Nel caso di abitazioni di proprietà privata, deve essere chiarito chi è responsabile dei lavori di manutenzione (manutenzione, ispezione, riparazione) della ventilazione. Un elenco di compiti tipici è riportato al capitolo 13.6. Nel caso di ap-

partamenti in affitto, si raccomanda che tutti i lavori di manutenzione siano organizzati dal locatore o dalla società di gestione incaricata.

Indipendentemente dalla situazione di proprietà, occorre chiarire i seguenti aspetti:

- È permesso accedere agli appartamenti per la sostituzione dei filtri e per piccoli interventi di ispezione e pulizia degli apparecchi di ventilazione? Se sì: con quale frequenza? A seconda del tipo di apparecchio e della qualità del filtro, si devono prevedere da due a tre interventi di manutenzione all'anno.
- È permesso l'accesso alle singole camere, alla cucina e ai locali sanitari per la sostituzione dei filtri e per piccoli lavori di ispezione e pulizia? Se sì: con quale frequenza? Nel caso di apparecchi di ventilazione per singolo locale ed elementi dell'involucro di passaggio d'aria, ad esempio, si devono prevedere da due a quattro interventi di manutenzione all'anno.

Le indicazioni e le preferenze possono influenzare la scelta del sistema.

## 2.8 Rapporti di pressione

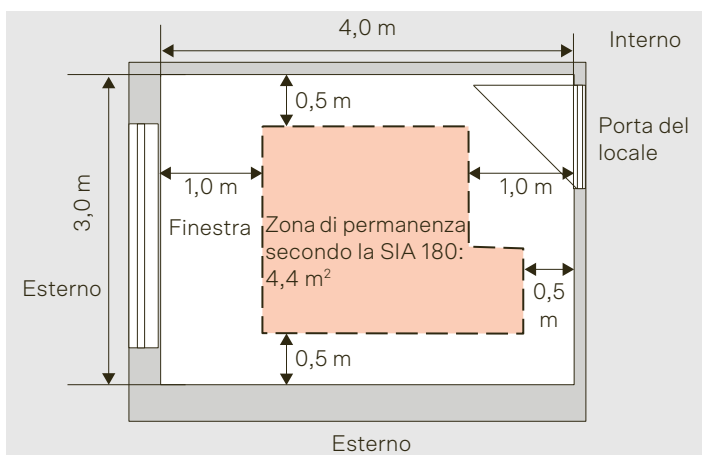
Gli impianti di ventilazione influenzano i rapporti di pressione nell'abitazione. Ciò può a sua volta influenzare il funzionamento di dispositivi come stufe o caminetti (vedi anche capitolo 10.2). Indicazioni sui rapporti di pressione per l'esercizio di tali dispositivi possono influenzare la scelta del sistema o richiedere misure particolari.

Per quanto concerne i rapporti di pressione, la SIA 382/5 stabilisce i seguenti requisiti che devono essere presi in considerazione nel concetto di ventilazione:

4.4.5.2 *In assenza di un accordo specifico, le installazioni di ventilazione in un'unità abitativa non devono causare né una sovrappressione né una sottopressione.*

4.4.5.4 *Un eventuale sottopressione o sovrappressione non deve superare un livello tale da permettere agli utenti/abitanti fisicamente deboli di aprire porte e fine-*

Figura 2.3: Esempio di zona di permanenza secondo la SIA 180 in un locale (pianta).



stre in qualsiasi momento. Una sottopressione o sovrappressione non deve portare al ferimento di una persona al momento dell'apertura di una finestra o una porta (p. es. durante l'accensione di cappe d'aspirazione ad aria espulsa).

4.4.5.5 Nel caso di impianti che possono generare una sottopressione o una sovrappressione, occorre chiarire i rischi legati alla fisica della costruzione.

Nelle abitazioni sono talvolta presenti dispositivi che provocano una sottopressione o una sovrappressione, come ad esempio gli impianti d'aspirapolvere centralizzati. In questo caso è necessario chiarire come tali dispositivi possano venire integrati nel concetto di ventilazione. L'aria aspirata della zona di cottura viene trattata separatamente nel capitolo 10.1. Informazioni relative alle infiltrazioni indesiderate si trovano nel capitolo 2.10.

## 2.9 Influenze esterne

Le influenze esterne comprendono la qualità dell'aria esterna, il rumore esterno e il clima. Nel concetto di ventilazione, occorre valutare se, a causa delle immissioni dall'esterno, siano necessarie limitazioni per la ventilazione tramite le finestre. Ciò può avere un impatto sul concetto della protezione termica estiva (vedi capitolo 1.6).

Condizioni climatiche particolari, ad esempio una forte esposizione al vento o basse temperature esterne, possono limitare l'utilizzo di alcuni sistemi di ventilazione o richiedere misure supplementari. Ciò può essere il caso, ad esempio, per gli impianti d'aspirazione o per gli apparecchi di ventilazione per singolo locale. In particolare, nelle zone ad alto rischio di radon (vedi capitolo 1.4) o nelle case monofamiliari esistenti con elevate concentrazioni di radon misurate, gli impianti d'aspirazione sono critici.

## 2.10 Ermeticità all'aria della superficie dell'involucro

Non solo gli involucri esterni degli edifici devono essere ermetici, ma anche le superfici di separazione tra gli appartamenti. Eventuali perdite possono avere le seguenti conseguenze indesiderate:

- **Rischio di danni costruttivi:** se in inverno l'aria interna fluisce verso l'esterno attraverso le perdite, l'umidità può condensare sugli elementi costruttivi freddi o all'interno di essi. Questa condensa, dovuta a perdite d'aria, può causare ingenti danni costruttivi.

- **Trasmissione del suono:** dove passa l'aria, passa anche il suono. Pertanto, le perdite indeboliscono la protezione dal rumore verso l'esterno ed eventualmente anche tra gli appartamenti.

- **Correnti d'aria:** l'aria fredda in entrata può provocare correnti d'aria.

- **Trasmissione di odori:** in caso di perdite tra gli appartamenti, gli odori possono essere trasmessi.

- **Qualità dell'aria igienicamente problematica:** le fessure e le fughe dell'involucro dell'edificio e delle zone destinate alle installazioni sono spesso sporche e difficilmente soddisfano i requisiti igienici previsti per gli impianti di ventilazione. Queste potenziali vie di circolazione parassitaria dell'aria di solito non possono essere né controllate né pulite. Oltre alle particelle (ad es. polvere di cantiere, prodotti della decomposizione di insetti morti), anche le emissioni di materiali da costruzione possono entrare nell'abitazione attraverso queste vie.

- **Ingresso del radon:** il radon può entrare nell'abitazione attraverso le perdite tra una cantina contaminata dal radon e i locali abitati. Esempi al riguardo sono le porte non ermetiche delle cantine e le zone non ermetiche destinate alle installazioni.

- **Ricambio d'aria maggiorato:** quando le temperature esterne sono basse o vi è un forte vento, il ricambio d'aria attraverso le perdite aumenta. Ne consegue un aumentato fabbisogno energetico e una bassa umidità dell'aria interna.



La figura 2.4 mostra un esempio di zona destinata alle installazioni con perdite in una casa plurifamiliare. Attraverso questa via contaminata entra nell'appartamento una quantità considerevole di aria parassitaria, soprattutto quando la cappa d'aspirazione è in funzione.

Nel caso di impianti d'aspirazione e di impianti con recupero di umidità (scambiatori entalpici), per quanto riguarda l'ermeticità dell'involucro dell'edificio dovrebbero essere richiesti i valori mirati della SIA 180.

I requisiti per l'ermeticità della superficie dell'involucro si trovano nella SIA 180:2014, cifra 3.6. Ciò ha conseguenze soprattutto per gli edifici esistenti: se l'involucro dell'edificio non è ermetico, l'utilizzo di impianti d'aspirazione è escluso e i vantaggi del recupero di umidità sono notevolmente ridotti. Poiché i requisiti della norma non sono molto esigenti, si consiglia di puntare ai valori mirati della SIA 180 anche nel caso di altri impianti di ventilazione. In ogni caso vale: le installazioni di ventilazione non devono indebolire l'ermeticità all'aria. I vani verticali negli edifici plurifamiliari sono spesso un punto debole.

Figura 2.4: Esempio di zona d'installazione sporca, attraverso la quale l'aria dovuta a perdite viene trasferita da un appartamento all'altro. (Fonte: Scuola Universitaria Professionale di Lucerna – Hochschule Luzern)



## 2.11 Zone di installazione e protezione antincendio

Nell'ambito del concetto di ventilazione, è necessario chiarire quali sono le possibili zone di installazione (vani verticali, distribuzione orizzontale, ubicazione degli apparecchi) per i dispositivi di ventilazione. Il fabbisogno di spazio viene definito

nell'ambito della selezione del sistema. Negli edifici esistenti, la disponibilità di spazio può limitare la scelta del sistema. Oltre allo spazio disponibile per l'installazione, deve essere garantita anche l'accessibilità per la manutenzione. Nel caso degli edifici plurifamiliari, esiste anche una relazione causale tra la protezione antincendio e il concetto di ventilazione. Pertanto, nell'ambito del concetto di ventilazione, deve aver luogo uno scambio con l'esperto in materia di protezione antincendio.

## 2.12 Locali secondari e locali di minor importanza

In linea di principio i locali esterni all'involucro termico dell'edificio non possono venire connessi a una ventilazione meccanica residenziale. Indicazioni sulla climatizzazione di tali locali sono riportate nel capitolo 10.3.

Le specifiche per la ventilazione dei locali secondari e dei locali di minor importanza all'interno dell'involucro termico dell'edificio nella SIA 382/5 sono mantenute relativamente aperte. Per i locali senza finestre con produzione di umidità, è indispensabile un'aria aspirata meccanicamente. I corrispondenti dispositivi possono essere impiegati a esercizio continuo o intermittente (eventualmente con un proprio flusso d'aria di compensazione).

Nel caso di locali deposito e ripostigli, i requisiti di comfort determinano se e come vengono ventilati. Per mantenere alta la qualità dell'aria, può essere appropriato un piccolo flusso d'aria aspirata, da 10 a 20 m<sup>3</sup>/h. In questo modo, ad esempio, si eliminano gli odori emanati dai vestiti o dalle scarpe.

Quando si tratta di rimuovere carichi termici, ad esempio di frigoriferi e congelatori o di lavatrici e asciugatrici, la situazione è molto meno chiara. Con i 10 a 20 m<sup>3</sup>/h suggeriti, è possibile asportare carichi termici fino a un massimo di circa 50 W di potenza continua. Un'asciugatrice emette un carico termico significativamente maggiore, anche se non in



esercizio continuo. Da un punto di vista energetico ed economico, in ogni caso non ha senso aumentare il flusso d'aria totale di un'abitazione solo per la presenza di una lavanderia senza finestre. In questi casi è necessario trovare altre soluzioni. Si potrebbe per esempio trovare un'altra collocazione per gli apparecchi o installare un ventilatore d'aspirazione separato con un proprio flusso d'aria di compensazione.

### **2.13 Energia, ecologia e standard di costruzione**

Nel contesto del concetto di ventilazione deve essere chiarito se vi sono requisiti particolari relativi al fabbisogno energetico o all'ecologia. Gli standard di costruzione come Minergie, SNBS, Passivhaus o LEED prevedono requisiti propri per la ventilazione. Inoltre, la ventilazione rientra nei criteri di valutazione.

## Distribuzione dell'aria

### 3.1 Circolazione generale dell'aria nelle abitazioni

La circolazione dell'aria nei locali abitativi è dovuta principalmente alla convezione termica. Oltre ai movimenti dell'aria causati dalle persone e dal riscaldamento, come indicato nella figura 3.1, anche gli apparecchi, le finestre e altre fonti o dissipatori di calore provocano circolazioni dell'aria. Nei locali abitati, questo movimento dell'aria indotto termicamente è sempre di molte volte superiore al flusso d'aria immesso meccanicamente, che tipicamente è di 30 m<sup>3</sup>/h. Pertanto, l'aria nel locale è solitamente molto miscelata ed è di secondaria importanza la posizione dei passaggi d'aria immessa. I limiti di questo principio sono discussi nel capitolo 3.9.

A porte aperte, l'aria si mescola in tutta l'abitazione per effetto della convezione. La figura 3.2 mostra un appartamento di 4½ locali in cui sono stati studiati in dettaglio il movimento e la qualità dell'aria

interna [1]. In questo esempio, i passaggi d'aria immessa sono collocati solo nelle camere da letto, ma non nel soggiorno e nella sala da pranzo. Per le indagini si è ipotizzato che due persone siano sedute nel soggiorno. La concentrazione di CO<sub>2</sub> rappresentata mostra che l'aria nella zona di permanenza si mescola quasi perfettamente ovunque. I risultati di questa simulazione sono stati confermati dalle misurazioni. È importante considerare che il flusso d'aria che circola nel corridoio è circa 10 volte superiore al flusso d'aria immessa dell'intero appartamento.

Si noti inoltre che il soggiorno dell'esempio è insolitamente lungo. Poiché l'aria è ben miscelata anche in questa particolare geometria, si può supporre che ciò avvenga praticamente in tutti gli appartamenti.

Dall'esempio si può concludere che, a porte aperte, in tutto l'appartamento vige una qualità dell'aria all'incirca uguale. Ciò corrisponde anche a quanto si osserva quotidianamente: se nei locali a porte aperte vengono generati forti odori, come ad esempio durante la preparazione della fondue, questi si diffondono in pochi minuti in tutto l'appartamento. A porte aperte, sarebbe quindi sufficiente introdurre l'aria immessa in un unico punto dell'appartamento. Da lì verrebbe distribuita automaticamente, soprattutto grazie ai movimenti termici dell'aria.

Figura 3.1: Movimento dell'aria nei locali – la convezione in corrispondenza di fonti di calore e di freddo crea flussi d'aria significativamente più grandi del flusso d'aria immessa.

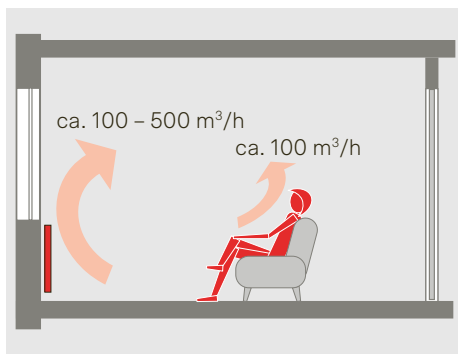
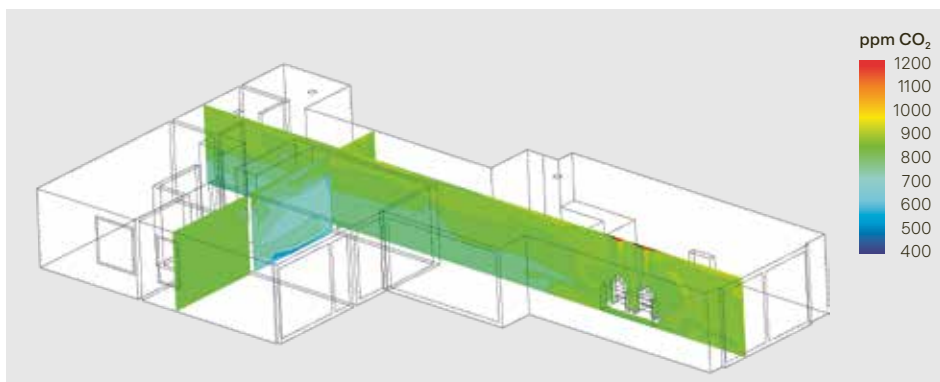


Figura 3.2: Concentrazione di CO<sub>2</sub> con circolazione libera in un soggiorno. (Fonte: AFC AG, [1])



Le osservazioni tratte dall'esempio possono essere generalizzate:

- Attraverso grandi aperture (porte aperte, finestre) avviene un forte scambio d'aria tra locali adiacenti. La forza motrice di questa circolazione dell'aria bidirezionale deriva dalla differenza di temperatura tra i locali.
- Attraverso piccole aperture (passaggi d'aria, perdite) l'aria passa in quantità limitata e in una sola direzione. La forza motrice di questa circolazione dell'aria proviene da ventilatori o, nel caso della ventilazione naturale, dal vento.

La figura 3.3 illustra tutte le possibili disposizioni delle aperture in un'abitazione. Ogni freccia dritta rappresenta una possibile piccola apertura. Le coppie di frecce possono essere costituite da un'unica apertura grande o da due piccole. Con questo approccio generale, è possibile descrivere le ventilazioni meccaniche, naturali e ibride.

Il concetto di ventilazione definisce le aperture necessarie per il ricambio d'aria previsto e le direzioni della circolazione dell'aria. Tuttavia, può essere definito anche dove volutamente non è prevista alcuna circolazione dell'aria. A tale proposito, valgono i seguenti principi:

- Nelle camere e nel soggiorno viene immessa aria dall'esterno non contaminata o da altri locali con una buona qualità dell'aria, almeno durante l'utilizzo.
- L'aria che defluisce dalle camere e dal soggiorno viene convogliata in altri locali o verso l'esterno.
- Nel bagno, nella doccia, nel WC e nella cucina, l'aria viziata viene convogliata verso l'esterno, almeno durante l'utilizzo. L'aria di compensazione proviene da altri locali o dall'esterno.

Queste considerazioni offrono un ampio margine di manovra nella determinazione della distribuzione dell'aria. Nei capitoli da 3.3 a 3.6 vengono discussi i principi più comuni.

### 3.2 Volume del locale e profilo temporale del flusso d'aria

Al momento dell'ingresso in un locale non occupato o dopo una ventilazione intensiva tramite le finestre, la qualità dell'aria è solitamente buona. Tuttavia, essa diminuisce con il passare del tempo. Quanto più piccolo è il locale e quante più persone sono presenti, tanto più rapidamente si deteriora la qualità dell'aria interna. Questa correlazione può essere descritta con la seguente formula, che si trova anche nella SIA 382/1:

$$C_{AMB,t} = \left( C_{AMB,0} - C_{IMM} - \frac{0,001 \cdot G}{q_{v,IMM}} \right) \cdot e^{-\frac{q_{v,IMM}}{V_L} \cdot t} + C_{IMM} + \frac{0,001 \cdot G}{q_{v,IMM}}$$

Dove vale

- $C_{AMB,t}$  Concentrazione di agenti inquinanti nel locale al tempo  $t$ , in ppm
- $C_{AMB,0}$  Concentrazione di agenti inquinanti nel locale al tempo  $t = 0$ , in ppm
- $C_{IMM}$  Concentrazione di agenti inquinanti nell'aria immessa, in ppm
- $G$  Emissione di agenti inquinanti nel locale, in l/h
- $q_{v,IMM}$  Flusso d'aria immessa, in  $m^3/h$
- $V_L$  Volume del locale, in  $m^3$
- $t$  Tempo, in h

Con questa correlazione si può dimostrare, tra l'altro, come le porte aperte dei locali influiscano sulla qualità dell'aria interna.

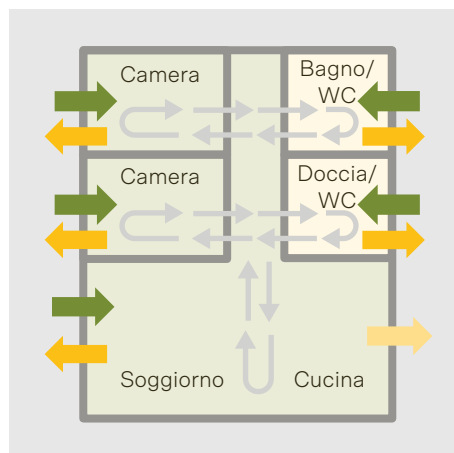


Figura 3.3: Possibili posizioni di aperture piccole e grandi.  
 ■ Aria immessa/aria esterna ■ Aria aspirata ■ Aria interna/ Aria di transito ■ Aria aspirata del piano cottura

A tale scopo, la figura 3.4 illustra quattro casi:

- Ventilazione intensiva tramite le finestre e camere a porte chiuse durante la notte
- Ventilazione intensiva tramite le finestre e camere a porte aperte durante la notte
- Ventilazione meccanica e camere a porte chiuse durante la notte
- Ventilazione meccanica e camere a porte aperte durante la notte

Le ulteriori ipotesi per l'esempio della figura 3.4:

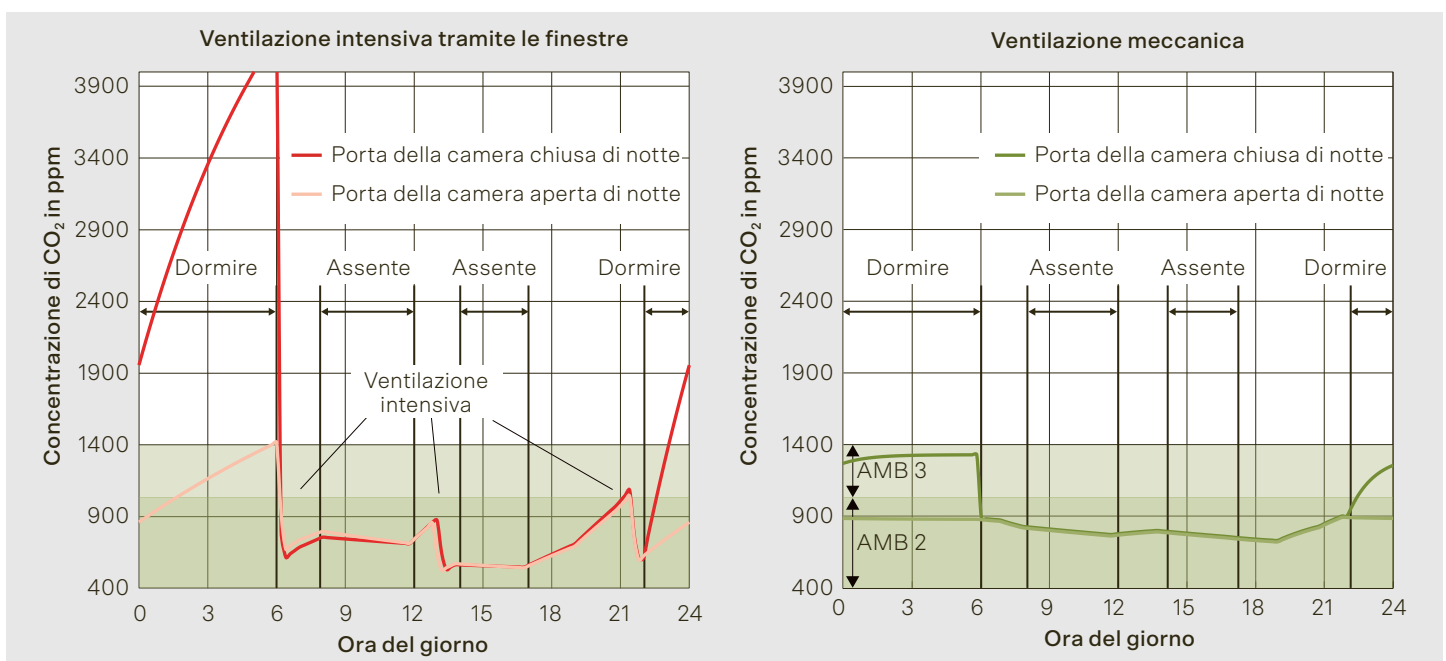
- Appartamento di 3½ locali e 70 m<sup>2</sup>.
- Occupazione da parte di due adulti con orari di permanenza secondo la SIA 2024 (al giorno 6 ore di veglia, 8 ore di sonno).
- Entrambe le persone utilizzano la stessa camera da letto di 12 m<sup>2</sup>.
- Durante il giorno, tutte le porte delle camere sono aperte, il che significa che in tutto l'appartamento è presente la stessa concentrazione di CO<sub>2</sub>.
- Con la ventilazione meccanica, vengono forniti 30 m<sup>3</sup>/h d'aria immessa nella camera da letto e un totale di 60 m<sup>3</sup>/h nell'intero appartamento. In presenza di almeno una persona, la ventilazione viene attivata, altrimenti è spenta.

Figura 3.4: Concentrazione di CO<sub>2</sub> dell'aria interna nella camera da letto di un appartamento di 3½ locali con ventilazione tramite le finestre e con ventilazione meccanica, con la porta della camera da letto aperta, rispettivamente chiusa; per i dettagli si veda il testo.

– Con la ventilazione tramite le finestre: 3 volte al giorno una ventilazione intensiva.

- Il ricambio d'aria totale nell'appartamento è lo stesso per tutte le varianti.
- Nel caso della ventilazione tramite le finestre, si calcola un'infiltrazione aggiuntiva di 5 m<sup>3</sup>/h nella camera da letto e di 7 m<sup>3</sup>/h nel resto dell'appartamento. Nel caso della ventilazione meccanica, a ventilazione spenta, sono 3 m<sup>3</sup>/h nella camera da letto e 5 m<sup>3</sup>/h nel resto dell'appartamento.

La porta aperta della camera da letto migliora significativamente la qualità dell'aria interna durante la notte, sia con la ventilazione meccanica che con quella naturale. Il motivo è che il volume dell'intero appartamento funge da contenitore di aria fresca. Con la ventilazione meccanica, d'altra parte, si ottiene una qualità dell'aria interna accettabile anche con la porta della camera da letto chiusa, grazie all'apporto costante di aria fresca (classe AMB 3, vedi capitolo 1.3). Durante il giorno, con tutte le porte delle camere aperte, si raggiunge un'elevata qualità dell'aria interna per tutte le varianti (classe AMB 2).



Dall'esempio della figura 3.4 si possono trarre le seguenti conclusioni generali:

- Nel caso di un volume ridotto (ad esempio una camera da letto con porta chiusa), una buona qualità dell'aria interna si ottiene solo con un costante ricambio d'aria.
- Nel caso di un grande volume (ad esempio il volume di un intero appartamento), è sufficiente un esercizio intermittente, ad esempio con ventilazione intensiva tre volte al giorno, per ottenere una buona qualità dell'aria interna.

**Il flusso d'aria immessa minimo per locale (con porta) è di 30 m<sup>3</sup>/h.**

Nell'esempio con la camera da letto di 12 m<sup>2</sup> e le due persone, sarebbe necessario alzarsi di notte ogni due ore e ventilare intensivamente per evitare che la concentrazione di CO<sub>2</sub> superi i 2000 ppm.

Se il volume è grande e il ricambio dell'aria è costante, si ottiene una qualità dell'aria interna uniforme e solitamente molto buona durante tutto il giorno. Questa combinazione può eventualmente consentire un dimensionamento ridotto dell'impianto (si veda il capitolo 3.5).

Queste correlazioni dovrebbero essere prese in considerazione al momento di determinare la distribuzione dell'aria e il controllo/regolazione. Si noti che, in assenza di una convenzione d'utilizzazione contraria, l'impianto di ventilazione è dimensionato per il caso di porte e finestre chiuse.

Queste correlazioni dovrebbero essere prese in considerazione al momento di determinare la distribuzione dell'aria e il controllo/regolazione. Si noti che, in assenza di una convenzione d'utilizzazione contraria, l'impianto di ventilazione è dimensionato per il caso di porte e finestre chiuse.

### 3.3 Principio a cascata

#### Funzione

Nel caso del principio a cascata, l'aria viene introdotta nella zona dell'aria immessa, vale a dire nelle camere. Nella zona dell'aria aspirata, cioè nel bagno, nella doccia e nel WC, l'aria viene estratta. La zona di transito si trova tra la zona dell'aria immessa e quella dell'aria aspi-

rata. Essa comprende il corridoio e la zona aperta del soggiorno. In questa zona non vi sono passaggi d'aria immessa o aspirata, in quanto è sufficientemente ventilata dalla circolazione naturale dell'aria. Anche se la cucina si trova nella zona di transito, la SIA 382/5 non richiede alcun punto dell'aria aspirata oltre alla cappa d'aspirazione. L'aria passa attraverso i passaggi d'aria di transito dalla zona dell'aria immessa a quella di transito e dalla zona di transito a quella dell'aria aspirata. La figura 3.5 illustra il principio a cascata.

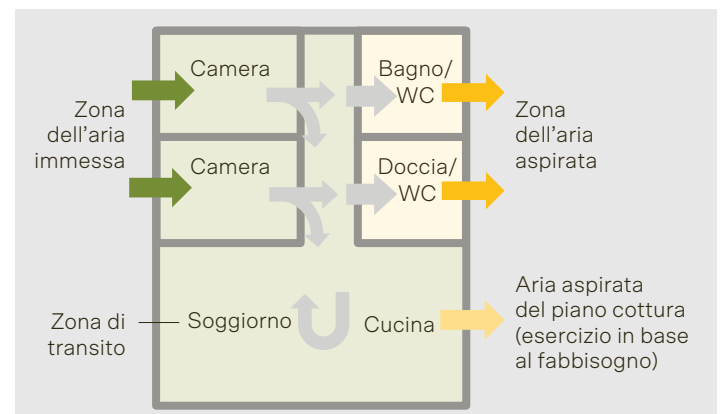
#### Rapporti di pressione

Nel caso di impianti con ventilatori dell'aria immessa e dell'aria aspirata (ventilazione meccanica controllata), si ipotizza che la pressione dell'aria nella zona di transito corrisponda alla pressione esterna. Nei locali con aria immessa dovrebbe esserci una sovrappressione massima di 3 Pa a porte chiuse e una sottopressione massima di 3 Pa nei locali con aria aspirata. Nel caso di impianti d'aspirazione valgono requisiti speciali, che sono trattati nel capitolo 7.2.

#### Flusso d'aria immessa minimo

Per la determinazione del flusso d'aria immessa minimo, si ipotizza che in ogni camera possano dormire due persone e che le porte siano chiuse. Ciò corrisponde al caso C dell'esempio del capitolo 3.2. Per un appartamento di 3 o 3½ locali, come indicato nella figura 3.5, il flusso d'aria immessa minimo è quindi di 60 m<sup>3</sup>/h. Per l'appartamento di 4 locali

**Figura 3.5:** Principio di ventilazione a cascata.  
 ■ Aria immessa/aria esterna ■ Aria aspirata ■ Aria interna/Aria di transito ■ Aria aspirata del piano cottura (esercizio in base al fabbisogno)



della figura 3.2 è di 90 m<sup>3</sup>/h. Il flusso d'aria immessa e d'aria aspirata determinante (vedi rispettivamente i capitoli 6.1, 7.3 e 8.1) di un appartamento può essere definito solo a seguito della scelta del sistema di ventilazione.

**Note relative al controllo/regolazione**

Solitamente viene controllato/regolato solo il flusso d'aria totale di un appartamento o di una casa monofamiliare. A porte chiuse, la qualità dell'aria aspirata

non consente di trarre conclusioni in merito alla qualità dell'aria interna nella camera più sfavorevole (camera

da letto con due persone). Pertanto, di notte l'impianto di ventilazione dovrebbe essere in modalità normale.

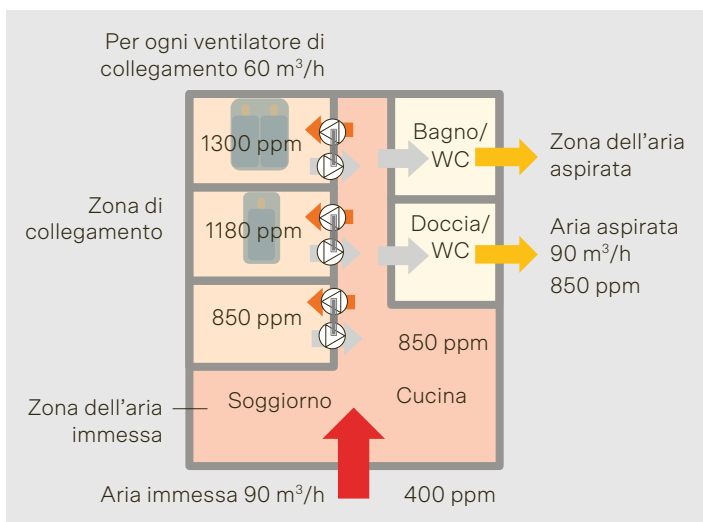
Durante il giorno, si può ipotizzare che le persone si trovino nella zona di transito o che le porte delle camere siano aperte.

Ciò significa che l'impianto di ventilazione può essere regolato, ad esempio mediante un sensore di qualità dell'aria. Con una routine quotidiana regolare (nei giorni feriali), è anche possibile operare l'impianto a un livello ridotto durante il giorno utilizzando un programma orario. Tuttavia, gli utenti dovrebbero avere la possibilità di disattivare temporaneamente il programma orario. A tale scopo si può impiegare un commutatore che passa all'esercizio normale per circa tre ore.

**Locali nella zona di transito non necessitano d'aria immessa.**

Figura 3.6: Principio della ventilazione di collegamento con distribuzione attiva per l'esempio di un appartamento di 4 locali; dimensionamento secondo la SIA 382/5.

- Aria immessa
- Aria aspirata
- Aria interna/Aria di transito
- Aria di collegamento



**3.4 Principio di collegamento con distribuzione attiva**

**Funzione**

Nel principio di collegamento, la zona aperta dell'appartamento a cui le camere sono adiacenti funge da zona dell'aria immessa. Solitamente essa comprende il corridoio e il soggiorno. In questa zona viene introdotto l'intero flusso d'aria immessa dell'appartamento. Ciò può avvenire mediante un unico passaggio d'aria immessa. Nella zona dell'aria aspirata, cioè nel bagno, nella doccia e nel WC, l'aria viene estratta. Nella zona di collegamento si trovano le camere. A porte aperte, il movimento naturale dell'aria garantisce una circolazione sufficiente. A porte chiuse, i cosiddetti ventilatori di collegamento assicurano il ricambio d'aria tra la zona dell'aria immessa e i locali nella zona di collegamento (figura 3.6). Le ventilazioni di collegamento sono caratterizzate da condotte dell'aria immessa brevi, il che è particolarmente interessante dal punto di vista finanziario e architettonico nel caso di rinnovo di edifici esistenti.

**Rapporti di pressione in caso di ventilatori di collegamento**

Fondamentalmente, dovrebbero essere mantenute le stesse sotto- e sovrappressioni massime come nel caso del principio a cascata. Nel caso di ventilatori di collegamento, si pone la questione se debbano essere dotati di uno o due ventilatori: uno che immette aria nel locale e uno che aspira la stessa fuori dal locale. Se viene impiegato un solo ventilatore, è necessario un passaggio d'aria di transito passivo per il flusso di ritorno dal locale, come nel caso della ventilazione a cascata. Poiché i flussi d'aria sono compresi tra 45 e 60 m<sup>3</sup>/h, nel soggiorno è difficile trovare un passaggio d'aria di transito che provochi una caduta di pressione non superiore a 3 Pa. Di conseguenza, si raccomanda di utilizzare ventilatori di collegamento con due ventilatori.

### Flusso d'aria immessa e di transito minimi

Nel caso della ventilazione di collegamento, l'aria nella zona dell'aria immessa non ha la qualità di quella esterna, in quanto si tratta di aria miscelata. Per evitare che la concentrazione di CO<sub>2</sub> nelle camere superi i 1400 ppm, il flusso d'aria di un ventilatore di collegamento deve quindi essere maggiore del flusso d'aria immessa (di una camera) per il principio a cascata.

L'occupazione massima dell'abitazione è determinata secondo il capitolo 2.2.

Come per il principio a cascata, si ipotizza che in ogni camera possano dormire due persone. A scopo illustrativo, la figura 3.6 mostra un esempio per un appartamento di 4 locali. Si ipotizza un'occupazione di tre persone. I flussi d'aria corrispondono alle prescrizioni della norma SIA 382/5.

Per dimensionare il flusso d'aria immessa minimo per l'intero appartamento e per i ventilatori di collegamento, si può utilizzare il diagramma della figura 3.7. Il diagramma si basa su una concentrazione massima di CO<sub>2</sub> dell'aria interna di 1400 ppm, ovvero il limite superiore della classe dell'aria interna AMB 3.

Il dimensionamento è basato sull'occupazione prevista per l'appartamento. Nel caso di un numero di persone compreso tra tre e cinque, si presume che le camere possano essere utilizzate come camere da letto per due persone. Nel caso di occupazione con due persone, si presume che una sola persona dorma in una camera. In alternativa, entrambe le persone possono utilizzare la stessa camera da letto, lasciando però la porta aperta di notte per rispettare i 1400 ppm di CO<sub>2</sub>. Il flusso d'aria immessa e aspirata determinante di un'abitazione può es-

#### Esempio di lettura per la figura 3.7

Un appartamento di 5 locali è previsto per l'occupazione di quattro persone. Viene selezionato un ventilatore di collegamento con un flusso d'aria di 60 m<sup>3</sup>/h. Pertanto, il flusso d'aria immessa dell'appartamento può essere dimensionato a 100 m<sup>3</sup>/h. Se nell'appartamento vivessero solo tre persone anziché quattro, il flusso d'aria immessa potrebbe essere ridotto a 75 m<sup>3</sup>/h.

Il grande vantaggio del principio di collegamento rispetto a quello a cascata è che il flusso d'aria immessa dell'appartamento può essere regolato semplicemente in modo proporzionale al numero di persone al variare dell'occupazione. Quale sia la camera occupata da due persone non ha importanza.

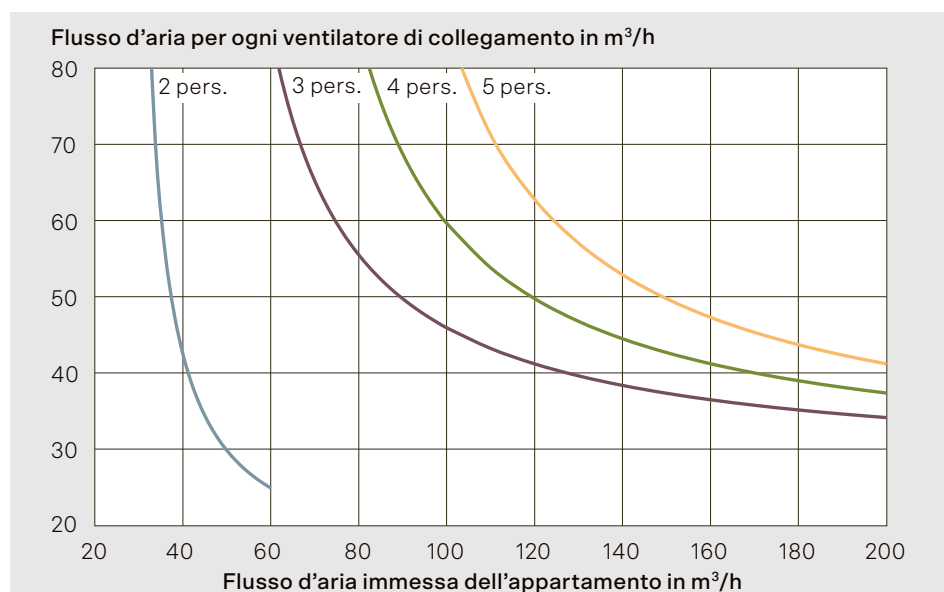


Figura 3.7: Dimensionamento del flusso d'aria immessa minimo di un appartamento e del flusso d'aria di ventilatori di collegamento per una concentrazione di CO<sub>2</sub> massima di 1400 ppm.

### Esempio d'impianto 3.1: Rinnovo di un complesso residenziale – ventilazione meccanica controllata e ventilazione di collegamento combinate

Il complesso residenziale Glatt 1 della città di Zurigo è stato rinnovato per garantire l'efficienza energetica secondo i principi della società a 2000 watt. Nel corso della ristrutturazione sono stati possibili interventi negli appartamenti. Tuttavia, negli edifici a due piani, l'installazione di impianti di ventilazione per più appartamenti sarebbe stata relativamente complessa. Perciò ogni appartamento è stato dotato di un apparecchio di ventilazione con recupero di calore, installato in un armadio a muro nel corridoio. Due camere da letto e il soggiorno vengono collegati da un classico sistema di distribuzione dell'aria installato in un controsoffitto. Poiché la terza camera da letto è accessibile dal soggiorno, il condotto dell'aria immessa avrebbe dovuto passare separatamente attraverso quest'ultimo.

Per evitare ciò, è stato installato un ventilatore di collegamento a soffitto, che convoglia l'aria dalla camera da letto al soggiorno. L'aria di compensazione entra attraverso la fessura sotto la porta della camera da letto.

**Nota:** il ventilatore di collegamento si accende e si spegne solo manualmente. Ciò è importante, ad esempio, per evitare che gli odori della cucina si propaghino nella camera da letto. In questi casi, può essere utile la combinazione con un contatto della porta che spegne il ventilatore di collegamento quando la stessa è aperta.

<b>Ubicazione</b>	Zurigo
<b>Costruzione/rinnovo</b>	1970/2013
<b>SRE</b>	4488 m <sup>2</sup>
<b>Tipo di ventilazione</b>	Ventilazione meccanica controllata, distribuzione dell'aria con ventilazione a cascata e di collegamento
<b>Controllo/regolazione</b>	Regolazione in funzione del fabbisogno per appartamento
<b>WRG</b>	85%
<b>Componenti attivi</b>	Ventilatore di collegamento per una camera
<b>Trattamento dell'aria (filtro)</b>	Filtro dell'aria esterna F7, filtro dell'aria aspirata G4



Figura 3.8: Il ventilatore di collegamento a sinistra, sopra la porta, convoglia aria dalla camera da letto al soggiorno.



Figura 3.9: Tre locali ricevono l'aria immessa attraverso un classico sistema di distribuzione dell'aria. Una camera è dotata di un sistema di ventilazione di collegamento con il soggiorno.



sere determinato solo dopo la definizione del sistema di ventilazione.

#### Note relative al controllo/regolazione

Il principio di collegamento è ideale per una regolazione del fabbisogno in base alla qualità dell'aria interna. La concentrazione di CO<sub>2</sub> può essere regolata al valore nominale di 900 ppm tramite un sensore nell'aria aspirata o nella zona dell'aria immessa.

#### Ventilatori di collegamento

Nel 2020 sul mercato svizzero erano disponibili circa 10 diversi ventilatori di collegamento, alcuni dei quali convogliavano l'aria in una sola direzione. Al momento della scelta, è importante considerare quanto segue:

- I ventilatori di collegamento dovrebbero attivarsi solo a porta della camera chiusa. Ciò può essere garantito da un interruttore di contatto. Alcuni fornitori offrono anche la corrispondente regolazione di CO<sub>2</sub>.
- Con il principio di collegamento, gli odori provenienti dalla cucina, ad esempio, possono diffondersi nelle camere se non vengono prese le dovute precauzioni. Per evitare ciò, se necessario deve essere possibile spegnere i ventilatori di collegamento. A tale scopo sono adatti i commutatori che disattivano il ventilatore per circa due ore.

– Il livello di pressione sonora nel locale deve essere conforme ai requisiti della norma SIA 382/5. Per camere da letto tipiche, il livello di potenza sonora ponderato A non deve superare i 25 dB. Se il valore è indicato dal produttore con la nota «a 1 m di distanza», può essere al massimo di 17 dBA, vedi tabella 8.3.

– L'indice di fonoisolamento dei ventilatori di collegamento deve essere uguale a quello della porta della camera. Se non sono stati definiti requisiti relativi alla porta, il valore  $D_{n,e,w}$  deve essere di almeno 33 dB.

– La potenza elettrica assorbita dai ventilatori di collegamento non deve superare i 3 W. Il consumo energetico di impianti con ventilatori di collegamento non è superiore a quello dei sistemi con il principio a cascata, nonostante i piccoli ventilatori supplementari. Il motivo è che la perdita di pressione della distribuzione dell'aria immessa è minore e i ventilatori di collegamento funzionano solitamente solo per circa 10 ore al giorno.

– Come qualsiasi altro dispositivo di ventilazione, un ventilatore di collegamento deve essere facile da ispezionare e pulire. Si raccomanda di effettuare un controllo ogni due anni.



Figura 3.10: Ventilatori di collegamento integrati nelle porte. (Fonte: Erich Keller AG)

### 3.5 Principio di collegamento con distribuzione libera

#### Funzione

Nel caso di distribuzione libera, si utilizzano elementi passivi (senza ventilatori) al posto di ventilatori di collegamento per il ricambio d'aria tra la zona dell'aria immessa e la zona di collegamento. La forza motrice per la circolazione dell'aria deriva in questo caso dalle differenze di temperatura tra i locali. In quasi tutte le

abitazioni, queste differenze di temperatura sono comprese tra 0,5 e 1,0 K durante tutto l'anno.

Affinché il ricambio d'aria sia effi-

cace, la superficie libera per tale ricambio deve essere relativamente grande.

Da ciò deriva anche lo svantaggio più importante di questa soluzione: il fonoisolamento tra la zona dell'aria immessa e la zona di collegamento è indebolito almeno quando gli elementi di collegamento sono aperti. A seconda del tipo di costruzione, viene inoltre anche compromessa la protezione contro la luce tra i locali.

Il principio di collegamento con distribuzione libera non è regolato da norme. La sua applicazione e interpretazione deve quindi essere esplicitamente definita in una convenzione d'utilizzazione.

#### Porta aperta come elemento di collegamento

Il tipo più semplice di elemento di collegamento è rappresentato dalle porte aperte. Ciò significa che non appena le porte dei locali sono aperte, anche le ventilazioni basate sui principi a cascata, a singolo locale o con ventilatori di collega-

mento diventano un «collegamento a distribuzione libera».

Una differenza di temperatura di soli 0,5K genera a porta aperta un ricambio d'aria di 200–300 m<sup>3</sup>/h. Per ottenere un sufficiente ricambio d'aria nella camera, non è quindi necessario che la porta sia completamente aperta. Sulla base di semplici esperimenti, si può stimare che una fessura di 5 cm genera circa il 40% della circolazione d'aria di una porta completamente aperta. Ciò corrisponde a circa 80–120 m<sup>3</sup>/h. Per il dimensionamento si raccomanda di utilizzare tale flusso d'aria. Con una fessura di 5 cm, inoltre, è garantita una certa protezione contro la luce.

Minergie consente di realizzare porte aperte come elemento di collegamento nei rinnovamenti. Tuttavia, se si verificano problemi come la formazione di muffa, le camere interessate devono essere dotate di ventilatori di collegamento o di altri dispositivi di ventilazione a funzionamento automatico.

Nella pratica, vi è da attendersi che una parte considerevole delle camere venga chiusa di notte e ventilata tramite le finestre. Ciò deve essere tenuto in considerazione al momento del calcolo del fabbisogno energetico.

#### Elementi di collegamento speciali

In un progetto della Scuola universitaria professionale di Lucerna sono state studiate alternative alle porte aperte [2].

A tale proposito, è stato dimostrato che una soluzione praticabile consiste nel creare una superficie libera di 0,08 m<sup>2</sup> (B x H = 0,8 m x 0,1 m) nella parte inferiore e superiore della porta. In condizioni tipiche, il flusso d'aria raggiunto è di circa 50 m<sup>3</sup>/h.

**La distribuzione libera dell'aria nell'abitazione è economica e praticamente priva di manutenzione, ma comporta svantaggi in termini di comfort.**

Tabella 3.1: Proposta per il flusso d'aria immessa minimo dell'intero appartamento nel caso del principio di collegamento con distribuzione libera.

Principio della distribuzione libera	Flusso d'aria immessa minimo per un'occupazione dell'appartamento con			
	2 pers.	3 pers.	4 pers.	5 pers.
Porta della camera aperta min. 5 cm	35 m <sup>3</sup> /h	60 m <sup>3</sup> /h	80 m <sup>3</sup> /h	100 m <sup>3</sup> /h
Superficie di apertura libera nella parte inferiore e superiore della porta di 0,08 m <sup>2</sup> ciascuna	40 m <sup>3</sup> /h	90 m <sup>3</sup> /h	120 m <sup>3</sup> /h	150 m <sup>3</sup> /h

### Esempio d'impianto 3.2: Rinnovo di un complesso residenziale – ventilazione di base sul principio della circolazione naturale dell'aria nei locali

Al momento del rinnovo del complesso residenziale Paradies, risalente all'inizio degli anni '90, lo spazio a disposizione per l'installazione di una classica ventilazione meccanica controllata era insufficiente. Soprattutto la distribuzione dell'aria immessa avrebbe richiesto interventi costruttivi di dimensioni sproporzionate. Per garantire comunque una ventilazione di base negli appartamenti densamente occupati, l'aria immessa viene introdotta centralmente nel corridoio. A tale scopo, una griglia accuratamente concepita dall'architetto è stata installata come passaggio d'aria immessa sopra la porta del locale ad uso servizi.

L'aria immessa raggiunge i locali attraverso le porte aperte. La circolazione naturale dell'aria nei locali garantisce che la qualità dell'aria in tutto l'appartamento sia buona in maniera uniforme. Pertanto, con questo concetto di ventilazione, è importante che durante l'esercizio le porte siano per la maggior parte aperte. L'aria aspirata viene estratta attraverso la cucina e i locali ad uso servizi, come nel caso della ventilazione meccanica controllata. Le finestre aperte non compromettono il funzionamento della ventilazione. In cucina è stata installata una cappa d'aspirazione ad aria di ricircolo di dimensioni ridotte.

L'aria esterna viene filtrata e riscaldata in apparecchi di ventilazione centrali con recupero di calore. In questo modo comfort e igiene sono garantiti. Inoltre, le condizioni di pressione nell'edificio sono equilibrate e il rischio di trasferimento di odori tra gli appartamenti è basso.

<b>Ubicazione</b>	Zurigo
<b>Costr./rinnovo</b>	1993/2017
<b>SRE</b>	20 971 m <sup>2</sup>
<b>Tipo di ventilazione</b>	Ventilazione di base con recupero di calore
<b>Controllo/regolazione</b>	Esercizio continuo monostadio
<b>Recupero di calore</b>	Scambiatore di calore a piastre con elevato grado di variazione di temperatura
<b>Componenti attivi</b>	Apparecchi di ventilazione nel piano interrato o sul tetto, regolatori del flusso d'aria costante negli appartamenti
<b>Trattamento dell'aria</b>	Filtro dell'aria esterna F7, filtro dell'aria aspirata G4



Figura 3.11: L'aria immessa entra nel corridoio attraverso il passaggio d'aria sopra la porta del bagno (a sinistra). Nel caso di una distribuzione dell'aria convenzionale, sarebbe stato necessario un controsoffitto che avrebbe nascosto il lucernario. (Fonte: Ralph Feiner)

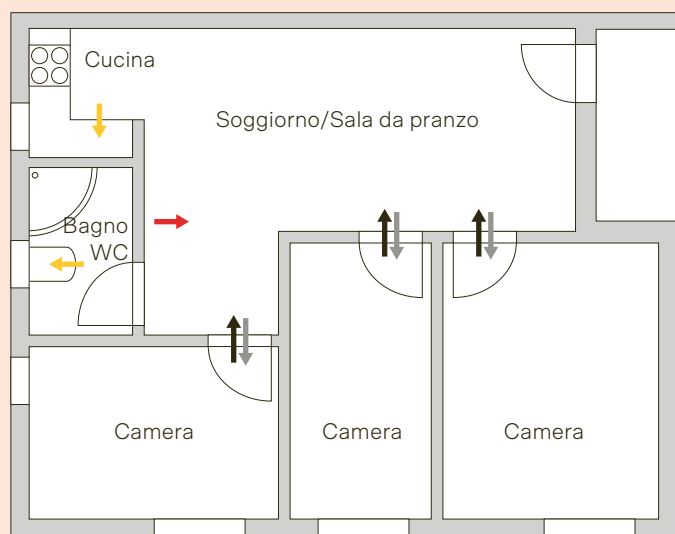


Figura 3.12: L'aria immessa viene erogata centralmente nel corridoio. Con le porte aperte, la circolazione naturale dell'aria garantisce il ricambio d'aria necessario nelle camere. L'aria aspirata viene estratta in cucina e nei locali ad uso servizi.

### Flusso d'aria immessa minimo dell'abitazione

Secondo la tabella 3.1, per il dimensionamento del principio di collegamento con distribuzione libera, vengono suggeriti flussi d'aria immessa minimi per l'intera abitazione. La tabella si basa sulla figura 3.7, il che significa che valgono le stesse premesse.

## 3.6 Principio per singolo locale

### Funzione

Nel caso del principio per singolo locale, l'aria immessa viene convogliata in ogni locale direttamente dall'esterno e l'aria aspirata viene espulsa direttamente verso l'esterno. In questo caso, il corridoio non viene ventilato. Si presume invece che vi sia una circolazione d'aria sufficiente attraverso le porte aperte e il movimento delle persone.

Il principio per singolo locale è illustrato schematicamente nella figura 3.13. Questa illustrazione permette di capire facilmente che questo principio è realizzabile sia con la ventilazione meccanica che con quella naturale.

### Flusso d'aria immessa minimo

Nel soggiorno, nelle camere da letto e nei locali di lavoro viene immesso e aspirato un flusso d'aria minimo di 30 m<sup>3</sup>/h.

### Note relative al controllo/regolazione

Il grande vantaggio di questo principio consiste nel fatto che la ventilazione può

essere controllata o regolata in funzione del fabbisogno, locale per locale, con un onere minimo.

### Forme miste di distribuzione dell'aria

I principi di distribuzione dell'aria nelle abitazioni possono essere diversificati. Ciò non solo funziona in teoria, ma viene implementato sorprendentemente spesso nella pratica. Un esempio: in molti appartamenti nuovi, i bagni e i WC senza finestre sono dotati di ventilatori d'aspirazione. Le camere, a loro volta, sono ventilate da finestre su un lato. Si tratta quindi di una combinazione dei principi per singolo locale e a cascata.

Un altro esempio è il complesso residenziale Glatt 1 della città di Zurigo, in cui sono stati combinati i principi a cascata e di collegamento; per i dettagli, si veda l'esempio d'impianto 3.1 a pagina 30.

## 3.7 Distribuzione dell'aria nel locale

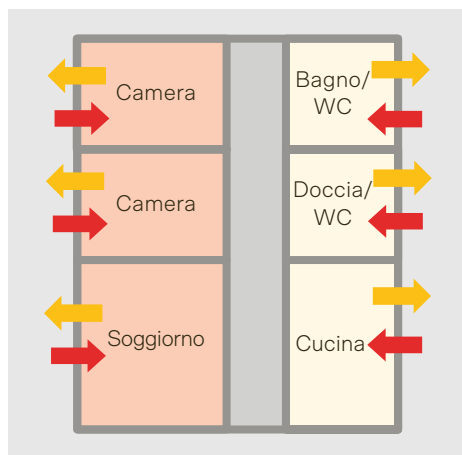
Dal punto di vista della ventilazione, non importa se l'aria viene convogliata attraverso un passaggio d'aria a soffitto o a pavimento. Per motivi pratici, tuttavia, i passaggi d'aria dovrebbero essere collocati di preferenza nella parte superiore del locale, cioè a soffitto o a parete, appena sotto il soffitto. Le ragioni di ciò sono:

- I tubi non devono attraversare gli strati di fonoisolamento anticalpestio (importante per le case plurifamiliari).
- Connessioni costruttive su pareti e soffitti sono più economiche da realizzare rispetto a quelle a pavimento.
- Nel caso di passaggi d'aria a pavimento, l'acqua può penetrare nella rete di distribuzione o lo sporco può cadervi dentro.
- Passaggi d'aria a parete e a soffitto sono generalmente più economici di quelli a pavimento.

### Passaggi d'aria immessa a induzione normale

La maggior parte dei passaggi d'aria immessa opera con velocità in uscita com-

Figura 3.13: Principio per singolo locale.  
■ Aria immessa  
■ Aria aspirata  
■ Aria interna/Aria di transito



prese tra 1 e 2 m/s. La pratica dimostra che con ciò è possibile ottenere velocità dell'aria interna inferiori a 0,07 m/s nella zona di permanenza. Il valore limite secondo la SIA 382/1 è di 0,12 m/s. I passaggi d'aria a induzione normale offrono un ampio margine di manovra per quanto riguarda il loro collocamento. Tuttavia, la direzione di uscita dell'aria non deve essere rivolta verso la zona di permanenza. La figura 3.14 mostra le disposizioni più ricorrenti.

Particolarmente interessante è il collocamento sopra la porta della camera, in quanto non interferisce con l'arredamento. È stato dimostrato, sia con test in camere climatiche sia nella pratica, che questa disposizione non provoca alcun cortocircuito, anche se la porta sottostante è completamente aperta.

#### Passaggi d'aria immessa a induzione debole

In alcuni casi, vengono impiegati passaggi d'aria immessa a induzione debole con velocità massima in uscita di 0,2 m/s. Tuttavia, non si tratta di ventilazione a dislocamento, perché con un flusso d'aria di circa 30 m<sup>3</sup>/h per camera, non è possibile una diffusione a dislocamento nel soggiorno. Nel caso di passaggi d'aria a induzione debole, l'aria immessa fredda può diffondersi lungo il pavimento per il primo mezzo minuto. Tuttavia, durante l'ora rimanente in cui l'aria resta nel locale, si mescola con l'aria vecchia e con quella di nuova entrata. Alle altezze in cui normalmente si respira (da 0,5 a 1,8 m dal pavimento), la qualità dell'aria è solitamente uguale a quella della ventilazione miscelata. Un'eccezione è documentata nel capitolo 3.9.

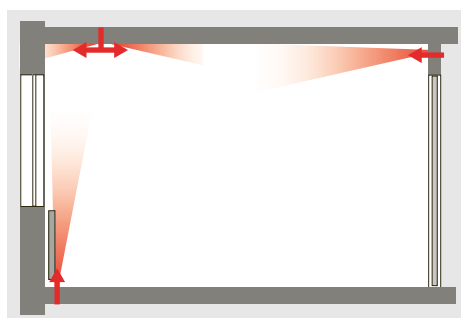


Figura 3.14: Collocazione dei passaggi d'aria immessa – il getto d'aria immessa non deve essere diretto nella zona di permanenza.

#### Passaggi d'aria aspirata

I passaggi d'aria aspirata dovrebbero essere collocati a soffitto o a parete, appena sotto il soffitto. La ragione di ciò è che le fonti di odore e di umidità sono quasi sempre legate a fonti di calore. L'aria calda contaminata sale e viene estratta in modo leggermente più efficiente dai passaggi d'aria collocati in alto rispetto a quelli collocati in basso. Tuttavia, tale effetto non deve essere sopravvalutato.

L'efficienza di ventilazione di un passaggio d'aria è migliore solo se si trova vicino alla fonte di calore. In locali di piccole dimensioni, come bagni e WC, ciò è spesso il caso.

### 3.8 Passaggio d'aria di transito

Nel principio a cascata, i passaggi d'aria di transito hanno il compito di convogliare l'aria dal locale dell'aria immessa alla zona di transito o dalla zona di transito al locale dell'aria aspirata, a porta del locale chiusa. La figura 3.15 mostra diverse soluzioni. Al momento della selezione, è necessario tenere conto dei seguenti punti:

- Il fonoisolamento tra i locali non deve essere indebolito in modo eccessivo.

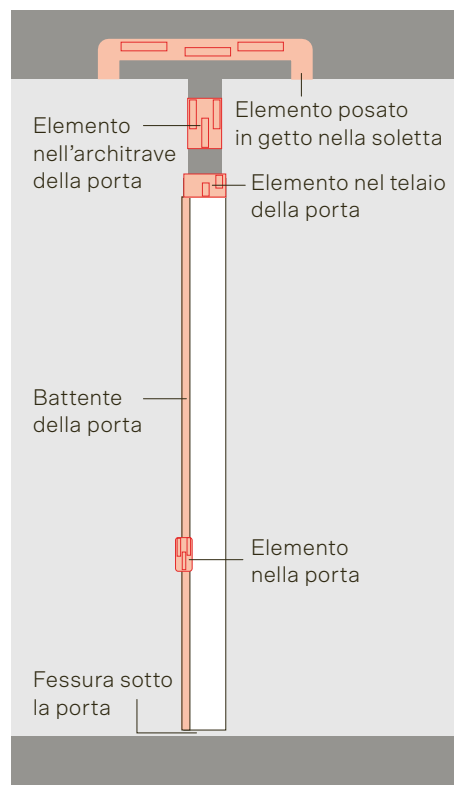


Figura 3.15: Varianti di passaggi d'aria di transito.

### Esempio d'impianto 3.3: Rinnovo di una casa plurifamiliare – ventilazione per singolo locale

L'involucro dell'edificio della casa plurifamiliare risalente agli anni '70 è stato completamente rinnovato in modo da soddisfare quasi i requisiti per le nuove costruzioni. Inoltre, il vecchio impianto di riscaldamento e la produzione di acqua calda sono stati sostituiti da una pompa di calore aria-acqua.

Negli appartamenti non erano previsti interventi costruttivi. Con le piante dei bilocali e dei trilocali, l'installazione di un impianto di ventilazione centrale sarebbe stata relativamente complessa. Pertanto, nei soggiorni e nelle camere da letto, è stata scelta l'installazione di apparecchi di ventilazione per singolo locale con recupero di calore. La sostituzione contemporanea delle finestre ha semplificato notevolmente l'installazione. Gli apparecchi sono stati integrati nei telai allargati delle nuove finestre. I bagni sono stati dotati di ventilatori d'aspirazione con regolazione in funzione del fabbisogno.

**Nota:** quando i ventilatori d'aspirazione sono in funzione, gran parte dell'aria di compensazione entra attraverso gli apparecchi di ventilazione per singolo locale. Ciò riduce il beneficio del recupero di calore e deve essere preso in considerazione nel calcolo del fabbisogno energetico (vedi 9.4).

<b>Ubicazione</b>	Pregassona
<b>Costr./rinnovo</b>	1968 – 1975/2017
<b>SRE</b>	567 m <sup>2</sup>
<b>Tipo di ventilazione</b>	Apparecchi di ventilazione per singolo locale con recupero di calore e ventilatori d'aspirazione nel bagno/WC
<b>Controllo/regolazione</b>	Regolazione per locale in funzione del fabbisogno
<b>Recupero di calore</b>	Nel caso di solo esercizio degli apparecchi di ventilazione per singolo locale circa 80 %, con esercizio supplementare dei ventilatori d'aspirazione circa 50 % (media annua circa 70 %)
<b>Componenti attivi</b>	Ventilatore di collegamento per una camera
<b>Trattamento dell'aria (filtri)</b>	Filtro dell'aria esterna F7, filtro dell'aria aspirata G4



Figura 3.16: Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale sono stati collocati negli allargamenti del telaio delle finestre senza particolari problemi. (Fonte: Ventoswiss AG)

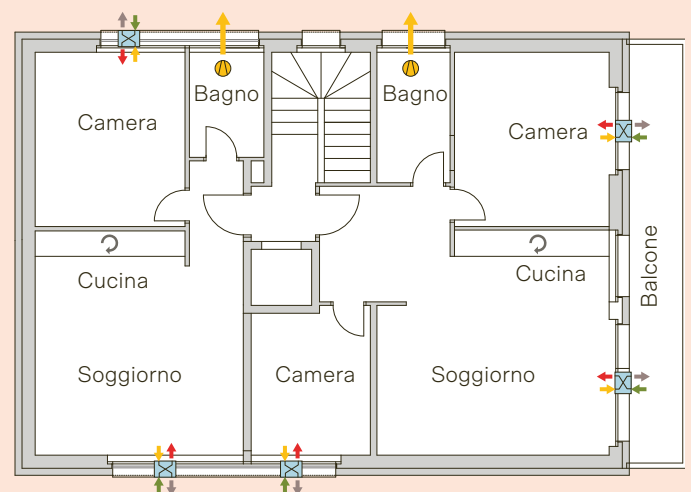


Figura 3.17: Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale provvedono al ricambio d'aria nelle camere. Nei bagni, ventilatori regolati in funzione del fabbisogno estraggono l'aria aspirata.

- La perdita di pressione di un passaggio d'aria di transito non deve superare i 3 Pa nel caso di impianti con aria immessa e aspirata. Nel caso di impianti d'aspirazione con passaggio d'aria esterna, l'obiettivo è 1 Pa.
- L'aria che fuoriesce non deve provocare correnti d'aria (ciò non vale per il corridoio, che non è considerato parte della zona di permanenza).
- Come qualsiasi altro componente della ventilazione, i passaggi d'aria di transito devono poter essere controllati e se necessario puliti.

#### Fessura libera sotto la porta

La soluzione più economica per i passaggi d'aria di transito è quella di creare una fessura libera sotto la porta. A tale proposito, tuttavia, è necessario osservare i seguenti punti:

- Gli abitanti devono essere istruiti sul fatto che non è possibile collocare tappeti in corrispondenza della porta.
- La riduzione del fonoisolamento deve essere accettata.
- La riduzione della protezione dalla luce deve essere accettata.

La SIA 382/5 raccomanda di scegliere altri passaggi d'aria di transito se l'altezza della fessura deve essere superiore a 10 mm, a causa della perdita di carico. Per porte comuni, l'altezza della fessura (detta anche sottosquadro) è di 7 mm. Utilizzando questa dimensione, non sono necessarie porte speciali. Tuttavia, è necessario determinare le tolleranze con il fornitore delle porte. I valori devono essere compresi nell'intervallo di  $\pm 1$  mm. Con la figura 3.18 è possibile stimare l'indebolimento dell'indice di fonoisolamento delle porte dovuto a una fessura. Per le porte comuni con un indice di fonoisolamento fino a circa 20 dB e un'altezza della fessura fino a 7 mm, l'indebolimento è appena percettibile. Inoltre, di notte le porte delle camere da letto sono solitamente chiuse, il che significa che il suono tra le camere viene isolato da due passaggi d'aria di transito in serie. In genere la trasmissione del suono attraverso le pareti divisorie delle camere è mag-

giore di quella attraverso i passaggi d'aria di transito. Tuttavia, nel caso di requisiti elevati e di locali speciali, come le camere per la musica o i locali per la terapia, l'indebolimento è difficilmente accettabile. In questi casi, sono necessari passaggi d'aria di transito isolati acusticamente. La figura 3.19 mostra la perdita di pressione attraverso una fessura libera sotto una porta di 0,9 m di larghezza. Per altre larghezze di porte, il flusso d'aria viene convertito a un metro di lunghezza della fessura. A questo scopo si utilizza la scala superiore.

#### Guarnizione a ghigliottina con passaggio d'aria

Sul mercato sono disponibili guarnizioni a ghigliottina appositamente concepite che consentono il passaggio di un flusso d'aria di circa 30 m<sup>3</sup>/h con una perdita di pressione di 3 Pa. Con porte ad alta efficienza acustica ( $R_w > 30$  dB), l'indice di fonoisolamento, a seconda del tipo, può essere incrementato fino a 4 dB rispetto a una fessura. Con porte acusticamente mediocri ( $R_w > 20$  dB), tuttavia, il miglioramento non è percepibile.

#### Prodotti standard

Diversi fornitori offrono passaggi d'aria di transito che possono essere installati nella porta, sopra la porta o in una parete. Quando si valutano tali prodotti, è necessario verificare come il fornitore specifichi l'indice di fonoisolamento. La definizione di  $R_w$  si riferisce alla superficie frontale. In alcuni casi, si utilizza anche la differenza di fonoisolamento ponderato normalizzato di piccoli elementi costruttivi, il cosiddetto valore  $D_{n,e,w}$ . Occorre confrontare se il passaggio d'aria di transito trasmette un suono sensibilmente inferiore rispetto a una fessura sotto la porta. Ciò non è il caso con valori di  $D_{n,e,w}$  inferiori a 33 dB o valori di  $R_w$  inferiori a circa 10 dB. Per garantire che il fonoisolamento non sia indebolito di oltre 1 dB a causa del passaggio d'aria di transito, il suo valore  $D_{n,e,w}$  deve essere superiore di circa 15 dB al valore  $R_w$  della porta della camera.



Indice di fonoisolamento in opera della porta con fessura  $R'_{w,res}$  in dB

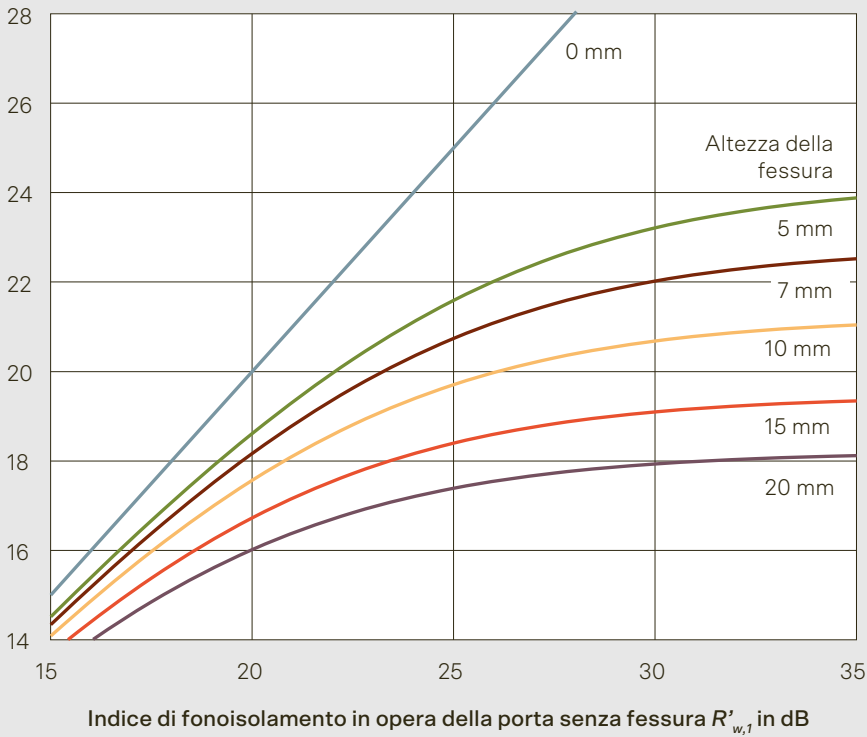


Figura 3.18: Indice di fonoisolamento di una porta con fessura in funzione dell'indice di fonoisolamento senza fessura.

Flusso d'aria per metro di lunghezza della fessura in  $m^3/h$

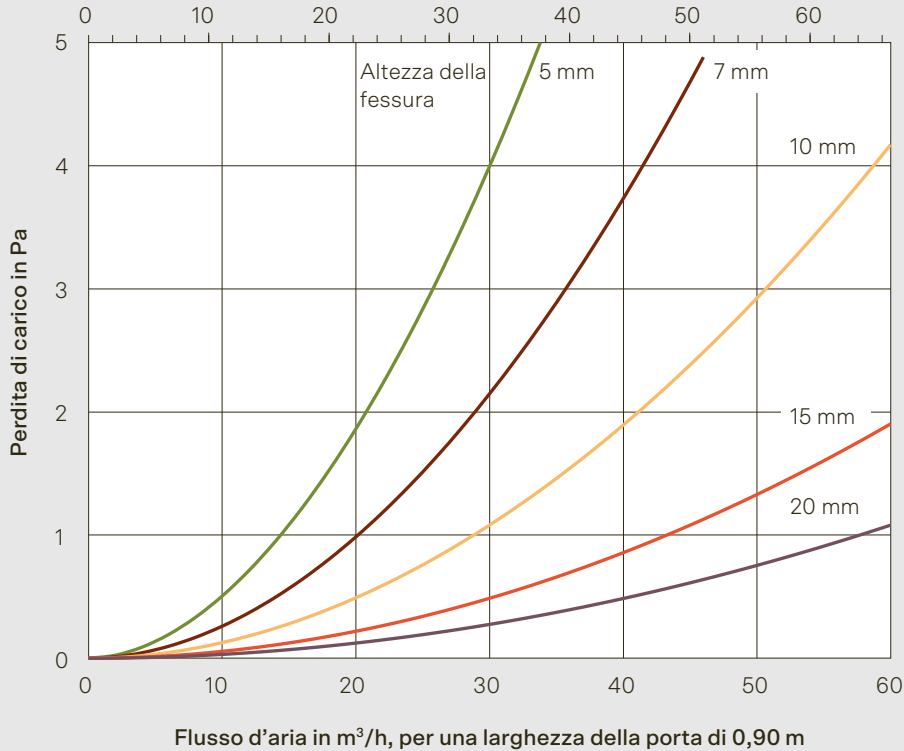


Figura 3.19: Perdita di carico per diverse altezze di fessura con una larghezza della porta di 0,90 m (scala inferiore) rispettivamente flusso d'aria per metro di lunghezza della fessura (scala superiore).



### 3.9 Limiti della ventilazione miscelata

#### Circolazione dell'aria interna

Il seguente esempio di una camera da letto illustra che, in condizioni particolari, la ventilazione miscelata funziona solo in misura limitata. In questo caso, l'aria immessa viene somministrata a livello del pavimento. L'aria aspirata passa attraverso una fessura sotto la porta nel corridoio.

Con questa configurazione (figura 3.20 a sinistra), è stata misurata una concentrazione di CO<sub>2</sub> significativamente più alta sopra il letto rispetto a quella misurata con il passaggio d'aria di transito. L'aria immessa fluisce nel locale a una velocità di circa 0,5 m/s. Dai valori misurati si può concludere che circa il 30% del volume d'aria somministrato è fluito verso il passaggio d'aria di transito in cortocircuito. In un semplice esperimento, la situazione è stata notevolmente migliorata aumentando la velocità di ingresso a circa 1 m/s coprendo parzialmente il passaggio d'aria immessa. La quantità d'aria immessa è rimasta invariata, ma il suo getto è stato soffiato più in alto nel locale. Come risultato, la concentrazione di CO<sub>2</sub> nella zona di permanenza è scesa da circa 1500 ppm a 1300 ppm. Il flusso d'aria in cortocircuito è stato pertanto dimezzato. Il problema principale era quindi la bassa velocità di ingresso. Anche il fatto che le persone fossero sdraiate a un'altezza di circa 0,6 m giocava un ruolo importante. La circolazione dell'aria per mezzo del calore corporeo avveniva solo dall'altezza

del letto. Inoltre, l'indagine è stata condotta nella mezza stagione con il riscaldamento a pavimento spento. Se il riscaldamento fosse stato acceso, ci si sarebbe aspettati una buona miscelazione dell'aria già dalla prima misurazione.

Con questa semplice misura è stato possibile ottenere la qualità dell'aria interna richiesta. Tuttavia, per una soluzione ottimale, la velocità di ingresso dovrebbe essere aumentata a circa 1,5 m/s. In alternativa, il passaggio d'aria di transito potrebbe essere collocato al di sopra della porta della camera. Da questo esempio si possono quindi trarre i seguenti insegnamenti:

- Per i passaggi d'aria immessa a pavimento e i passaggi d'aria di transito in prossimità del pavimento, la velocità di ingresso deve essere di almeno 1,5 m/s.
- Se fosse desiderata una bassa velocità di ingresso (un cosiddetto passaggio d'aria a dislocamento), il passaggio d'aria di transito nelle camere da letto dovrebbe essere collocato a un'altezza dal pavimento di almeno 2 m.
- Il passaggio d'aria immessa è preferibilmente collocato nella parte alta del locale, ad esempio sopra la porta. In questo modo si ottiene una buona ventilazione miscelata, indipendentemente dalla posizione del passaggio d'aria di transito.

#### Posizionamento dei passaggi d'aria di transito

Indagini in laboratorio e simulazioni [3] hanno dimostrato che può insorgere un certo cortocircuito se il passaggio d'aria

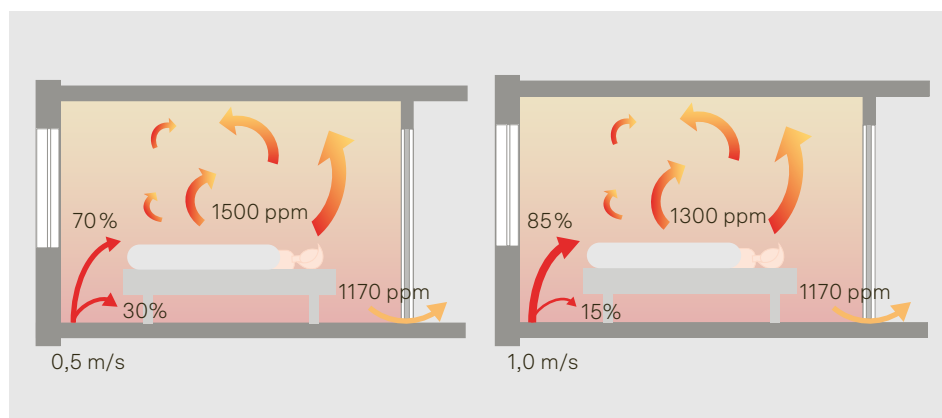


Figura 3.20: Circolazione dell'aria interna e concentrazione di CO<sub>2</sub> in una camera da letto con passaggio d'aria immessa a pavimento: a sinistra con bassa velocità dell'aria immessa di circa 0,5 m/s, a destra con una velocità media dell'aria immessa di circa 1 m/s.

di transito di un locale con aria immessa e di uno con aria aspirata si trovano l'uno di fronte all'altro a breve distanza. L'aria nella zona di transito può in questo caso presentare una concentrazione di CO<sub>2</sub> leggermente superiore a quella del locale con aria aspirata. La figura 3.21 mostra una geometria di questo tipo con potenziale di cortocircuito.

Tuttavia, tale situazione non è critica se è soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

- La porta di almeno un locale con aria immessa è aperta. Ciò corrisponde a una tipica situazione diurna.
- Tutte le persone si trovano nei locali con aria immessa. Ciò corrisponde a una tipica situazione notturna.
- Per almeno una coppia di porte, la distanza *a* secondo la figura 3.21 è di almeno 1,5 m.
- Per almeno una coppia di porte, la distanza *b* secondo la figura 3.21 è superiore a 3 m.

Se il problema dovesse presentarsi, potrebbe essere risolto con una semplice misura operativa, ossia aprendo la porta

di una camera. Se le condizioni geometriche sfavorevoli richiedono la chiusura di tutte le porte delle camere durante il giorno, il problema può essere risolto posizionando il passaggio d'aria di transito nella zona superiore per alcune porte (ad esempio dei locali con aria immessa) e nella zona inferiore per le altre.

### 3.10 Flussi d'aria aspirata minimi

I flussi d'aria minimi che devono essere prelevati dai locali con aria aspirata dipendono dalla modalità di esercizio. Nel caso di impianti a esercizio continuo, viene ipotizzato che l'impianto di ventilazione sia acceso tutto il giorno o almeno quando sono presenti persone. In questo modo si garantisce una buona qualità dell'aria interna nei locali con aria immessa e nelle zone di transito o di collegamento.

Nel caso di esercizio on/off regolato secondo il fabbisogno, l'impianto d'aspirazione viene attivato solo quando viene utilizzato un locale con aria aspirata o quando si manifesta una contaminazione dell'aria nel locale stesso. Ciò è il caso per i classici ventilatori d'aspirazione nel bagno o nel WC. La SIA 382/5 specifica i flussi d'aria aspirata minimi secondo la tabella 3.2.

#### Nota relativa al flusso d'aria aspirata regolato secondo il fabbisogno

Oltre a un impianto d'aspirazione meccanico, anche una ventilazione tramite le finestre è un'opzione per il ricambio d'aria regolato secondo il fabbisogno. Tuttavia, occorre considerare quanto segue: so-

Figura 3.21: Disposizione a prova di cortocircuito per i passaggi d'aria di transito.

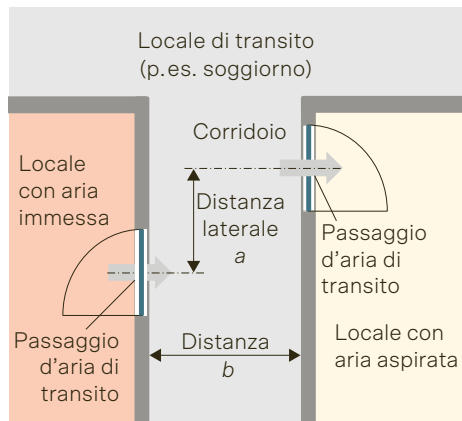


Tabella 3.2:  
Flussi d'aria aspirata minimi secondo la SIA 382/5.

Locale	Flusso d'aria aspirata minimo	
	Esercizio continuo	Esercizio on/off regolato secondo il fabbisogno
Cucina, non nella zona di transito o dell'aria immessa	20 m <sup>3</sup> /h	30 m <sup>3</sup> /h
Bagno o doccia, con o senza WC	30 m <sup>3</sup> /h	50 m <sup>3</sup> /h
WC separato	15 m <sup>3</sup> /h	25 m <sup>3</sup> /h
Locali con utilizzo di breve durata (ca. 2 h/giorno)	10 m <sup>3</sup> /h	15 m <sup>3</sup> /h
Intera unità abitativa	50 m <sup>3</sup> /h	-

prattutto nei bagni e nei WC, vi è il rischio che in mancanza di un impianto d'aspirazione meccanico le finestre rimangano aperte tutto il giorno in posizione di ribalta.

Lo standard Minergie richiede una ventilazione automatica in tutti i locali con aria aspirata. Di solito, ciò viene risolto con un impianto d'aspirazione meccanico, ma anche una ventilazione automatica tramite le finestre è un'opzione.

#### **Note relative alle cucine**

Per le cucine nella zona di transito (con il principio a cascata) o nella zona dell'aria immessa (con il principio di collegamento), la SIA 382/5 non richiede un'aspirazione d'aria. I valori riportati nella tabella 3.2 non si riferiscono alla ventilazione del piano cottura (cappa d'aspirazione), ma alla ventilazione del locale. Essa può essere risolta tramite la ventilazione del piano cottura, ma anche indipendentemente da essa.

Nelle cucine chiuse con cappe d'aspirazione a ricircolo, deve quindi essere presente un'aspirazione d'aria. Oltre ad un impianto d'aspirazione meccanico, anche in questo caso è possibile utilizzare una finestra. Ulteriori informazioni relative all'aria aspirata del piano cottura seguono nel capitolo 10.1.

#### **Note relative ai locali con utilizzo di breve durata**

La SIA 382/5 non definisce cosa esattamente sia inteso per locali con utilizzo di breve durata. Può trattarsi di locali secondari e di locali di minor importanza, a condizione che siano effettivamente utilizzati per circa 2 ore al giorno. Tuttavia, può trattarsi anche di altri locali, come i guardaroba. Vi è quindi spazio per l'interpretazione.

### **3.11 Letteratura**

- [1] Barp, Stefan; Fraefel, Rudolf; Huber, Heinrich: Luftbewegungen in frei durchströmten Wohnräumen. Zürich: R. Fraefel, dipl. Arch. ETH SIA/AFC Air Flow Consulting AG, 2009
- [2] Primas, Alex; Moser, Marie-Teres; Zakovorotnyi, Andrii: Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte. Hochschule Luzern, Horw, 2020
- [3] Rojas, Gabriel; Pfluger, Rainer; Feist, Wolfgang: Cascade ventilation – Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. In: Energy and Buildings (2015), Vol. 100, S. 27–33

# Sistemi di ventilazione

## 4.1 Ventilazione naturale

La ventilazione naturale funziona per mezzo di differenze di pressione che derivano dalle differenze di temperatura e dal vento. Nell'Altopiano svizzero, le differenze di pressione naturali sono piccole (per lo più inferiori a 10 Pa) e molto variabili nel tempo. Non esistono ricette semplici per ottenere un apporto d'aria sufficiente con la ventilazione naturale. In luoghi esposti al vento, invece, è possibile progettare concetti con ventilazione naturale.

La ventilazione naturale offre minori vantaggi rispetto alla ventilazione meccanica:

- Quando gli elementi di ventilazione sono aperti, l'indice di isolamento dal rumore esterno è inferiore.
- La temperatura dell'aria immessa corrisponde in inverno alla temperatura dell'aria esterna e può influire negativamente sul comfort termico.
- Sulle facciate soleggiate, la temperatura dell'aria immessa in estate può essere significativamente più alta della temperatura dell'aria esterna e causare ulteriori carichi termici.
- L'aria di ricambio non può essere filtrata, quindi i contaminanti e le polveri fini entrano direttamente nei locali.
- Il rinnovo dell'aria dipende fortemente dal vento e dalla temperatura esterna.
- Un recupero di calore non è possibile.
- Un dispositivo di ventilazione che deve funzionare correttamente necessita di manutenzione. Ciò vale anche per i sistemi con ventilazione naturale.

### Limiti di applicazione

Secondo la SIA 382/1:2014, la ventilazione naturale è considerata inadeguata nelle seguenti condizioni:

- In caso di eccessivo inquinamento acustico esterno. Ciò vale se il livello di valutazione secondo l'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) è superiore a 55 dB(A) di giorno e a 45 dB(A) di notte.

– Se l'aria esterna è fortemente contaminata da ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) e polveri fini (PM2.5 e PM10). Ciò è il caso quando uno dei valori limite di immissione dell'ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico (OIA) per la  $\text{NO}_2$  o le PM10 viene superato di oltre il 50% (vedi capitolo 1.4).

– Se bagni, docce e WC interni nonché altri locali con utilizzo regolare o accumulato di umidità devono essere ventilati meccanicamente.

### Ventilazione manuale tramite le finestre

Nella ventilazione manuale tramite le finestre si distingue tra ventilazione su un singolo lato e ventilazione trasversale. Nel caso della ventilazione trasversale, il vento è solitamente la forza motrice decisiva. La ventilazione su un singolo lato funziona per effetto della differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno.

### Vantaggi

- Bassi costi d'investimento
- Bassi costi di manutenzione
- Grazie alle grandi superfici apribili, il ricambio d'aria è elevato anche con minime differenze di pressione.
- Il rischio di contaminazione delle parti a contatto con l'aria è basso.

### Svantaggi

Stessi svantaggi della ventilazione naturale in generale, con l'aggiunta di:

- La protezione contro lo scasso è ridotta a finestre aperte.
- La protezione contro le intemperie è indebolita a finestre aperte.
- Il comportamento degli utenti è decisivo per la qualità dell'aria e l'umidità interna, per la protezione contro l'umidità e per le perdite di calore dovute alla ventilazione.
- L'usuale esercizio a intervalli porta a una qualità dell'aria interna non uniforme nel tempo.

### Ventilazione automatica tramite le finestre

Le ante delle finestre, soprattutto quelle a battente, possono essere dotate di motorizzazioni elettriche. Possono essere regolate in funzione del tempo, della temperatura e della qualità dell'aria. In esercizio automatico con monitoraggio delle condizioni meteorologiche, le motorizzazioni per finestre sono particolarmente adatte per il raffrescamento notturno. La ventilazione automatica tramite le finestre richiede imperativamente scenari per l'interruzione dell'alimentazione elettrica: cosa succede, ad esempio, durante un temporale? A seconda del principio di motorizzazione e di bloccaggio, può risultare inoltre un'elevata forza di chiusura. È necessario assicurare che ciò non comporti un rischio di lesioni.

La ventilazione automatica tramite le finestre è raramente utilizzata in soggiorni e camere da letto. Uno dei motivi è il rumore udibile anche con motorizzazioni ad azionamento lento e a bassa emissione di rumore. Inoltre, durante l'apertura possono manifestarsi rumori di scricchiolio. Per di più, il fonoisolamento verso l'esterno cambia immediatamente al momento dell'apertura e della chiusura.

### Dispositivi di ventilazione a finestra

Dispositivi di ventilazione a finestra sono elementi di ventilazione separati, disposti in modo costruttivo in corrispondenza delle finestre. La loro funzione di ventilazione non dipende quindi dalla posizione della finestra.

Uno studio della FHNW [1] conclude che i dispositivi di ventilazione a finestra non sono in grado di garantire il ricambio d'aria necessario dal punto di vista igienico in regioni poco ventose come l'Altopiano svizzero. Anche il ricambio d'aria minimo richiesto per la protezione contro l'umidità spesso non può essere raggiunto con i soli dispositivi di ventilazione a finestra in zone fortemente edificate e/o in appartamenti vicini al livello suolo (dal piano terra fino a circa il 2° piano). Tuttavia, se contemporaneamente nel bagno e nella cucina sono presenti ventilatori d'aspirazione,

una ventilazione sufficiente dal punto di vista della protezione contro l'umidità è possibile. I dispositivi di ventilazione a finestra assumono la funzione di passaggi d'aria esterna per i ventilatori d'aspirazione.

Per la progettazione e il dimensionamento dei dispositivi di ventilazione a finestra è necessario rivolgersi a persone specializzate. I seguenti punti sono da intendersi come indicazioni concettuali, ma non sostituiscono una progettazione professionale.

- La ventilazione trasversale deve essere possibile.
- Tra le camere e il corridoio devono essere presenti passaggi d'aria di transito (vedi capitolo 3.8). Durante il giorno, le porte delle camere devono rimanere aperte.
- È necessario almeno un dispositivo di ventilazione a finestra per ogni locale.
- I dispositivi di ventilazione a finestra indeboliscono il fonoisolamento verso l'esterno.



Figura 4.1: Esempio di ventilazione automatica tramite le finestre. Le ante vengono aperte e chiuse con l'ausilio di azionamenti elettrici. (Fonte: Geze GmbH)

- I dispositivi di ventilazione a finestra sono esposti alla polvere proveniente dall'aria esterna e interna. Pertanto, devono essere ispezionati una o due volte all'anno e se necessario puliti. Tuttavia, la maggior parte dei prodotti non è adatta alla pulizia da parte di persone non esperte. Pertanto, già nella fase di progettazione deve essere definito come organizzare la manutenzione.
- Per motivi igienici, non si dovrebbero impiegare prodotti con rivestimenti a pori aperti (per il fonoisolamento).

## 4.2 Impianto d'aspirazione

### Funzione dell'impianto d'aspirazione

Negli impianti d'aspirazione, solo l'aria aspirata viene convogliata meccanicamente. L'aria esterna affluisce per effetto della sottopressione che ne deriva. Affinché tali impianti funzionino correttamente, sono necessari dispositivi per l'aria di compensazione definiti. Nel caso di impianti d'aspirazione concepiti per l'esercizio continuo, si utilizzano elementi dell'involucro di passaggio d'aria. Per tempi di esercizio brevi e per l'esercizio on/off (ad esempio per l'impianto d'aspirazione del WC), sono possibili anche altre soluzioni come aperture di ventilazione automatizzate o monitorate, ad esempio un azionamento automatico delle finestre.

Con le pompe di calore sull'aria aspirata, il calore contenuto nell'aria aspirata (ASP) può essere utilizzato per la produzione di

acqua calda e, in alcuni casi, anche l'appoggio al riscaldamento. L'aiuto all'esecuzione del formulario EN 105 [3] del MoPEC 2014 richiede il recupero del calore residuo se il flusso d'aria aspirata è superiore a 1000 m<sup>3</sup>/h e il tempo di esercizio supera le 500 h/a. In tale contesto, più impianti d'aspirazione separati nello stesso edificio vengono considerati come un unico impianto. Se un impianto d'aspirazione è dotato di una regolazione secondo il fabbisogno per appartamento o per locale, in funzione della concentrazione di CO<sub>2</sub> o dell'umidità, è possibile rinunciare al recupero del calore residuo. Per case plurifamiliari di grandi dimensioni (a partire da circa 10 appartamenti) con impianti d'aspirazione a esercizio continuo, è solitamente necessaria una pompa di calore sull'aria aspirata. Il dimensionamento degli impianti d'aspirazione è trattato nel capitolo 7. La figura 4.2 mostra il principio degli impianti d'aspirazione. Il significato dei simboli è riportato nell'allegato 13.2.

### Principi di distribuzione dell'aria

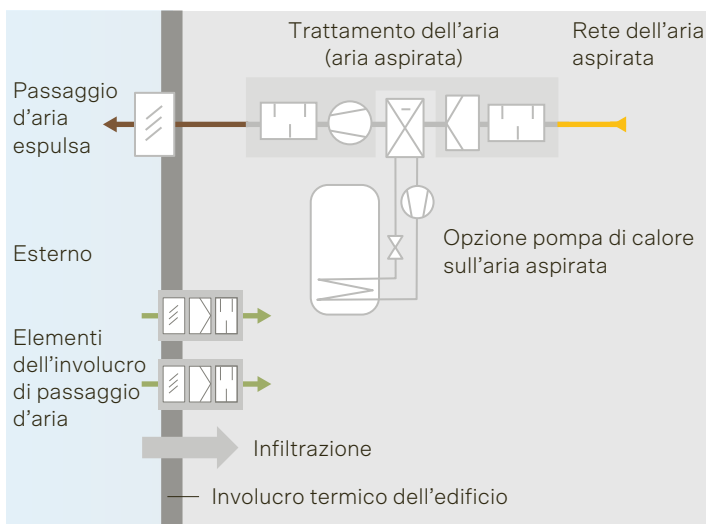
Negli impianti d'aspirazione, il principio a cascata riveste un posto di primo piano. Siccome gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria sono collocati nelle camere, l'aria può circolare in tutta l'abitazione.

Il principio di collegamento è teoricamente possibile. Tuttavia, se in un'abitazione si utilizzasse un solo elemento dell'involucro di passaggio d'aria di grandi dimensioni (ad esempio per 100 m<sup>3</sup>/h), difficilmente i requisiti di comfort termico potrebbero essere soddisfatti nel locale in cui è collocato tale elemento. Anche il principio a singolo locale è teoricamente possibile. Tuttavia, negli appartamenti ha poco senso dal punto di vista economico, poiché ogni camera dovrebbe essere dotata sia di un elemento dell'involucro di passaggio d'aria che di un ventilatore d'aspirazione.

### Vantaggi

- Lo spazio necessario per le installazioni di ventilazione è limitato. Ciò rende il sistema interessante per i rinnovi.

Figura 4.2: Impianto d'aspirazione con elementi dell'involucro di passaggio d'aria.



- Gli investimenti sono inferiori rispetto ad altri tipi di ventilazione meccanica, i costi di esercizio invece no.
- Il consumo energetico per il convogliamento dell'aria è inferiore a quello degli impianti di ventilazione semplici.
- L'umidità e gli odori vengono eliminati efficacemente nei locali con aria aspirata.
- Rispetto alla ventilazione naturale, la qualità dell'aria interna è più uniforme e solitamente migliore. Nelle indagini condotte nell'ambito di progetti di ricerca e sviluppo, la soddisfazione per la qualità dell'aria interna è risultata in prevalenza buona.

### **Svantaggi**

- Anche in edifici molto ermetici, la sottopressione porta l'aria ad entrare nell'appartamento non solo attraverso l'elemento dell'involucro di passaggio d'aria, ma anche attraverso le fessure e le fughe verso l'esterno, attraverso le zone di installazione che presentano perdite o attraverso il vano scala. Questi flussi d'aria aumentano il consumo energetico senza migliorare la qualità dell'aria interna. Inoltre, possono diffondere gli odori tra gli appartamenti.
- Gli abitanti devono essere informati e istruiti sul fatto che il sistema non funziona più quando le finestre sono aperte. In questo caso l'aria esterna entra prevalentemente attraverso la finestra aperta, secondo il principio della minima resistenza. Ciò non è problematico in caso di tempi di apertura brevi. Tuttavia, se si dorme in una camera con finestra aperta, tutte le camere in cui le finestre rimangono chiuse non ricevono aria fresca.
- È necessario garantire il controllo e la manutenzione dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria. Lo studio [2] ha dimostrato che in ogni camera i filtri devono essere sostituiti da due a quattro volte all'anno per garantire l'apporto d'aria progettato. Inoltre, le parti sensibili alla contaminazione, come le griglie per l'aria esterna e anti-insetti, devono essere pulite almeno una volta all'anno. Questo aspetto deve essere preso in considerazione sin dalla fase di progetta-

- zione, soprattutto nel caso di appartamenti in affitto (accesso, costi). In ogni caso, non è possibile presupporre che questi lavori di manutenzione vengano eseguiti dagli inquilini.
- Un recupero di calore non è possibile.
- Il recupero del calore residuo tramite una pompa di calore sull'aria aspirata ha un rapporto peggiore tra il calore recuperato e il consumo di elettricità rispetto al classico recuperatore di calore.
- Un recupero dell'umidità non è possibile.
- La posizione dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria è difficilmente selezionabile. Ciò significa che l'aria esterna può eventualmente essere captata sul lato della strada. Nel caso di elementi dell'involucro di passaggio d'aria su facciate soleggiate, in estate può entrare nell'appartamento aria molto calda.

### **Limiti d'impiego**

- Non deve sussistere il rischio di un aumento della concentrazione di radon se nell'edificio viene generata una sottopressione (cfr. capitolo 1.4).
- L'indice di fonoisolamento richiesto verso l'esterno non deve essere indebolito dall'elemento dell'involucro di passaggio d'aria.
- Se l'aria esterna è altamente contaminata da polveri, è necessario un filtro di classe ISO ePM1 50% (cfr. capitolo 9.1). La SIA 382/5 richiede anche in altri casi almeno ISO ePM10 50%. Molti elementi dell'involucro di passaggio d'aria disponibili sul mercato non hanno filtri o hanno solo semplici filtri grezzi (classe Coarse).
- L'edificio deve disporre di un elevato livello di ermeticità all'aria. Se il valore mirato della SIA 180 non viene raggiunto, un impianto d'aspirazione è discutibile sia in termini di funzionalità che di consumo energetico (cfr. capitolo 2.10).
- Non dovrebbero essere collegati più di due piani tra loro a livello di ventilazione. In caso di più piani, sono necessarie porte divisorie ermetiche tra i piani.
- Le combinazioni con i focolari nell'abitazione (ad esempio la stufa) sono delicate (vedi capitolo 10.2).



- Forte vento può interferire con il funzionamento dell'impianto. Per questo motivo, gli impianti d'aspirazione non dovrebbero essere impiegati in luoghi molto esposti al vento.
- I passaggi d'aria di transito (vedi capitolo 3.8) non devono causare una perdita di pressione superiore a 1 Pa. Ciò rende difficile il raggiungimento di un elevato indice di fonoisolamento tra i locali. Di conseguenza: elevate esigenze di fonoisolamento all'interno dell'abitazione possono essere soddisfatte solo con difficoltà.

Il benessere termico dipende in larga misura dalla costruzione e dalla posizione dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria. Tuttavia, se si utilizzano prodotti di alta qualità e si rispettano le indicazioni del fornitore, è possibile soddisfare i requisiti di benessere previsti dalle norme. Ciononostante, le lamentele per le correnti d'aria tendono a essere più numerose con impianti d'aspirazione ed elementi dell'involucro di passaggio d'aria che con la ventilazione meccanica controllata. La bassa temperatura d'ingresso dell'aria negli impianti d'aspirazione influisce sul dimensionamento del riscaldamento del locale. Se ad esempio un locale viene alimentato con 30 m<sup>3</sup>/h di aria dall'esterno, sono necessari 290 W di potenza solo per riscaldare l'aria immessa a -10 °C di temperatura esterna. Con una ventilazione meccanica controllata, nelle stesse condizioni, sono necessari solo circa 70 W grazie al recupero di calore. Per una camera di 15 m<sup>2</sup> ciò significa: con un impianto d'aspirazione, il riscaldamento

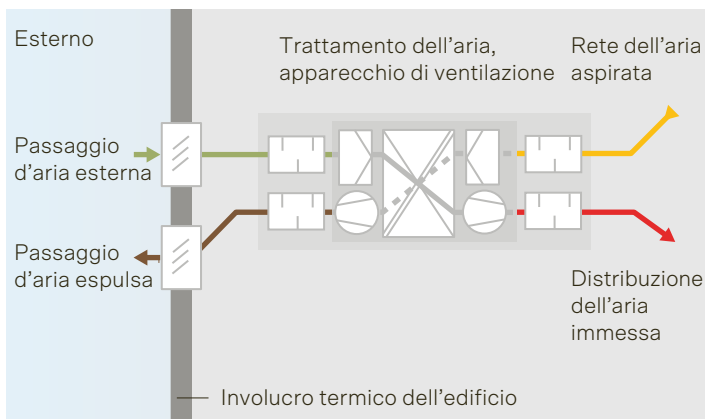
to a pavimento deve fornire 5 W/m<sup>2</sup> in più di potenza specifica rispetto alla ventilazione meccanica controllata. Se la temperatura di mandata deve rimanere invariata, la distanza tra i tubi deve essere ridotta. Se la distanza tra i tubi deve invece rimanere invariata, la temperatura di mandata deve essere aumentata di circa 5 K. Ciò comporta un coefficiente di prestazione inferiore di circa il 15% nei riscaldamenti a pompa di calore. Nei locali ad angolo e/o con un'elevata percentuale di superfici finestrate, la temperatura di mandata del riscaldamento a pavimento richiesta per legge, pari a max. 35 °C, eventualmente non può più essere soddisfatta con un impianto d'aspirazione. Nella progettazione e durante l'esercizio gli impianti d'aspirazione sono spesso più impegnativi rispetto alle ventilazioni meccaniche controllate. Per questo motivo per la progettazione andrebbe assegnato un mandato a pagamento. I progettisti vanno coinvolti nella scelta dei componenti. Come per altri impianti di ventilazione, anche in questo caso i flussi d'aria vanno impostati e controllati.

### 4.3 Impianto di ventilazione semplice (ventilazione meccanica controllata)

#### Funzione

Nel caso di impianti di ventilazione semplice o di ventilazione meccanica controllata, l'aria immessa e l'aria aspirata sono convogliate meccanicamente da ventilatori. Un recuperatore di calore (RC) trasferisce il calore dall'aria aspirata all'aria immessa. All'ingresso nell'apparecchio di ventilazione, l'aria viene filtrata sia sul lato dell'aria esterna che sul lato dell'aria aspirata. In questo modo si proteggono dallo sporco l'apparecchio di ventilazione e le parti dell'impianto situate nella direzione del flusso. Sul lato dell'aria immessa, viene ridotto anche l'ingresso di polvere nell'abitazione. La figura 4.3 mostra il principio della ventilazione meccanica controllata. Il dimensionamento di tali impianti è trattato nel capitolo 6.

Figura 4.3: Impianto di ventilazione semplice o ventilazione meccanica controllata.





### **Ventilazione meccanica controllata e distribuzione dell'aria**

La ventilazione meccanica controllata è particolarmente adatta sia al principio a cascata che a quello di collegamento. In teoria, è possibile anche il principio a locale singolo. Dal punto di vista economico, tuttavia, questa soluzione non è interessante, in quanto sarebbe necessario installare in ogni locale sia passaggi d'aria immessa che passaggi d'aria aspirata.

#### **Vantaggi**

- Il rinnovo dell'aria è affidabile e indipendente dalle condizioni meteorologiche.
- La distribuzione dell'aria nell'abitazione non viene pressoché influenzata da eventuali perdite nell'involucro dell'edificio e dal comportamento degli utenti (apertura delle finestre).
- Filtri efficaci assicurano una buona qualità dell'aria immessa anche in presenza di un'elevata contaminazione dell'aria esterna con polveri fini o pollini.
- I passaggi d'aria immessa possono essere collocati in qualunque punto del locale.
- Il fonoisolamento verso l'esterno è migliore rispetto a tutti gli altri sistemi.
- Con un buon recupero di calore e un involucro dell'edificio ermetico, le perdite termiche per ventilazione sono minori rispetto a tutti gli altri sistemi. Inoltre, grazie alla sola lievemente più bassa temperatura dell'aria immessa, il comfort termico è migliore rispetto agli altri sistemi.
- Con un recupero di umidità, in inverno è possibile aumentare l'umidità dell'aria interna.
- La manutenzione dei filtri è centralizzata (e non avviene in ogni locale).
- La posizione della presa dell'aria esterna può essere scelta – a differenza della ventilazione tramite le finestre, degli impianti d'aspirazione e degli apparecchi di ventilazione per singolo locale.

#### **Svantaggi**

- Il fabbisogno energetico per il convogliamento dell'aria è superiore a quello degli altri sistemi.

– Il fabbisogno di spazio per le installazioni di ventilazione e gli investimenti sono maggiori rispetto a quelli della ventilazione tramite le finestre e degli impianti d'aspirazione. Nel contesto dei rinnovi, possono anche essere maggiori rispetto a quelli degli apparecchi di ventilazione per singolo locale.

– La distribuzione dell'aria, in particolare quella dell'aria immessa, deve essere considerata fin dalle prime fasi di progettazione.

### **Ventilazione con funzione di riscaldamento**

In molte case monofamiliari conformi allo standard della casa passiva, l'impianto di ventilazione ha anche una funzione di riscaldamento (riscaldamento ad aria). La ventilazione, il riscaldamento e la produzione di acqua calda sono spesso assicurati da un apparecchio multifunzionale (vedi capitolo 9.10). La progettazione e la realizzazione di tali sistemi sono molto impegnative. Si raccomanda vivamente di rivolgersi a specialisti con una formazione e un'esperienza adeguata.

Secondo la SIA 382/5, gli impianti di ventilazione devono essere utilizzati per il riscaldamento dei locali solo se non aumenta il flusso di aria esterna oltre il valore igienicamente necessario in modalità di ventilazione normale. Ciò consente di coprire un massimo di circa 10 W per m<sup>2</sup> di superficie di riferimento energetico in termini di potenza termica.

Nel caso del principio a cascata, a causa del riscaldamento dei locali, nella zona di transito deve pure venire immessa aria calda. Il principio di collegamento non è un'opzione in questo caso.

Durante l'esercizio di riscaldamento, il controllo/regolazione del fabbisogno in funzione della qualità dell'aria interna è possibile solo in misura molto limitata. Soprattutto in presenza di basse temperature esterne, è necessario un esercizio continuo. A causa della tendenza a flussi d'aria più elevati e dell'esercizio in funzione del carico termico, occorre verificare se sono necessarie misure speciali per raggiungere l'umidità interna minima richiesta (vedi anche capitolo 10.4).

### Funzioni speciali

Nell'ambito del concetto di ventilazione, occorre chiarire se la ventilazione meccanica controllata debba essere dotata di funzioni speciali. Ciò riguarda in particolare:

- Il raffreddamento o preraffreddamento dell'aria immessa
- Le misure speciali per la protezione del RC dalla formazione di ghiaccio (vedi capitolo 9.5)

Ciò può comportare la necessità di impiego di uno scambiatore di calore dal terreno o un apparecchio multifunzionale.

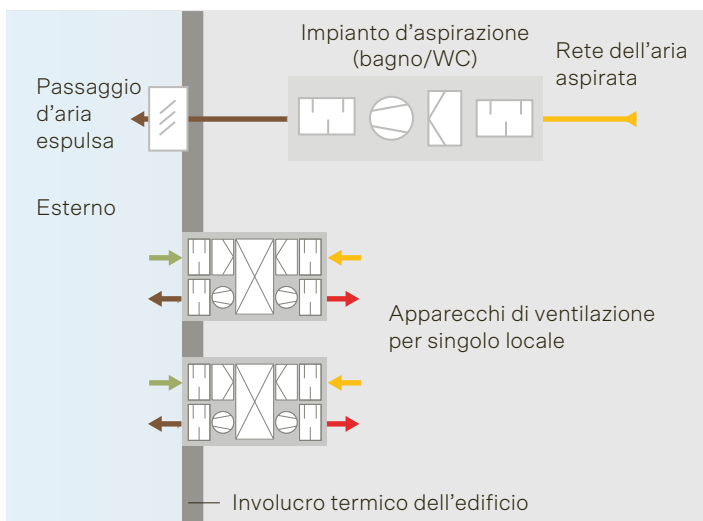
## 4.4 Ventilazione per singolo locale, combinata con impianti d'aspirazione

### Funzione

Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale sono dotati di ventilatori per l'aria immessa e l'ASP, filtri e RC. Il trattamento dell'aria è quindi lo stesso come per la ventilazione meccanica controllata.

Nella pratica, gli apparecchi di ventilazione per singolo locale sono solitamente combinati con impianti d'aspirazione. Bagni, docce e WC non sono dotati di apparecchi di ventilazione per singolo locale. Per contro, l'aria aspirata (senza RC) viene convogliata verso l'esterno e l'aria di compensazione fluisce per effetto della sottopressione. Il dimensionamento è descritto nel capitolo 8.1.

Figura 4.4: Apparecchi di ventilazione per singolo locale combinati con un impianto d'aspirazione.



La figura 4.4 mostra un sistema in cui gli apparecchi di ventilazione per singolo locale sono combinati con un impianto d'aspirazione regolato in funzione del fabbisogno.

### Apparecchi di ventilazione per singolo locale e distribuzione dell'aria

È logico che gli apparecchi di ventilazione per singolo locale siano utilizzati in primo luogo per il principio a singolo locale. Tuttavia, sono ipotizzabili anche soluzioni in cui vengono combinati con il principio di collegamento, ad esempio per un appartamento di 2 locali.

Alcuni apparecchi dispongono di cosiddetti allacciamenti a locali secondari. In questo caso, i locali adiacenti possono essere ventilati tramite una condotta dell'aria aggiuntiva. In questo modo si crea una piccola ventilazione a cascata. In linea di principio, questa soluzione è efficiente e sensata, ma rientra nel principio a cascata.

### Vantaggi

- Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale sono adatti per l'installazione a posteriori in edifici esistenti. Possono ad esempio essere installati specificamente nelle camere da letto di persone allergiche ai pollini o in luoghi esposti al rumore.
- La ventilazione per singolo locale è l'unico sistema di ventilazione residenziale in cui la regolazione locale per locale è realizzabile di serie e senza costi aggiuntivi.
- Il fabbisogno energetico per il convogliamento dell'aria con apparecchi efficienti è inferiore rispetto alla ventilazione meccanica controllata.
- Con apparecchi di alta qualità, il RC riduce le perdite di calore per ventilazione di circa il 60%.
- Alcuni apparecchi sono dotati di scambiatori entalpici. Ciò consente di aumentare l'umidità relativa interna in inverno di circa il 5%.

### Svantaggi

- I ventilatori si trovano nelle camere! Di conseguenza, gli apparecchi di ventilazione per singolo locale sono solitamente più rumorosi degli altri sistemi. Alcuni degli apparecchi disponibili sul mercato non soddisfano i requisiti acustici previsti dalle norme.
- L'indice di fonoisolamento verso l'esterno è inferiore a quello delle ventilazioni meccaniche controllate.
- La manutenzione è elevata poiché in ogni camera è installato un apparecchio. I filtri devono essere sostituiti da due a quattro volte all'anno. Inoltre, è necessario pulire una o due volte all'anno anche le parti soggette a sporcizia, come le griglie per l'aria esterna e anti-insetti. Uno studio pratico [2] ha dimostrato che questi intervalli di manutenzione sono necessari per garantire l'apporto d'aria progettato. Questo aspetto deve essere preso in considerazione sin dalla fase di progettazione, soprattutto nel caso di appartamenti in affitto (accesso a ogni singola camera da letto, costi). In ogni caso, non è possibile presupporre che questi lavori di manutenzione vengano eseguiti dagli inquilini.
- A causa della protezione dalla formazione di ghiaccio del RC, la maggior parte degli apparecchi si spegne completamente a temperature esterne inferiori a circa  $-3^{\circ}\text{C}$  o disattiva il RC, ad esempio spegnendo il ventilatore dell'aria immessa. Ciò significa che quando le temperature esterne sono basse, bisogna passare alla ventilazione tramite le finestre o accettare che l'aria fredda esterna entri nell'abitazione attraverso fessure e fughe. Pertanto, il vantaggio del RC non può essere preso in considerazione nel dimensionamento del riscaldamento (cfr. svantaggi degli impianti d'aspirazione).
- In diversi apparecchi, i flussi d'aria immessa e aspirata sono fortemente influenzati dal vento e dalla sporcizia. Ciò riduce il beneficio energetico.
- La posizione della presa d'aria esterna non può essere selezionata liberamente. Ciò significa che potrebbe rendersi necessario prelevare l'aria esterna su una

facciata che dà sulla strada. In estate, aria esterna fortemente riscaldata può venire prelevata sulle facciate soleggiate.

- L'integrazione architettonica degli apparecchi di ventilazione per singolo locale è difficoltosa, soprattutto perché deve essere garantito un buon accesso per la manutenzione.

### Limiti d'impiego

- A causa della protezione dalla formazione di ghiaccio del RC, l'impiego di apparecchi di ventilazione per singolo locale in climi esterni freddi deve essere valutato con attenzione. Se la protezione dalla formazione di ghiaccio viene attivata a  $-3^{\circ}\text{C}$ , il RC a Davos, ad esempio, sarebbe disattivato per circa 1800 ore, ovvero 2,5 mesi all'anno.
- In molti apparecchi, il flusso d'aria è molto sensibile alle fluttuazioni di pressione. Il vento, un forte effetto camino (effetto ascensionale dovuto a differenze di temperatura) e la sporcizia causano un forte squilibrio tra i flussi d'aria immessa e aspirata (disbalance). Ciò compromette la funzione di ventilazione e indebolisce i vantaggi del RC. In luoghi con forte influenza del vento, quindi anche in edifici di altezza elevata o in zone di ventilazione su più piani (ad esempio in case monofamiliari), vanno presi in considerazione solo prodotti selezionati con un'elevata stabilità del flusso d'aria.

L'economicità non può essere valutata in modo chiaro. Tuttavia, a parità di qualità (rumore, filtro, durabilità, stabilità di pressione), occorre aspettarsi costi più elevati nelle nuove costruzioni rispetto a quelli di una ventilazione meccanica controllata progettata consapevolmente in termini di costi. Anche i costi di manutenzione ed energia sono in genere più elevati.

## 4.5 Impianti per singoli versus impianti per più appartamenti

Un impianto per singolo appartamento alimenta un unico appartamento. Un impianto per più appartamenti alimenta diversi appartamenti. Entrambe le tipologie sono possibili sia per impianti d'aspirazione che per ventilazioni meccaniche controllate. La figura 4.5 mostra questo aspetto con l'esempio di una ventilazione meccanica controllata.

Il seguente confronto si riferisce principalmente alla ventilazione meccanica controllata. Tuttavia, diversi punti valgono anche per gli impianti d'aspirazione.

### Comfort termico

Con un impianto per più appartamenti, il riscaldamento dell'aria immessa può essere facilmente implementato se necessario. Ciò è particolarmente vantaggioso in luoghi con basse temperature esterne, ad esempio nelle regioni alpine.

### Rumore

Il rischio di trasmissione del suono da un appartamento all'altro è minore con un impianto per singolo appartamento. Con una realizzazione professionale, tuttavia, anche con gli impianti per più appartamenti il rischio è minimo.

Per contro, con unità di ventilazione per appartamenti di alta qualità, negli impianti per più appartamenti si può tendenzialmente ottenere un livello sonoro più basso nelle camere. Tuttavia, se nell'impianto per più appartamenti vengono installati regolatori di flusso d'aria costante a basso costo, l'impianto per singolo appartamento risulta migliore. Nel caso degli impianti per singolo appartamento, gli apparecchi di ventilazione si trovano in parte all'interno dell'appartamento, il che può essere uno svantaggio dal punto di vista acustico. A seconda della situazione, tuttavia, gli apparecchi possono essere installati anche all'esterno dell'appartamento.

### Controllo/regolazione

Gli impianti per singolo appartamento possono essere dotati di regolazione in

### Centralizzato o decentralizzato?

In Germania, per «impianti decentralizzati» si intendono gli apparecchi di ventilazione per singolo locale. Il termine «ventilazione per singolo appartamento» utilizzato in Svizzera, in Germania è inteso come un «impianto centralizzato». Per evitare fraintendimenti, si raccomanda quindi di utilizzare i termini della SIA 382/5.

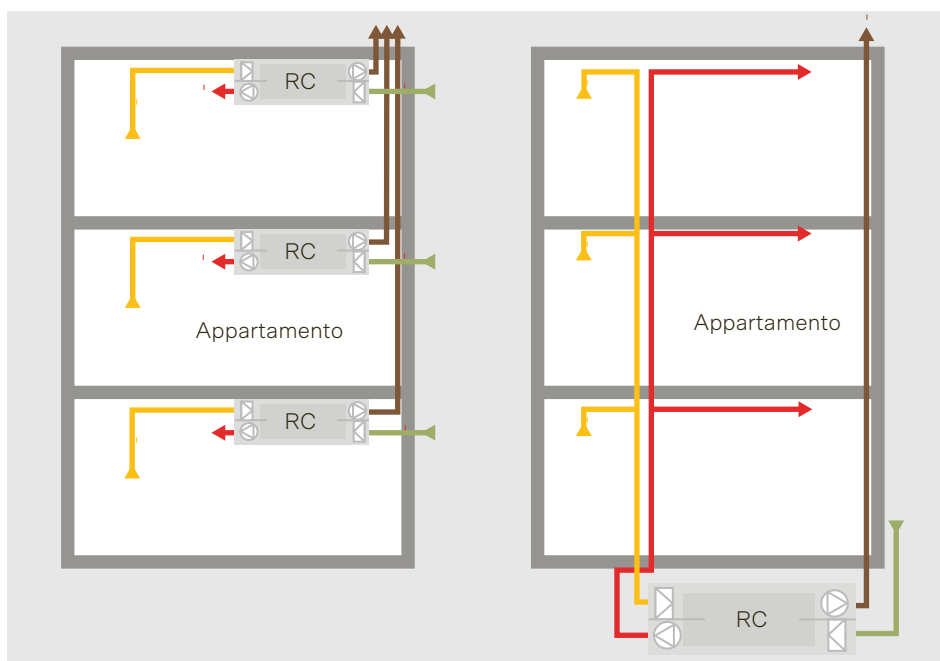


Figura 4.5: Ventilazione meccanica controllata come impianto per singolo appartamento (a sinistra) e come impianto per più appartamenti.

funzione del fabbisogno per appartamento. Per gli impianti per più appartamenti è necessaria inoltre un'unità di ventilazione per appartamento. Nelle nuove costruzioni lo standard Minergie richiede un controllo o una regolazione individuale per entrambe le tipologie.

### **Manutenzione**

Negli impianti per più appartamenti è necessaria unicamente la manutenzione dell'apparecchio di ventilazione. In particolare, per la sostituzione dei filtri si tratta di un vantaggio non indifferente.

Nel caso degli impianti per singolo appartamento, la sostituzione del filtro è particolarmente dispendiosa se a tale scopo è necessario accedere a ogni appartamento. Tuttavia, esistono anche soluzioni in cui l'accesso agli apparecchi è possibile dall'esterno dell'appartamento, in alcuni casi con un locale tecnico in comune.

### **Consumo elettrico**

Gli impianti per singolo appartamento hanno solitamente una rete di distribuzione più corta, per contro l'efficienza del ventilatore è inferiore. Nella pratica, gli impianti per singolo appartamento presentano di regola prestazioni migliori in termini di consumo elettrico. Il motivo del maggiore consumo di elettricità degli impianti per più appartamenti risiede nel fatto che spesso presentano perdite di carico più elevate rispetto a quanto specificato nella SIA 382/1. Di solito ciò è dovuto ai regolatori di flusso (prodotti di bassa qualità) e alla calibrazione. Tuttavia, un impianto per più appartamenti progettato professionalmente e calibrato con cura non deve necessariamente presentare un consumo energetico superiore a quello dei rispettivi impianti per singolo appartamento.

### **Recupero di calore e umidità, utilizzo del calore residuo**

Gli apparecchi di ventilazione degli impianti per singolo appartamento tendono a recuperare più calore rispetto a quelli per più appartamenti. Inoltre, il re-

cupero di umidità è più facile da implementare nel caso degli impianti per singolo appartamento. Attualmente, il recupero di calore con i rotori non è raccomandato per gli impianti per più appartamenti perché vi è il rischio di trasmissione di odori di cottura. Questo problema potrebbe essere risolto in futuro con rivestimenti speciali per il rotore.

Il recupero di umidità con uno scambiatore di calore a piastre (scambiatore entalpico, solitamente basato su membrane permeabili all'acqua) è realizzabile con un impianto per singolo appartamento e per più appartamenti. Nel caso di un impianto per più appartamenti, il rischio di trasmissione di odori deve essere valutato con il fornitore dell'apparecchio. Inoltre, occorre verificare come garantire la protezione contro l'umidità con un'aria immessa comune per i diversi appartamenti (vedi capitolo 2.4).

Il beneficio del RC può ridursi a causa di flussi termici indesiderati, soprattutto nelle zone d'installazione (vedi capitolo 9.7). Sotto questo aspetto, gli impianti per più appartamenti solitamente non sono problematici. Nel caso degli impianti per singolo appartamento, si tratta essenzialmente di una questione di ubicazione dell'apparecchio (vedi capitolo 6.4). Con uno scambiatore entalpico, la protezione dalla formazione di ghiaccio per il RC può essere risolta in modo elegante per gli impianti per singolo appartamento nell'Altopiano svizzero. Se non è previsto uno scambiatore entalpico, la protezione dalla formazione di ghiaccio per gli impianti per più appartamenti può essere risolta in modo più semplice ed energeticamente efficiente rispetto a quelli per singolo appartamento (vedi capitolo 9.5). Per gli impianti d'aspirazione con pompe di calore sull'aria aspirata, la soluzione più adatta è essenzialmente una questione di tipologia di approvvigionamento di acqua calda. Per una produzione di acqua calda decentralizzata un impianto per singolo appartamento è più vantaggioso. Nel caso di una produzione di acqua calda centralizzata, è appropriato un impianto per più appartamenti.

### Protezione antincendio

Gli impianti che alimentano diversi comparti di ventilazione richiedono speciali misure di protezione antincendio, ad esempio diverse condotte verticali o serrande tagliafuoco (vedi anche capitolo 1.8). Questo vale soprattutto per gli impianti per più appartamenti. Tuttavia, possono riguardare anche gli impianti per singolo appartamento con condotte dell'aria esterna o dell'aria espulsa comuni. Gli apparecchi di ventilazione che alimentano diversi comparti di ventilazione devono essere dotati di un rilevatore di fumo all'ingresso dell'aria aspirata, che

spegne l'impianto di ventilazione e chiude le serrande tagliafuoco al momento di una rilevazione.

### Costi

Nelle piccole case plurifamiliari con un massimo di circa 8 appartamenti, gli investimenti per gli impianti per singolo appartamento sono spesso inferiori a quelli per più appartamenti. Nei costi occorre tenere conto anche delle zone di installazione. Nel caso degli impianti per più appartamenti, esse dipendono in larga misura dall'ubicazione dell'apparecchio. Va notato che lo spazio richiesto

Critério	Indicatori
Energia di esercizio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabbisogno di elettricità per il convogliamento dell'aria</li> <li>- Fabbisogno di elettricità per l'energia ausiliaria e la protezione dalla formazione di ghiaccio del RC</li> <li>- Perdite termiche per ventilazione tenendo conto dell'effettivo rendimento del RC (disequilibrio, protezione dalla formazione di ghiaccio) e di perdite di calore indesiderate (perdite di distribuzione)</li> </ul>
Energia grigia	Come indicatore delle emissioni grigie di gas a effetto serra, dei punti di impatto ambientale, nonché della demolizione e dello smaltimento
Costi di investimento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costi per la costruzione e il rinnovo dei dispositivi di ventilazione</li> <li>- Costi per il locale dei dispositivi di ventilazione</li> </ul>
Manutenzione	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costi di manodopera per la manutenzione</li> <li>- Costi del materiale durante l'esercizio (filtri di ricambio)</li> <li>- Facilità di manutenzione</li> <li>- Sostituzione di componenti</li> </ul>
Fonoisolamento esterno	Fonoisolamento per fonti esterne secondo la SIA 181: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indebolimento del livello di fonoisolamento in opera a causa dei dispositivi di ventilazione</li> </ul>
Fonoisolamento interno	Fonoisolamento per fonti interne secondo la SIA 181: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Indebolimento del livello di fonoisolamento in opera tra appartamenti</li> <li>- Indebolimento del livello di fonoisolamento in opera internamente all'appartamento</li> <li>- Rumore dei dispositivi di ventilazione</li> </ul>
Qualità dell'aria interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contenuto di CO<sub>2</sub> dell'aria interna</li> <li>- Immissione o rimozione di contaminanti dell'aria esterna (polveri fini, pollini)</li> <li>- Rimozione di contaminazione interna da materiali di costruzione e dispositivi</li> </ul>
Umidità dell'aria interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rischio di bassa umidità dell'aria interna in inverno</li> <li>- Protezione contro l'umidità secondo la SIA 180</li> </ul>
Comfort termico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rischio di corrente d'aria</li> <li>- Contributo alla protezione termica estiva (indebolimento o supporto)</li> </ul>
Versatilità	Capacità del sistema di ventilazione di resistere a cambiamenti esterni e di soddisfare i requisiti (qualità dell'aria, comfort, consumo energetico, ecc.) anche in condizioni mutevoli; tra questi: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Occupazione degli appartamenti</li> <li>- Comportamento dell'utente, in particolare finestre aperte</li> <li>- Posizione di apertura delle porte interne dell'appartamento</li> <li>- Vento</li> <li>- Sporcizia/manutenzione</li> <li>- Possibilità di adeguamento del sistema</li> </ul>

Tabella 4.1: Criteri e indicatori per il confronto di sistemi di ventilazione.

per l'apparecchio in appartamento è più costoso rispetto a quello nel piano interrato. Tendenzialmente gli impianti per più appartamenti necessitano di vani verticali più piccoli.

Per quanto riguarda i costi d'esercizio, i prezzi dei filtri di ricambio e la manodopera necessaria per la loro sostituzione, questi sono spesso rilevanti nel caso degli impianti per singolo appartamento. Di norma, gli impianti per più appartamenti sono più vantaggiosi da questo punto di vista.

Tabella 4.2: Breve descrizione dei sistemi di ventilazione, messi a confronto nelle figure da 4.6 a 4.9.

Abbreviazione	Descrizione
VMC IPA	Ventilazione meccanica controllata, impianto per più appartamenti: regolato in funzione del fabbisogno, scambiatore entalpico
VMC ISA	Ventilazione meccanica controllata, impianto per singolo appartamento: regolato in funzione del fabbisogno, scambiatore entalpico
ASP + PdC	Impianto d'aspirazione con elementi dell'involucro di passaggio d'aria, pompa di calore sull'aria aspirata per il riscaldamento dell'acqua
VSL + ASP	Ventilazione per singolo locale, combinata con aria aspirata nel bagno/WC regolata in funzione del fabbisogno (on/off)
VFi + ASP	Ventilazione tramite le finestre, combinata con aria aspirata nel bagno/WC regolata in funzione del fabbisogno (on/off)

## 4.6 Confronto tra sistemi

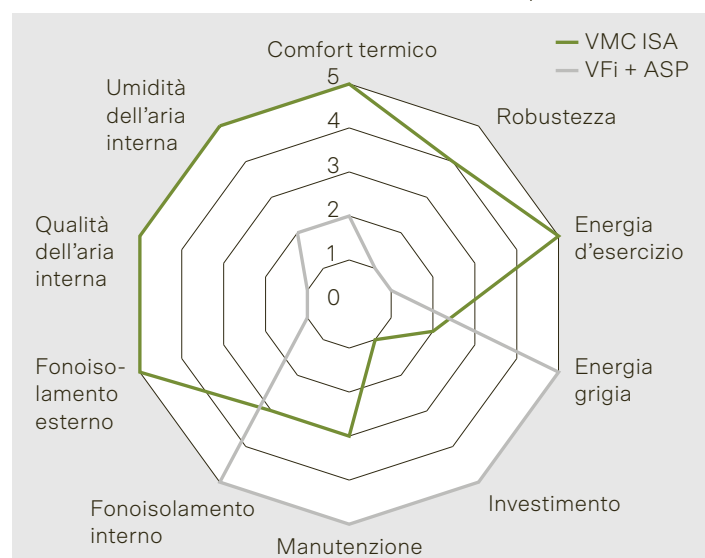
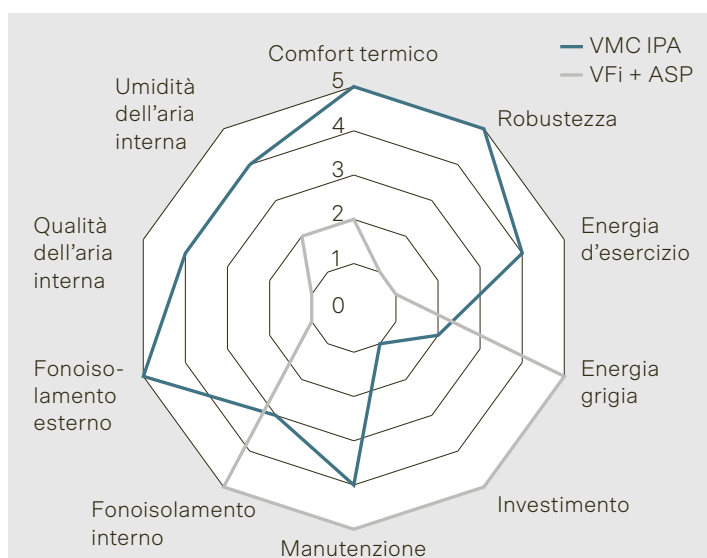
Nel progetto [4] sono stati confrontati in modo esaustivo concetti di ventilazione per edifici abitativi. Il fulcro di questo lavoro risiede nel fatto che un confronto non dovrebbe essere ridotto ai soli investimenti o al consumo energetico. Anche criteri che non sono quantificabili o lo sono solo difficilmente, come la salute e il comfort, dovrebbero essere inclusi nel processo di scelta del sistema. Per il confronto, in questo libro vengono considerati dieci criteri, secondo la tabella 4.1. Si noti, tuttavia, che la rilevanza e la ponderazione dei criteri dipendono fortemente dal singolo progetto e dalle rispettive condizioni quadro. Esse devono essere determinate individualmente da chi è incaricato di prendere le decisioni.

Le figure da 4.6 a 4.9 mostrano un confronto qualitativo tra cinque sistemi di ventilazione secondo la tabella 4.2. Il confronto riguarda un nuovo edificio plurifamiliare con cinque appartamenti da 4½ e cinque da 5½ locali nell'Altopiano svizzero. Si presume che tutti gli impianti siano conformi alle norme. Inoltre, si presume che siano state rispettate le raccomandazioni contenute in questo libro (assenza di aria immessa nella zona di transito, condotte brevi, poche pose di condotte in getto, ecc.).

La valutazione si basa sul metodo della ricerca [4] e sui vantaggi e gli svantaggi dei rispettivi sistemi di ventilazione elen-

Figura 4.6 (sinistra): Confronto qualitativo della ventilazione meccanica controllata sotto forma di un impianto per più appartamenti (VMC IPA) rispetto a una ventilazione tramite le finestre, combinata con ventilatori dell'aria aspirata (VFi + ASP).

Figura 4.7 (destra): Confronto qualitativo della ventilazione meccanica controllata sotto forma di un impianto per singolo appartamento (VMC ISA) rispetto a una ventilazione tramite le finestre, combinata con ventilatori dell'aria aspirata (VFi + ASP).





cati nei capitoli da 4.1 a 4.5. La valutazione viene effettuata con un punteggio da 1 a 5, dove 1 rappresenta il valore peggiore e 5 quello migliore. Per l'orientamento, in ogni diagramma è riportata anche la valutazione della ventilazione tramite le finestre con ventilatori d'aspirazione regolati in funzione del fabbisogno (VFi + ASP).

Per tutti i sistemi vale quanto segue: valori migliori in termini di qualità dell'aria interna, umidità dell'aria interna, comfort termico, robustezza, energia di esercizio e fonoisolamento verso l'esterno devono sempre essere compensati da investimenti più elevati e da un incremento di energia grigia.

Il fonoisolamento interno è più complesso: La soluzione minima «ventilazione tramite le finestre» non provoca pressoché alcun rumore di ventilazione e non indebolisce il fonoisolamento interno.

Con la ventilazione meccanica controllata, le carenze acustiche del sistema sono ampiamente compensate da misure tecniche quali silenziatori o un adeguato passaggio d'aria di transito.

Nei sistemi con elementi di ventilazione in facciata (elementi dell'involucro di passaggio d'aria e apparecchi di ventilazione per singolo locale), sussiste il seguente conflitto: o l'elemento isola il rumore esterno e diventa esso stesso una sorgente sonora (ventilatore), oppure

non produce alcun suono, ma isola meno bene dal rumore esterno.

In termini di manutenzione, esiste una certa analogia con il fonoisolamento interno: la ventilazione tramite le finestre, che è tecnicamente semplice, non richiede praticamente alcuna manutenzione.

Nel caso della ventilazione meccanica controllata, la manutenzione dei componenti che si sporcano maggiormente (filtro, passaggio d'aria esterna e anti-insetti) è ridotta al minimo grazie alla centralizzazione. In questo contesto, i sistemi con molti elementi in facciata sono decisamente svantaggiati. Altri elementi che tendono a sporcarsi sono i passaggi d'aria aspirata e le condotte dell'aria aspirata. In questo caso, tuttavia, non vi è alcuna differenza rilevante tra i sistemi.

Va notato che la manutenzione sull'intera durata di vita ha lo stesso valore finanziario dell'investimento. Ad esempio, i filtri di ricambio conformi alle norme per un apparecchio di ventilazione per singolo locale costano tra i 30 e i 50 Fr. Con un prezzo medio e una sostituzione di tre volte all'anno, i filtri per un appartamento di 4 locali costano circa 500 Fr. all'anno – in 20 anni sono quindi 10 000 Fr. Per il lavoro necessario, compresa la pulizia dell'apparecchio, si aggiunge almeno ancora metà di tale cifra. Per fare un paragone: Il prezzo nuovo di un apparecchio di ventilazione per singolo locale confor-

Figura 4.8: Confronto qualitativo: ventilazione per singolo locale, combinata con un impianto d'aspirazione (VSL + ASP) rispetto a una ventilazione tramite le finestre, combinata con ventilatori dell'aria aspirata (VFi + ASP).

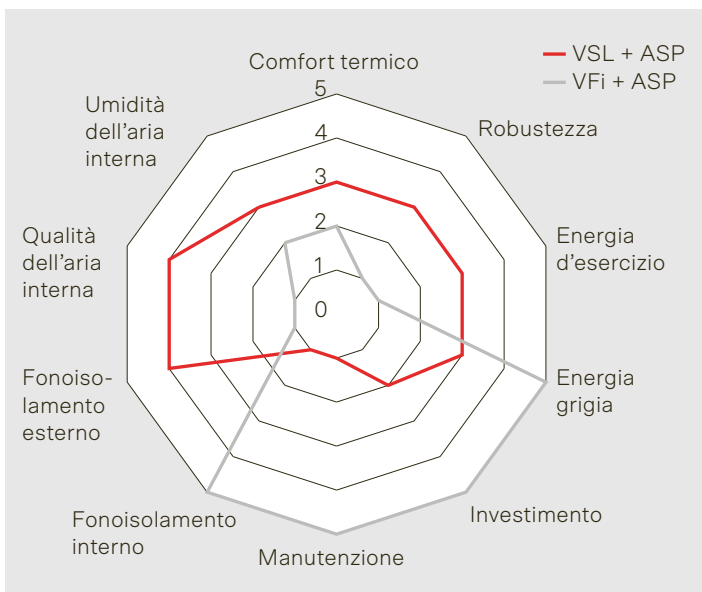
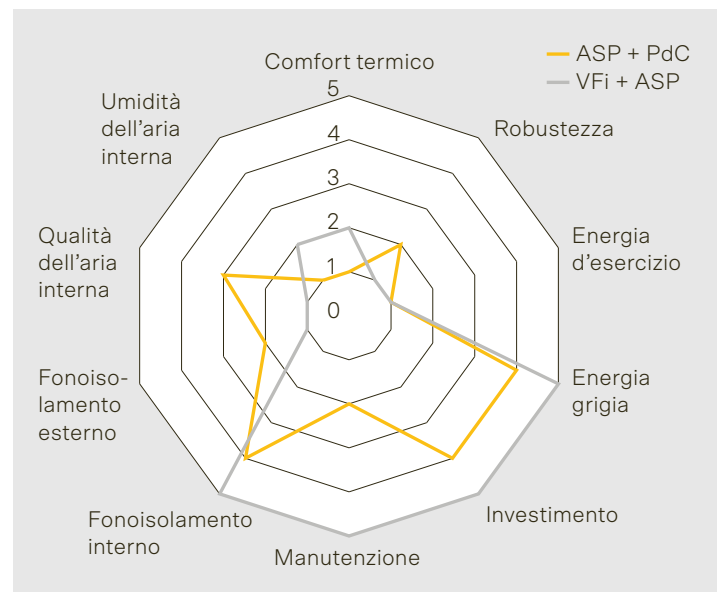


Figura 4.9: Confronto qualitativo: impianto d'aspirazione con pompa di calore sull'aria aspirata (ASP + PdC) rispetto a una ventilazione tramite le finestre, combinata con ventilatori dell'aria aspirata (VFi + ASP).





me alle norme e di qualità mediocre si aggira intorno ai 1500 Fr. La situazione è nello stesso ordine di grandezza per gli impianti d'aspirazione. Nel caso della ventilazione meccanica controllata, invece, l'investimento è di circa il doppio rispetto ai costi di manutenzione, che vanno a sommarsi sull'intera durata di utilizzo.

#### 4.7 Letteratura

- [1] Hoffmann, Caroline: Fensterlüfter, Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen. Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz, 2014
- [2] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via [www.endk.ch](http://www.endk.ch) → Dokumentation/Archiv → Studien
- [3] Conferenza dei servizi cantonali dell'energia (EnFK): Aiuti all'esecuzione EN-105 Impianti di ventilazione, Edizione dicembre 2018. Download via [www.endk.ch](http://www.endk.ch) → Esperti → Aiuti all'esecuzione
- [4] Primas, Alex; Gianrico Settembrini; Zuber, Stephan; Huber, Heinrich: Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2021

## Indicazioni per la progettazione

### 5.1 Svolgimento del progetto

La base per la progettazione degli impianti di ventilazione è un concetto di ventilazione secondo il capitolo 2.1. Con esso, la distribuzione dell'aria nell'abitazione e nei locali viene determinata almeno a livello concettuale. Il sistema di ventilazione è stato scelto, il che significa anche che è stata presa una decisione in merito a un impianto per singolo o per più appartamenti. Nell'ambito del progetto vengono sviluppati i seguenti argomenti:

- Calcolo dei flussi d'aria
- Collocazione dell'apparecchio di ventilazione e posizione delle zone d'installazione
- Posizione del passaggio d'aria esterna e d'aria espulsa
- Tipo di distribuzione di dettaglio nell'abitazione
- Dimensionamento della distribuzione dell'aria e del suo isolamento termico
- Scelta dall'apparecchio di ventilazione
- Controllo/regolazione
- Attuazione delle misure di protezione antincendio
- Concetto di pulizia
- Funzioni speciali come l'integrazione dell'aria aspirata della cucina e le precauzioni di sicurezza per i focolari nell'abitazione
- Coordinamento dei dettagli costruttivi, come lo scarico della condensa e le connessioni elettriche

Vengono inoltre elaborati i seguenti documenti:

- Schema di principio
- Piani in scala 1:50
- Se necessario, piani di dettaglio, ad esempio del locale tecnico
- Descrizione dell'impianto

La progettazione esecutiva con l'estrazione del materiale non è trattata in questo libro.

### Coordinamento

La corretta esecuzione e il funzionamento di una ventilazione residenziale dipendono in modo decisivo da un buon coordinamento. La tabella 5.1 mostra le discipline e settori professionali con cui l'impianto di ventilazione deve essere coordinato.

### Requisiti ed errori da evitare

La lista di controllo secondo la tabella 5.2 aiuta nella pratica a evitare errori. È consigliabile utilizzarla dopo ogni fase di progettazione per verificare se i criteri sono soddisfatti, nella misura in cui valgono per il rispettivo impianto. Se dei requisiti essenziali della lista di controllo non sono soddisfatti, ciò deve essere considerato un difetto.

### KWL-Tool

Il programma online «KWL-Tool» (tool VMC – ventilazione meccanica controllata) (<https://www.enerweb.ch/kwl.html>) assiste nella progettazione di ventilazioni meccaniche controllate con le seguenti funzioni:

- Dimensionamento dei flussi d'aria
- Calcolo della perdita di carico
- Calcolo acustico per tutti i locali
- Calcolo della potenza elettrica assorbita e del rapporto di temperatura risultante dall'esercizio dell'apparecchio
- Dimensionamento dell'isolamento termico di condotte e canali secondo il MoPEC 2014

Il «KWL-Tool» è uno strumento accessibile al pubblico e disponibile gratuitamente per i professionisti. Contiene un'ampia libreria di prodotti. Inoltre, è possibile inserire manualmente i dati degli apparecchi non elencati. Poiché è un'applicazione web, non è necessaria alcuna installazione. I dati dei prodotti sono sempre aggiornati. Una pagina di aiuto e un breve video facilitano le prime fasi di utilizzo.

Parti interessate/tema	Capitolo nel presente libro	Cifra nella SIA 382/5	Concetto di ventilazione	Progetto e realizzazione
<b>Committente, o la sua rappresentanza</b>				
Utilizzo (occupazione, requisiti e attività speciali)	2	2.2, 3.4	x	
Distribuzione dell'aria nell'appartamento e nei locali	3	4.4	x	
Scelta del sistema di ventilazione (vantaggi e svantaggi, limiti di impiego, criteri)	4	4.1, 4.2	x	
Tipo di esercizio e controllo/regolazione	6.2, 7.4	5.3.8	x	
Ventilazione del piano cottura	10.1	4.4.4	x	
Focolare nell'appartamento	2.8, 10.2	2.4.2	x	
Passaggi d'aria immessa, d'aria aspirata e d'aria di transito	3.7, 3.8	2.2.2, 5.3.5	x	x
Istruzioni per l'uso, brevi istruzioni per gli abitanti	12	6.4		x
Istruzione	12	6.4		x
Manutenzione e pulizia, ad esempio sostituzione dei filtri	12	7.2		x
<b>Architettura</b>				
Programma dei locali, ermeticità all'aria, radon	2	2.1	x	
Distribuzione dell'aria nell'appartamento e nei locali	3	4.4	x	
Collocazione degli apparecchi e della distribuzione principale	6.4, 6.5, 7.5		x	x
Disposizione delle condotte dell'aria (ad esempio posate in getto nelle solette), tipo e posizione dei passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata	6.3		x	x
Passaggio d'aria esterna e d'aria espulsa	6.6	5.3.2	x	x
Passaggio d'aria immessa, d'aria aspirata e d'aria di transito	3.7, 3.8	2.2.2, 5.3.5		x
Tutti gli altri punti che seguono in basso			x	x
<b>Progettazione energetica</b>				
Standard energetico (ad esempio Minergie)	2.13	2.3	x	
Protezione termica estiva	1.6, 4.1, 9.5	2.1.3	x	
Ventilazione con funzione di riscaldamento e/o pompa di calore sull'aria aspirata	4.2, 9.10	5.4.5, 5.4.2.3.3	x	
Trattamento dell'aria, in particolare recupero di calore, protezione formazione ghiaccio	9.1- 9.5	4.3, 5.4.4.2	x	x
Fabbisogno energetico	9.8	5.5	x	x
<b>Statica/ingegneria civile</b>				
Disposizione delle condotte, in particolare per le condotte posate in getto nelle solette	6.3			x
Attraversamento dell'involucro dell'edificio di AE e ESP	6.4, 6.5	5.3.2		x
Misure costruttive nel caso di scambiatori di calore dal terreno	6.7	5.3.3		x
<b>Acustica</b>				
Protezione dal rumore standard e requisiti, rumore esterno	11.1	2.2.7	x	
Protezione dal rumore costruttivo nell'appartamento (passaggi d'aria di transito)	3.8	5.3.5	x	x
Livello sonoro dell'impianto di ventilazione e misure contro la telefonia	11.5	2.2.7		x
Protezione dal rumore da fonti esterne	11.6		x	x
<b>Protezione antincendio</b>				
Compartimento tagliafuoco e compartimento di ventilazione	1.8	2.4.3	x	
Impianto per più appartamenti	4.5, 6.5		x	x
<b>Installazioni sanitarie</b>				
Scarico della condensa per l'apparecchio di ventilazione	6.4, 5.1			x
Nel caso di apparecchi multifunzionali: acqua fredda e calda	9.10		x	x
<b>Installazioni elettriche</b>				
Schema elettrico e regolazione	6.2, 7.4			x
Connessione unità di comando e sensori			x	x
Connessione degli apparecchi (tramite contatore nell'appartamento?)			x	x
Ev. connessione protezione formazione ghiaccio, post-riscaldatore e PdC	9.5, 9.10		x	x

Tabella 5.1: Coordinamento nella progettazione di impianti di ventilazione residenziale.

Parti interessate/tema	Capitolo nel presente libro	Cifra nella SIA 382/5	Concetto di ventilazione	Progetto e realizzazione
<b>Installazioni di riscaldamento</b>				
Tipo e posizione dell'emissione di calore (dovuto ai passaggi d'aria immessa)	3.1, 7.6		x	x
Dimensionamento del riscaldamento (perdite termiche per ventilazione)	4.2	Allegato D	x	x
Nel caso di scambiatori di calore terreno-salamoia: dimensionamento e allacciamento	6.7	5.3.4		
Ev. allacciamento batteria di riscaldamento dell'aria	4.5, 6.5, 9.5		x	x
<b>Cucina</b>				
Eventuale integrazione della ventilazione della zona di cottura	10.1	4.4.4	x	x
<b>Caminetti/focolari</b>				
Misure nel caso di un focolare nell'abitazione: mantenimento della pressione e precauzioni di sicurezza	2.8, 10.2	2.4.2	x	x
Alimentazione dell'aria comburente	10.2	2.4.2	x	x

Continuazione tabella 5.1.

Criteri	Sezione in questo libro	Cifra nella SIA 382/5
L'aria esterna non deve venire captata a livello del terreno o in un pozzo luce.	6.6	5.3.2
Nel caso di impianti di ventilazione meccanica, per l'aria esterna è richiesto un filtro per le polveri fini di classe ISO ePM1 50%.	9.1	5.3.6
Nel caso di elementi dell'involucro di passaggio d'aria, la classe ISO ePM10 50% è talvolta consentita.	7.6	
I filtri dell'aria sono prodotti monouso. Di regola, non possono venire puliti o lavati perché in questo modo perdono quasi tutta la loro efficacia. Inoltre, le persone che maneggiano i filtri sporchi possono venire contaminate.	9.1, 12.4, 12.5	5.3.6
Tutte le parti dell'impianto devono poter essere pulite o sostituite.	5.5, 6.8, 7.6, 8.6, 9.1, 12	2.4.4
In nessuna parte dell'impianto deve essere possibile l'accumulo di acqua stagnante. Le parti dell'impianto in cui può accumularsi acqua (ad esempio gli scambiatori di calore dal terreno) devono venire costantemente drenate.	6.6, 6.7	2.4.4
Gli impianti e i componenti di ventilazione non devono indebolire il fonoisolamento dal rumore esterno in misura tale da violare i requisiti della SIA 181. Particolare attenzione deve essere prestata agli apparecchi di ventilazione per singolo locale e ai passaggi d'aria esterna degli impianti d'aspirazione.	7.6, 8.2, 11.7	2.2.7
In un soggiorno o in una camera da letto un impianto o un apparecchio di ventilazione non deve generare un livello di pressione sonora normalizzato superiore a 25 dB(A). Ciò corrisponde ai requisiti maggiorati della SIA 181. Tale requisito deve essere soddisfatto in esercizio normale.	11.1-11.6	2.2.7
Nessun dispositivo di ventilazione deve causare una sottopressione che interferisca con un focolare (ad esempio, una stufa a legna) nell'abitazione.	2.8, 7.2, 8.5, 9.5, 10.1	2.4.2, 4.3.4, 4.4.4, 4.4.5
Nessun dispositivo di ventilazione deve causare trasferimenti d'aria tra gli appartamenti.	2.8, 2.10	2.2.5, 5.5.6
I flussi d'aria devono venire impostati, misurati e protocollati per ogni locale.	5.4, 12.2	6.2
Gli utenti devono venire istruiti. Una documentazione di esercizio dettagliata deve essere fornita.	7.6, 12.4	6.4
L'isolamento termico delle condotte che passano nelle solette o in zone di installazione strette non può venire ridotto.	6.3, 6.4, 9.7	5.5.4

Tabella 5.2: Lista di controllo con i requisiti elementari e gli errori da evitare.

## 5.2 Dimensionamento delle condotte dell'aria

### Velocità dell'aria

Le velocità dell'aria ammesse nelle condotte sono definite nella SIA 382/1 e nel MoPEC. Le condotte dell'aria vengono sempre dimensionate per l'esercizio normale. Si raccomanda di considerare una perdita di carico delle condotte dell'aria, compreso il supplemento per i raccordi (valori zeta), pari a circa 1 Pa per metro di lunghezza della rete di distribuzione. Nel caso di condotte dell'aria di piccole dimensioni, come quelle dell'aria immessa verso singoli locali, a volte sono necessari fino a 2 Pa/m per evitare diametri troppo grandi.

La tabella 5.3 elenca i flussi d'aria massimi per diametri standard di tubi rotondi in metallo. In essa sono indicati i valori raccomandati e i valori massimi ammissibili secondo la SIA 382/1. La tabella 5.4 vale analogamente per i tubi rotondi in plastica. I diametri interni sono sempre determinanti.

Per altre sezioni trasversali e flussi d'aria maggiori, vale la tabella 5.5. Oltre ai valori massimi della SIA 382/1, sono elencate le raccomandazioni di TopMotors.ch [1] per impianti con un tempo d'esercizio di 8000 h/a.

Tabella 5.3: Flussi d'aria massimi per tubi rotondi in metallo.

Tabella 5.4: Flussi d'aria massimi per tubi rotondi in plastica.

Diametro nominale in mm	Flusso d'aria massimo in m <sup>3</sup> /h	
	Raccomandazione	SIA 382/1
DN 63	24	28
DN 80	43	54
DN 100	75	85
DN 125	127	132
DN 160	225	217
DN 200	375	339

Diametro nominale in mm	Diametro interno in mm	Flusso d'aria massimo in m <sup>3</sup> /h	
		Raccomandazione	SIA 382/1
DN 75	61	22	26
DN 90	74	35	38
DN 110	93	62	73
DN 125	110	94	102
DN 140	122	120	126
DN 160	142	170	171

## 5.3 Tipi di condotte e materiali

### Energia grigia

Nella ventilazione meccanica controllata, la distribuzione dell'aria contiene dal 40 al 60 % dell'energia grigia dell'intero impianto. Le differenze sono notevoli, da un lato a causa delle diverse lunghezze delle condotte a seconda dei diversi concetti d'installazione, dall'altro a causa della scelta dei materiali.

### Ermeticità

Indipendentemente dal materiale e dalla costruzione, per l'impianto di ventilazione deve essere richiesta la classe di ermeticità C. I dettagli sono riportati nella SIA 382/1. Va notato che per l'ermeticità all'aria degli impianti di ventilazione, la classe A è la peggiore e la D la migliore (quindi diversa da altri sistemi di classificazione).

### Tubi a spirale aggraffati

I cosiddetti tubi spiro sono economici e facili da installare. L'ermeticità dei tubi dipende dalla tecnica di aggraffatura. I tubi rotondi di produttori rinomati sono solitamente molto ermetici. Tuttavia, occorre prestare attenzione nel caso di prodotti a basso costo. I potenziali punti deboli sono le giunture: se non si utilizza un sistema con guarnizioni a labbro, i giunti devono essere sigillati con nastri adesivi o termorestringenti. Per le installazioni a vista sono disponibili anche tubi a spirale verniciati.

I tubi ovali sono fabbricati con la stessa tecnica; pertanto, per quanto riguarda l'ermeticità, vale lo stesso discorso fatto per i tubi rotondi. Tuttavia, le giunture tendono a essere meno ermetiche. Il van-

Tabella 5.5: Velocità dell'aria massima nelle condotte dell'aria

Flusso d'aria in m <sup>3</sup> /h	Velocità dell'aria massimo in m/s	
	Raccomandazione TopMotors	SIA 382/1
a 40	2,5	2,5
41 a 1000	3,0	3,0
1001 a 2000	3,5	4,0
2001 a 4000	4,0	5,0
4001 a 10000	4,5	6,0
> 10000	5,0	7,0

### Fabbisogno di materiale e di spazio delle condotte

Per illustrare i diversi fabbisogni di materiale, spazio ed energia grigia, vengono qui confrontate quattro diverse geometrie di condotte. Per tutte le varianti, il flusso d'aria è lo stesso e la perdita di pressione specifica per lunghezza è pari a 1,0 Pa/m. Nel calcolo è incluso un coefficiente di resistenza (valore zeta) di 0,04 per metro di lunghezza della rete di distribuzione.

Nel caso di partenza (variante 1) si tratta di una condotta a sezione rotonda con un diametro esterno di 315 mm e un flusso d'aria pari a 1109 m<sup>3</sup>/h. Nella variante 2, viene scelta una condotta in metallo quadrata. Nella variante 3, il flusso d'aria viene suddiviso in due condotte rotonde parallele. Nella variante 4 si tratta di una condotta in metallo rettangolare con rapporto lato per altezza di 1:2. Le condotte nelle varianti da 2 a 4 non corrispondono a dimensioni standard, ma sono state determinate in modo da ottenere la stessa perdita di carico della variante 1. In termini di peso, per le condotte rotonde è stato calcolato un supplemento di 15% per le giunture e i fissaggi. Per la sezione rettangolare, il supplemento è del 30%, poiché le flange in particolare aumentano notevolmente il peso. L'energia grigia delle condotte d'aria è proporzionale al loro peso.

Il fabbisogno di superficie dei vani verticali viene calcolato per le condotte non isolate. Per le condotte rettangolari, viene ipotizzato un supplemento di 22 mm per le flange, mentre per le condotte rotonde vengono aggiunti 5 mm per il fissaggio con bride. La superficie di base dei vani verticali è definita come un rettangolo con lati di 10 mm più lunghi delle dimensioni esterne dei condotti più le flange o le bride.

La figura 5.1 e la tabella 5.6 mostrano i risultati del confronto. A parità di flusso d'aria e di perdita di carico, la condotta quadrata richiede ben l'80% in più di metallo zincato rispetto a quella rotonda. Pertanto, anche l'energia grigia è superiore di circa l'80%. Nel caso di condotte non isolate, la sezione trasversale rettangolare non offre alcun vantaggio nemmeno in termini di fabbisogno di spazio. Con l'isolamento, la condotta rotonda occuperebbe uno spazio leggermente superiore a quello della condotta quadrata.

Anche con rapporti lato per altezza di 1:2, l'energia grigia delle varianti rotonde è inferiore a quella della condotta rettangolare. Tuttavia, il fabbisogno di spazio aumenta maggiormente per la variante rotonda rispetto a quella rettangolare.

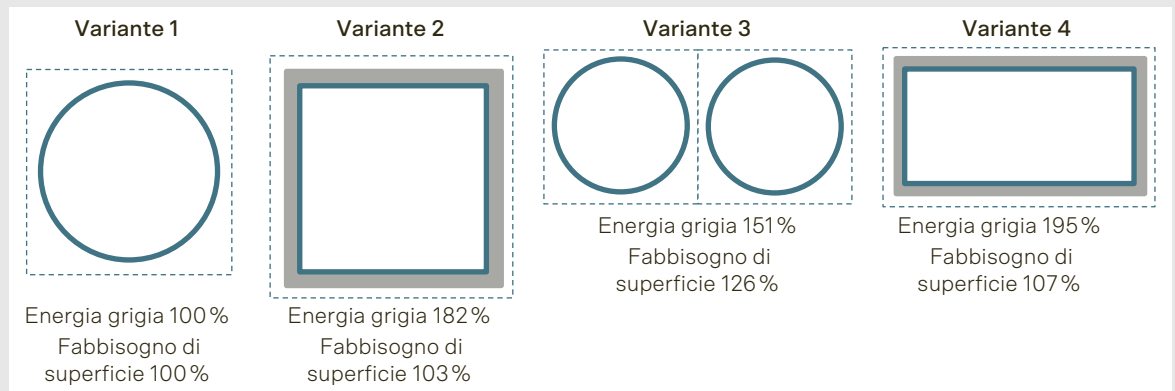


Figura 5.1: Varianti di condotte in metallo rotonde e rettangolari per 1109 m<sup>3</sup>/h di flusso d'aria e 1,0 Pa/m di perdita di carico.

Dimensione	Unità	Variante			
		1	2	3	4
Dimensioni esterne	mm	Ø 315	286 x 286	2 x Ø 237	204 x 408
Spessore della lamiera	mm	0,6	1,0	0,6	1,0
Velocità dell'aria	m/s	4,0	3,8	3,5	3,7
Peso per metro di lunghezza	kg	6,4	11,7	9,7	12,5
Fabbisogno di spazio per vano verticale	m <sup>2</sup>	0,141	0,144	0,170	0,150

Tabella 5.6: Dettagli delle varianti della figura 5.1.

taggio dei tubi ovali è la loro altezza ridotta (da 80 mm). I raccordi per tubi ovali sono costosi.

#### **Condotte in metallo rettangolari**

Le condotte in metallo rettangolari contengono una quantità di energia grigia significativamente maggiore per metro di lunghezza rispetto ai tubi a spirale (vedi riquadro). Le classiche condotte in metallo non dovrebbero essere utilizzate per gli impianti di piccole dimensioni.

#### **Isolamento termico**

Le condotte fredde nei locali caldi e le condotte calde nei locali freddi devono essere isolate termicamente. Per «locali freddi» si intendono quelli che si trovano al di fuori dell'involucro termico dell'edificio (cantina, garage, soffitta fredda, ecc.). Per «condotte fredde» si intendono le condotte dell'AE e dell'ESP.

Le «condotte calde» sono quelle dell'aria immessa e dell'aria aspirata. Inoltre, le condotte devono essere isolate se vi è il rischio che l'umidità dell'aria condensasi sulle superfici di quest'ultime. L'isolamento termico delle condotte dell'aria deve essere realizzato secondo l'aiuto all'esecuzione EN-105 del MoPEC 2014. I rispettivi requisiti e l'influenza delle perdite termiche nelle condotte dell'aria in relazione all'efficacia di un RC vengono trattati nel capitolo 9.7.

### **5.4 Calibrazione e misurazione**

I flussi d'aria immessa e d'aria aspirata devono essere calibrati, misurati e annotati per ogni locale. Negli impianti per singolo appartamento, i flussi d'aria immessa e d'aria aspirata totali di un appartamento vengono impostati sull'apparecchio di ventilazione. Negli impianti per più appartamenti, ciò avviene solitamente con regolatori di flusso (unità di ventilazione). Sia la calibrazione che la misurazione devono poter essere effettuate in qualsiasi momento con un onere ragionevole. Nel progetto occorre tenere conto di questo aspetto.

I raccordi di calibrazione e gli elementi di taratura generano rumore di circolazione. Se si prevede una riduzione del flusso con l'ausilio di passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata regolabili, è necessario valutare se il rumore del flusso soddisfa i requisiti normativi con le impostazioni previste. A questo proposito, la regolazione dei flussi d'aria direttamente all'uscita o all'ingresso dei collettori è spesso più vantaggiosa dal punto di vista acustico.

Si sconsiglia l'impiego di regolatori di flusso costante per singoli locali. Essi causano perdite di carico elevate e ostacolano l'esercizio a più livelli.

### **5.5 Igiene e pulizia**

Per quanto riguarda l'igiene, devono essere soddisfatti i requisiti della direttiva SITC VA 104-01 [2]. Informazioni sui dettagli rilevanti dal punto di vista igienico si trovano anche nelle sezioni sui filtri (capitolo 9.1), sui sistemi di distribuzione (capitolo 6.8) e sulla consegna e l'esercizio (capitolo 12). In generale vale quanto segue: le superfici lisce sono più facili da pulire rispetto a quelle corrugate o porose.

### **5.6 Letteratura**

- [1] Scheda tematica 24 Trasporto dell'aria. Download via [www.topmotors.ch](http://www.topmotors.ch) → Conoscenze → Schede tematiche
- [2] SITC VA104-01 Raumlufttechnik – Luftqualität – Teil 1: Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte

# Progettazione della ventilazione meccanica controllata

## Punti di leva nella ventilazione meccanica controllata

Durante la progettazione, i seguenti punti contribuiscono in modo significativo alla qualità di un impianto di ventilazione.

### Impianto di ventilazione per singolo appartamento

- Collocazione dell'apparecchio vicino all'involucro termico dell'edificio.
- Ridurre al minimo le condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa all'interno dell'involucro termico dell'edificio; in nessun caso devono essere collocate in solette in calcestruzzo nella parte calda dell'edificio.
- Ridurre al minimo le condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata all'esterno dell'involucro termico dell'edificio; in nessun caso devono essere collocate in solette in calcestruzzo nella parte fredda dell'edificio.
- Impiegare apparecchi di ventilazione con classe energetica A o superiore.
- Impiegare un recuperatore di calore preferibilmente con scambiatore entalpico.
- Non impiegare batterie di riscaldamento elettrico, né come protezione dalla formazione di ghiaccio nel RC, né per il post-riscaldamento.

### Impianto di ventilazione per più appartamenti

- I vani verticali dovrebbero in pianta situarsi in prossimità dei collettori di distribuzione nell'appartamento.
- Mantenere breve la distribuzione orizzontale (tra l'appar. di vent. e i vani verticali).
- Distribuzione principale a sezione circolare (tubi a spirale).
- Potenza specifica interna del ventilatore dell'apparecchio di ventilazione  $SPF_{int} \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$  risp.  $800 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})^1$
- Pressione preliminare dell'unità di regolazione dell'aria per abitazioni o del regolatore di flusso a volume variabile max. 20 Pa.

### Distribuzione dell'aria con principio «a cascata»

- Niente aria immessa nel soggiorno.
- Condotte dell'aria immessa brevi, ad esempio con passaggi d'aria immessa sopra le porte delle camere.
- Verificare una distribuzione senza condotte posate in getto nelle solette.
- Nel caso di condotte dell'aria posate in getto nelle solette: evitare gli incroci.
- Per i locali che richiedono lunghe condotte dell'aria immessa, eventualmente con incroci: verificare una soluzione combinata con il principio «di collegamento» (vedi esempio d'impianto 3.1).
- Nel caso di regolazione in funzione della qualità dell'aria: in esercizio notturno, operare l'impianto con il flusso d'aria di dimensionamento.

### Distribuzione dell'aria con principio «di collegamento»

- Il flusso d'aria immessa dell'appartamento non deve essere superiore a quello previsto per il principio «a cascata»
- Regolazione in funzione della qualità dell'aria durante tutto il giorno

### Controllo/regolazione

Nel caso di impianti per singolo appartamento, in alternativa alla regolazione in funzione del fabbisogno, si possono prendere in considerazione interruttori manuali a tre livelli, facilmente visibili e accessibili. Nel caso di impianti per più appartamenti, gli interruttori dovrebbero essere almeno a due livelli. Eventualmente, è opportuno combinare gli interruttori manuali con un programma orario per ogni appartamento.

<sup>1</sup> Secondo l'OEEne, questo valore deve essere dichiarato dal fornitore dell'apparecchio di vent.



## 6.1 Flusso d'aria determinante

### Procedura

Il flusso d'aria determinante di un'abitazione viene stabilito in sei passi:

1. Il **flusso d'aria immessa minimo** viene determinato in base al principio della distribuzione dell'aria. A ciò si aggiunge il fabbisogno di eventuali locali subordinati alimentati dallo stesso impianto.
2. Il **flusso d'aria aspirata minimo** consiste nella somma dei flussi d'aria aspirata minimi di tutti i locali con aria aspirata. A ciò va aggiunto il fabbisogno di eventuali locali secondari e subordinati alimentati dallo stesso impianto.
3. Il **flusso d'aria determinante** per il dimensionamento corrisponde al valore più alto ottenuto nei primi due passi. In ogni caso, deve essere rispettato il flusso d'aria minimo richiesto secondo la SIA 382/5.
4. Viene valutato ora se la **protezione contro l'umidità** è mantenuta in condizioni invernali. Se necessario, il flusso d'aria viene aumentato. Per garantire la protezione contro l'umidità durante tutto l'anno vengono definite misure d'esercizio.
5. Viene in seguito stimato in quali condizioni l'**umidità minima dell'aria interna** è soddisfatta. Per soddisfare i requisiti di umidità minima dell'aria interna durante tutto l'anno, vengono definite misure d'esercizio. Se fosse necessario ridurre il flusso d'aria, si ritorna al passo 1.

6. Il flusso d'aria determinante vale sia per l'aria immessa che per l'aria aspirata e viene in seguito **suddiviso tra i locali**.

Poiché è necessario tenere conto del concetto dell'impianto, la procedura è iterativa. Ciò significa che se il concetto dell'impianto precedentemente definito non è compatibile con il flusso d'aria determinante o con le misure qui stabilite, occorre valutare la possibilità di un adattamento della distribuzione dell'aria o dell'intero concetto.

Il controllo della protezione contro l'umidità e dell'umidità minima dell'aria interna sono da intendersi solo come stime. Uno dei motivi è che non è mai possibile prevedere con esattezza la produzione di umidità in un'abitazione. Inoltre, non è altrettanto possibile prevedere il comportamento di ventilazione degli abitanti (impianto meccanico e ventilazione tramite le finestre) e l'infiltrazione.

### Esempio di calcolo 6.1: Appartamento di 4½ locali «Glatt 1»

L'impianto dell'esempio 3.1, «Glatt 1», viene dimensionato esclusivamente come «a cascata» anziché come combinazione tra «a cascata» e «di collegamento».

Condizioni quadro:

- Appartamento di 4½ locali con soggiorno nella zona di transito.
- Il dimensionamento dell'impianto e la stima relativa alla protezione contro l'umidità si basano su un'occupazione con tre persone.

- La stima relativa al mantenimento dell'umidità dell'aria interna minima si basa su un'occupazione con due persone.

- Una convenzione d'utilizzazione non esiste. Si ipotizza un utilizzo standard secondo la SIA 2024 e condizioni standard per la protezione contro l'umidità secondo la SIA 180.

- La cucina è un locale chiuso.

- In un primo momento si ipotizza un impianto con recupero dell'umidità e regolazione in funzione del fabbisogno.

Passo	Descrizione/osservazione	Flusso d'aria in m <sup>3</sup> /h	
		IMM	ASP
1	<b>Flusso d'aria immessa minimo</b> 3 locali con aria immessa da 30 m <sup>3</sup> /h	90	-
2	<b>Flusso d'aria aspirata minimo</b> Secondo la tabella 3.2: bagno 30 m <sup>3</sup> /h, cucina 20 m <sup>3</sup> /h	-	50
3	<b>Flussi d'aria minimi dell'appartamento</b> Valore più alto tra il passo 1 e il passo 2 (il valore minimo secondo la SIA 382/5 sarebbe di 50 m <sup>3</sup> /h – non rilevante in questo caso)	90	90
4	<b>Valutazione della protezione contro l'umidità e misure</b> Secondo il passo 3, il flusso d'aria per persona è di 30 m <sup>3</sup> /h. Dalla figura 2.2 si deduce che per la stazione di «Zurigo MeteoSvizzera» <sup>1)</sup> la protezione contro l'umidità è rispettata fino a circa +5°C. Misura in caso di temperature esterne più elevate o di una maggiore insorgenza di umidità: il monitoraggio dell'umidità ha la priorità sulla riduzione del flusso d'aria (esercizio continuo anziché regolazione in funzione del fabbisogno). Se la temperatura esterna media giornaliera supera i 15°C, il recupero dell'umidità viene disattivato (esercizio estivo). Non è necessario aumentare il flusso d'aria.	90	90
5	<b>Stima dell'umidità interna minima e misure</b> Con l'occupazione di due persone ipotizzata in questo esempio, dal passo 4 risulta un flusso d'aria di 45 m <sup>3</sup> /h per persona. La figura 2.2 mostra per la stazione di «Zurigo MeteoSvizzera» che l'umidità dell'aria interna minima, pari al 30%, non viene più raggiunta solo quando la temperatura esterna scende al di sotto di -2°C circa. È quindi ipotizzabile che il requisito del periodo di non raggiungimento consentito, pari a un massimo del 10%, sia ben rispettato. Pertanto, il flusso d'aria determinato al passo 4 è da questo punto di vista soddisfacente. Misure in caso di produzione di umidità inferiore alla media: manuale d'uso e istruzioni per l'esercizio dell'impianto in funzione del fabbisogno ed eventuale produzione di umidità aggiuntiva (ad esempio, umidificatore)	90	90
6	<b>Ripartizione sui locali</b> Flusso d'aria immessa per camera 30 m <sup>3</sup> /h Flusso d'aria aspirata nel bagno 40 m <sup>3</sup> /h, in cucina 50 m <sup>3</sup> /h Nota: i passaggi d'aria di transito per il bagno e la cucina devono essere adattati ai flussi d'aria – una fessura di 7 mm sotto la porta è insufficiente.	90	90
1) Nella SIA 2028 la stazione si chiama «Zurigo MeteoSvizzera», sul sito web di MeteoSvizzera invece si chiama «Zurigo/Fluntern».			

Tabella 6.1: Esempio per la determinazione del flusso d'aria determinante con il principio a cascata.

#### Discussione sulle varianti

Il flusso d'aria per un impianto basato sul principio «a cascata» rimane di 90 m<sup>3</sup>/h, uguale a quello del sistema combinato effettivamente realizzato. L'unica differenza è che nel caso della ventilazione a cascata l'aria immessa (IMM) di 30 m<sup>3</sup>/h viene fornita direttamente a tutti i locali. Pertanto, rispetto al sistema realizzato, mancano il ventilatore di collegamento per la camera 3 e l'IMM nel soggiorno o nel corridoio. Se l'appartamento fosse concepito secondo il principio «di collegamento con distribuzione attiva» con un flusso d'aria di 50 m<sup>3</sup>/h per ogni ventilatore di collegamento, si otterrebbe lo stesso flusso d'aria determinante di 90 m<sup>3</sup>/h.

La differenza è che tutta l'IMM verrebbe introdotta nel soggiorno o nel corridoio. Se la ventilazione di collegamento viene realizzata con distribuzione libera attraverso le porte aperte delle camere, si può selezionare un flusso d'aria determinante pari a 60 m<sup>3</sup>/h. Tuttavia, in questo caso, a causa della protezione contro l'umidità si dovrebbe rinunciare al recupero di umidità o alla regolazione in funzione del fabbisogno. Ad ogni modo, per rispettare l'umidità del locale minima, una delle due misure dovrebbe assolutamente venire implementata.

## 6.2 Controllo/regolazione e utilizzo

Come deducibile dall'esempio della concezione del flusso d'aria determinante, la questione del corretto controllo/regolazione è legata al principio di distribuzione dell'aria e all'eventualmente presente recupero di umidità. Sia con il recupero di umidità che con la regolazione in funzione del fabbisogno, l'umidità dell'aria aspirata deve essere monitorata.

Nel caso di una regolazione in funzione della qualità dell'aria interna, non è garantito che la protezione contro l'umidità sia mantenuta in caso di basso contenuto di CO<sub>2</sub> nell'aria interna. Per il principio «a cascata», occorre osservare anche le note del capitolo 3.3. Per quanto riguarda la protezione antincendio, vale generalmente il capitolo 1.8.

## 6.3 Distribuzione dell'aria nell'abitazione

Le note relative ai ventilatori di collegamento sono riportate nel capitolo 3.4. Qui viene trattata solo la distribuzione dell'aria per il principio «a cascata».

### Struttura a stella e ad albero

Le condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata verso/dai locali possono essere disposte a stella o ad albero, come illustrato nella figura 6.1.

I vantaggi della struttura ad albero sono:

- Condotte con una lunghezza complessiva più breve e quindi meno energia gri-

gia rispetto alla distribuzione a stella (con lo stesso materiale delle condotte)

- Nessun collettore di distribuzione
- Minore fabbisogno di spazio, poiché il collettore di distribuzione non è necessario

Uno dei principali svantaggi della struttura ad albero è la trasmissione del suono tra i locali. Per questo motivo, spesso richiede l'installazione di silenziatori contro la telefonia. Il vantaggio della struttura a stella consiste nel notevole effetto di fonoisolamento che i collettori di distribuzione garantiscono. Sono disponibili prodotti con rivestimenti fonoassorbenti che attutiscono sia l'effetto telefonia che il rumore dei ventilatori. I collettori di distribuzione devono essere accessibili per l'ispezione e la pulizia, di solito tramite un coperchio d'ispezione.

### Collocazione delle condotte a soffitto

L'installazione delle condotte a soffitto è particolarmente adatta per i passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata sopra la porta. Un grande vantaggio è la separazione tra la struttura portante e le installazioni tecniche.

Figura 6.2: Condotte dell'aria nel controsoffitto.

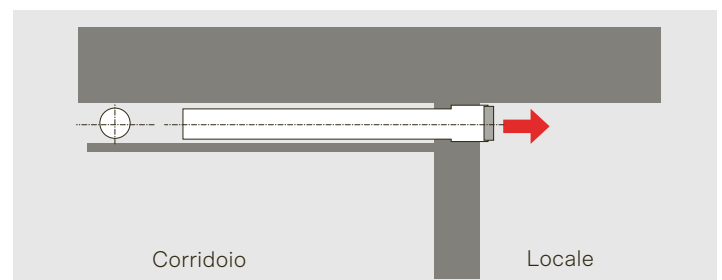
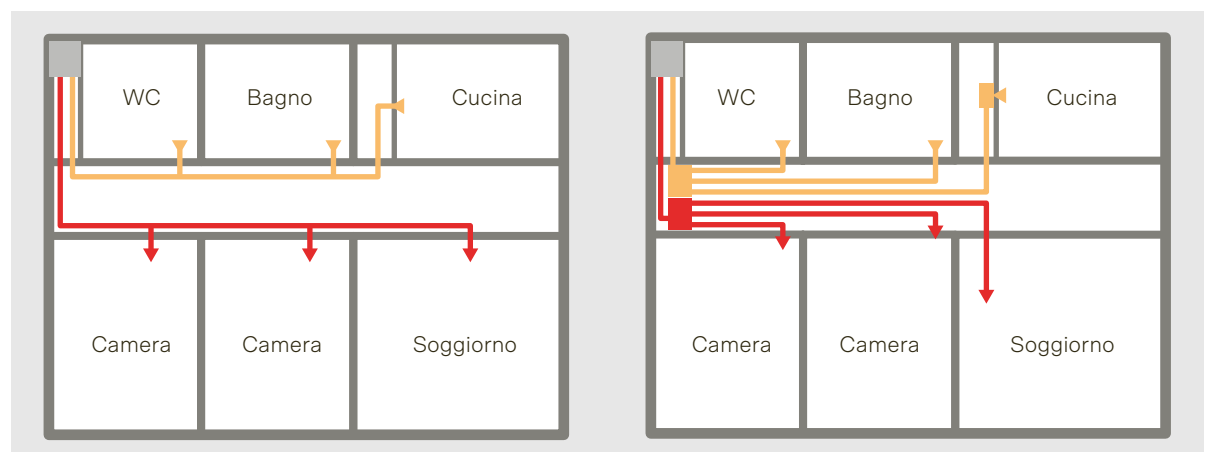


Figura 6.1: Distribuzione dell'aria in un appartamento con struttura ad albero (sinistra) e struttura a stella.



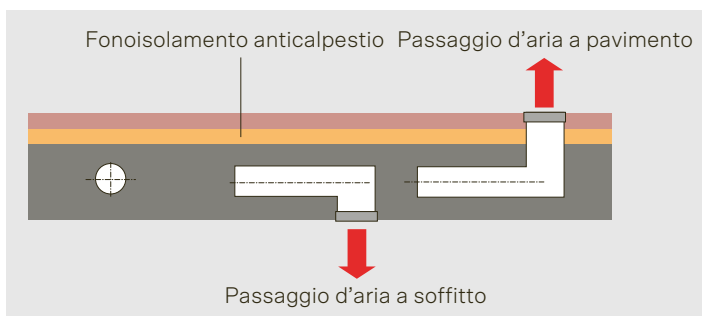
Per motivi estetici, le condotte sono solitamente nascoste da un controsoffitto. In questo modo si riduce l'altezza in luce del locale di circa 12–15 cm, che nel corridoio è architettonicamente accettabile nella maggior parte dei casi. Se necessario, nello spazio tecnico del controsoffitto possono essere installati anche i collettori di distribuzione e i silenziatori, a condizione che siano accessibili attraverso aperture d'ispezione. La figura 6.2 mostra una condotta dell'aria in un controsoffitto. Tuttavia, in linea di principio, le condotte possono essere installate anche a vista.

#### Collocazione delle condotte in soletta

Per la facilità di progettazione e installazione, i tubi della ventilazione sono spesso posati in getto nella soletta. Presupposto è che la soletta abbia uno spessore di almeno 25 cm. Inoltre, l'ingegnere civile deve chiarire se l'armatura si presta all'inserimento di condotte di ventilazione. A seconda della situazione statica e della disposizione delle condotte, l'armatura potrebbe necessitare di rinforzi. Uno svantaggio di questa variante è che le condotte non possono essere sostituite. L'integrazione delle condotte nel calcestruzzo contraddice il principio di separazione dei sistemi richiesto dall'edilizia sostenibile. Per questo tipo di installazione è necessario tenere conto di quanto segue:

- Gli incroci di condotte devono essere evitati. Nel caso di incroci di condotte rotonde, sarebbero necessarie solette in calcestruzzo di 30 cm o più. Gli incroci realizzati con condotte di tipo piatto ostacolano la pulizia.
- Nel caso di passaggi d'aria a pavimento, la condotta o la scatola di rac-

Figura 6.3: Condotta posata in getto nella soletta.



cordo del passaggio d'aria attraversa il fonoisolamento anti calpestio. Per evitare ponti acustici, sono necessari un disaccoppiamento acustico e un lavoro accurato.

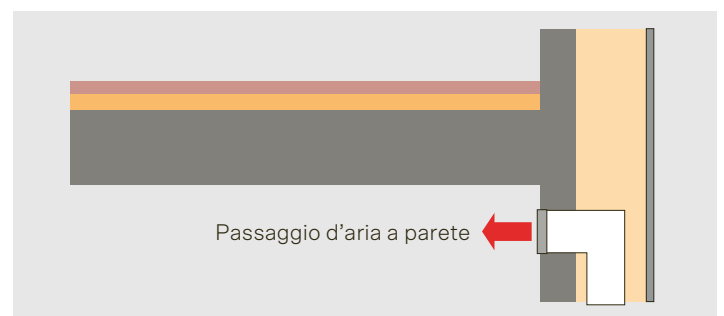
- Il lavoro di posa in getto nelle solette si svolge in una fase grezza della costruzione. Durante questa fase, il cantiere è umido e, dal punto di vista della ventilazione, sporco. Soprattutto nei passaggi d'aria a pavimento, vi è il rischio di sporcizia e di infiltrazioni d'acqua.

Le condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata possono essere posate in solette «calde». Soprattutto per le solette situate al di sopra di locali non riscaldati, è quindi importante considerare la posizione dell'isolamento termico. Le condotte nelle solette fredde difficilmente possono essere isolate termicamente in modo da mantenere la temperatura dell'aria immessa richiesta o da evitare il rischio di condensa nell'aria aspirata. Lo spessore dell'isolamento delle condotte dovrebbe essere di 50–100 mm, il che porta a diametri esterni delle condotte isolate di circa 20–30 cm. Ciò sarebbe insensato sia dal punto di vista ecologico che economico. La figura 6.3 mostra una condotta dell'aria posata in una soletta in calcestruzzo.

#### Installazione delle condotte in facciata

Nel caso di ristrutturazioni con isolamento termico della facciata, vi è la possibilità di far passare le condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata lungo la facciata. In un progetto di ricerca della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera nordoccidentale (Fachhochschule Nordwestschweiz) del 2010 [1], sono stati svi-

Figura 6.4: Distribuzione condotta in facciata.



luppati elementi di facciata prefabbricati per l'ammmodernamento con condotte di ventilazione integrate. Il relativo rapporto fornisce molti consigli utili per la posa delle condotte in facciata. La figura 6.4 mostra il tracciato delle condotte.

Per questo tipo di installazione occorre osservare quanto segue:

- Requisiti di protezione antincendio per le case plurifamiliari: le condotte sono collocate all'esterno del compartimento tagliafuoco dell'appartamento. A questo proposito, si raccomanda di contattare tempestivamente gli enti locali preposti alla protezione antincendio.
- La resistenza termica (valore R) della condotta dell'aria verso l'esterno deve

essere circa quattro volte superiore al valore R della condotta dell'aria verso i locali interni.

- Gli edifici con più di tre piani comportano condotte molto lunghe. Ciò rende più difficile la pulizia.

## 6.4 Disposizione di impianti per singolo appartamento

### Collocazione dell'apparecchio

Se l'apparecchio di ventilazione è collocato all'interno dell'involucro termico dell'edificio, è necessario assicurarsi che le condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa nella zona riscaldata siano più corte possibili (figura 6.5). A seconda

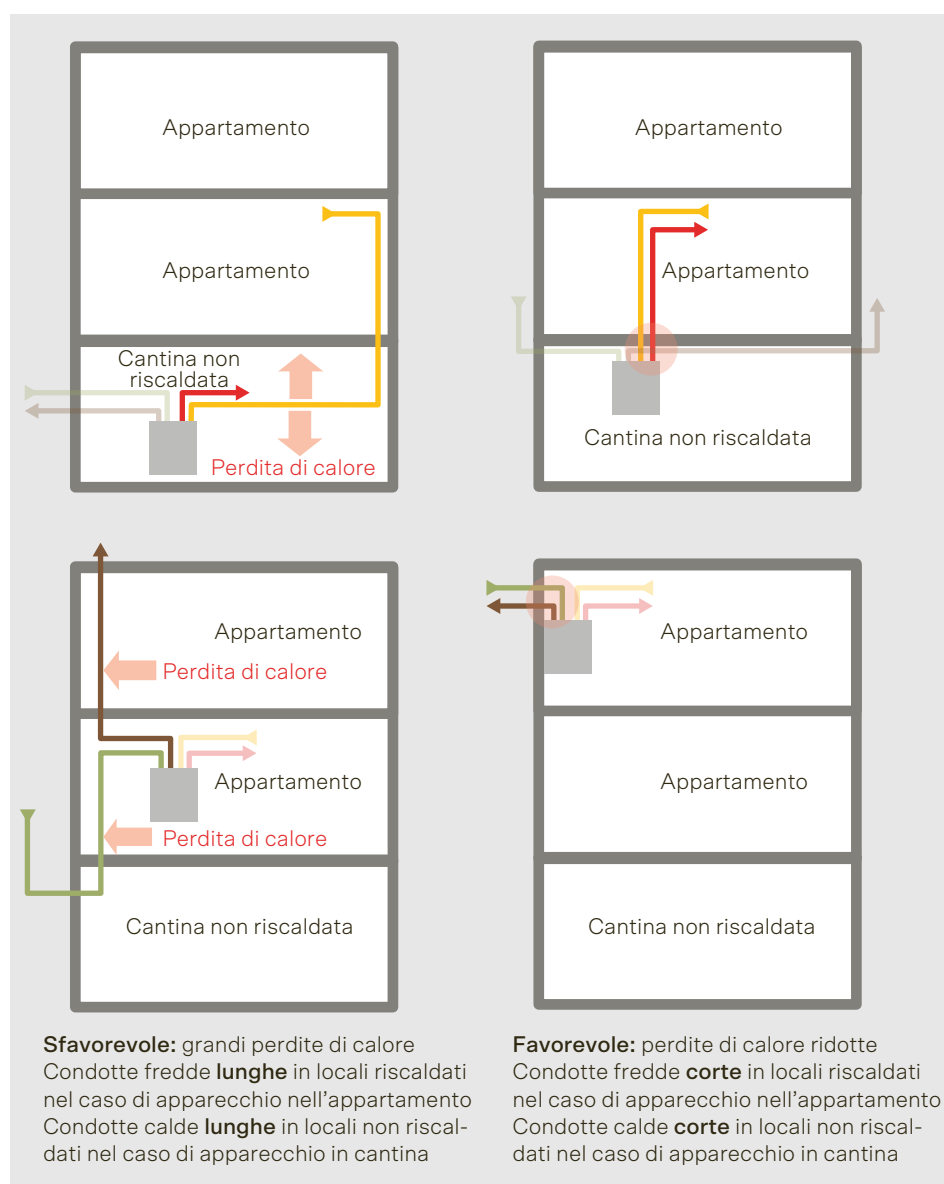


Figura 6.5: Disposizione sfavorevole e favorevole di apparecchi in relazione alle condotte principali.

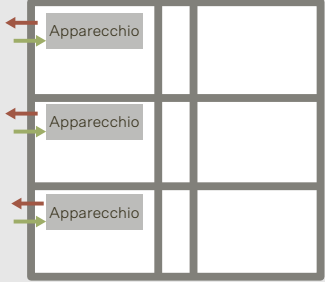
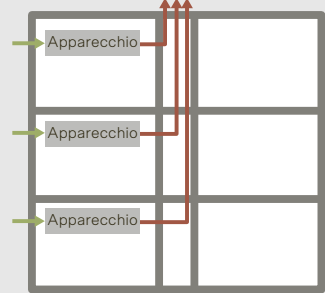
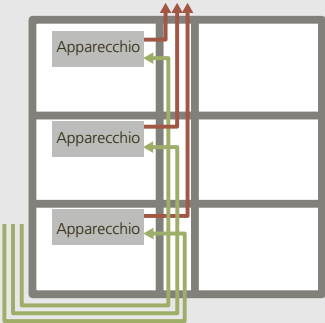
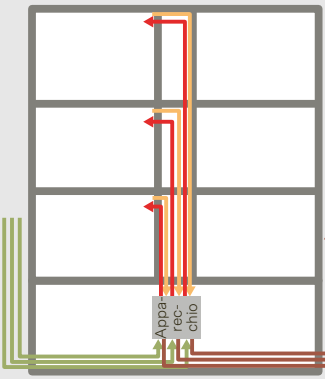
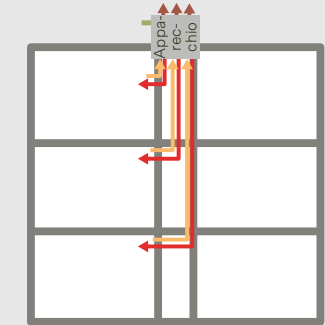
Schizzo	Variante	Vantaggi	Svantaggi
	<p><b>A) Apparecchi ai piani abitativi, passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa in facciata</b></p> <p>Avviso: non posare in getto in soletta le condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nessuna perdita termica nelle condotte dell'IMM e dell'ASP</li> <li>- Possibili perdite termiche molto ridotte nelle condotte dell'AE e dell'ESP</li> <li>- Assenza di condotte dell'aria nel vano verticale</li> <li>- Non problematico per la protezione antincendio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'ESP in facciata non è sempre consentita</li> <li>- L'apparecchio deve essere collocato il più vicino possibile a una parete esterna</li> <li>- La distanza minima tra i passaggi d'AE e d'ESP di diversi appartamenti deve essere garantita</li> </ul>
	<p><b>B) Apparecchi ai piani abitativi, passaggi d'aria esterna in facciata, aria espulsa via tetto</b></p> <p>Avviso: non posare in getto in soletta le condotte dell'aria esterna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nessuna perdita termica nelle condotte dell'IMM e dell'ASP</li> <li>- Possibili perdite termiche molto ridotte nelle condotte dell'aria esterna</li> <li>- Assenza di condotte dell'AE nel vano verticale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perdite termiche nelle condotte dell'ESP</li> <li>- Grande fabbisogno di spazio nel vano verticale per le condotte dell'ESP isolate termicamente</li> <li>- Rispettare le prescrizioni di protezione antincendio</li> </ul>
	<p><b>C) Apparecchi ai piani abitativi, aria esterna via vano verticale, aria espulsa via tetto</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nessuna perdita termica nelle condotte dell'IMM e dell'aria aspirata</li> <li>- Assenza di passaggi d'aria in facciata</li> <li>- Possibilità di protezione dalla formazione di ghiaccio con scambiatore di calore dal terreno o preriscaldamento centrale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perdite termiche nelle condotte dell'AE e dell'ESP</li> <li>- Grande fabbisogno di spazio nel vano verticale per le condotte dell'aria isolate termicamente</li> <li>- Rispettare le prescrizioni di protezione antincendio</li> </ul>
	<p><b>D) Apparecchi nel piano interrato, aria immessa e aria aspirata via vano verticale</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibili perdite termiche molto ridotte in tutte le condotte dell'aria</li> <li>- Assenza di passaggi d'aria in facciata</li> <li>- Possibilità di protezione dalla formazione di ghiaccio con scambiatore di calore dal terreno o preriscaldamento centrale</li> <li>- Accesso centralizzato agli apparecchi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabbisogno di spazio nel vano verticale (per contro condotte non isolate)</li> <li>- Gli apparecchi devono essere collocati il più vicino possibile al vano verticale</li> <li>- Rispettare le prescrizioni di protezione antincendio</li> </ul>
	<p><b>E) Apparecchi sul tetto, aria immessa e aria aspirata via vano verticale</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Possibili perdite termiche molto ridotte in tutte le condotte dell'aria</li> <li>- Assenza di passaggi d'aria in facciata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fabbisogno di spazio nel vano verticale (per contro condotte non isolate)</li> <li>- Sono necessari apparecchi speciali</li> <li>- L'accesso agli apparecchi di ventilazione deve essere risolto</li> <li>- Rispettare le prescrizioni di protezione antincendio</li> </ul>

Tabella 6.2: Varianti per la collocazione degli apparecchi e la distribuzione principale per la ventilazione meccanica controllata (impianti per singolo appartamento) in case plurifamiliari.

della situazione, queste condotte devono essere dotate di un isolamento termico da 30 a 100 mm (vedi capitolo 9.7). Il diametro esterno (compreso l'isolamento) è quindi compreso tra 200 e 400 mm. Se l'apparecchio è destinato a essere collocato nell'appartamento, non deve essere posizionato al centro dell'appartamento, ma vicino alla parete esterna. Se l'apparecchio è situato all'esterno dell'involucro termico dell'edificio, le condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata richiedono un isolamento termico da 30 a 100 mm fino all'ingresso nella zona riscaldata. È importante notare che gli apparecchi con scarico per la condensa, collegamenti per il riscaldamento o per l'acqua devono essere collocati in locali protetti dal gelo.

Il luogo di installazione deve essere scelto in modo che l'apparecchio di ventilazione non diffonda rumore nell'appartamento. Inoltre, nel locale di installazione non deve essere troppo rumoroso, perché altrimenti il rumore può raggiungere l'appartamento attraverso l'involucro dell'apparecchio o le condotte dell'aria. La tabella 6.2 mostra possibili varianti per la collocazione degli apparecchi e la distribuzione principale, con i relativi vantaggi e svantaggi. Le varianti da B a E sono volutamente rappresentate in modo che gli impianti non abbiano condotte comuni. In alcune situazioni, le condotte dell'aria esterna o dell'aria espulsa vengono unite per ottenere vani verticali più piccoli. Ciò comporta il ri-

schio di trasmissione di odori nel caso di diversi regimi di esercizio dei singoli apparecchi. Le clappe di ritegno per evitare il riflusso sono sconsigliate perché causano elevate perdite di carico e rumore. Inoltre, spesso non si chiudono in maniera ermetica. Le serrande motorizzate sono costose e necessitano di una manutenzione aggiuntiva.

Un'ulteriore soluzione per le condotte comuni consiste nel far funzionare gli apparecchi anche in modalità off con una velocità minima del ventilatore. In questo caso, però, occorre chiarire, soprattutto per gli appartamenti di proprietà, se questa modalità di funzionamento è accettata e come si risolve il controllo antincendio. Se diversi impianti per singolo appartamento sono dotati di condotte comuni, diventano un unico impianto dal punto di vista della protezione antincendio; vedi le note al capitolo 1.8.

In uno studio condotto dalla Scuola Universitaria Professionale di Lucerna (Hochschule Luzern) nel 2021 [2], le cinque varianti sono state confrontate utilizzando l'esempio di una nuova casa plurifamiliare con cinque appartamenti da 4½ locali e cinque da 5½ locali. La tabella 6.3 mostra il confronto per il consumo elettrico, le perdite termiche per ventilazione e l'energia grigia. Poiché gli indicatori variano a seconda della situazione, viene riportato l'intervallo usuale. Oltre all'analisi [2], è stato stimato il fabbisogno annuale di energia primaria non rinnovabile. A tale proposito, si è ipotizzato

Tabella 6.3: Influenza della disposizione di ventilazioni meccaniche controllate (impianti per singolo appartamento) sul fabbisogno energetico. Le varianti si riferiscono alla tabella 6.2.

Fattore d'influenza	Valore di base <sup>1)</sup>		Variante				
			A	B	C	D	E
Consumo elettrico	2 kWh/m <sup>2</sup> <sub>el</sub>	Valore medio	60 %	80 %	100 %	120 %	100 %
		Intervallo	50–70 %	70–100 %	90–120 %	100–140 %	90–120 %
Perdite termiche per ventilazione	10 kWh/m <sup>2</sup> <sub>th</sub>	Valore medio	90 %	100 %	105 %	95 %	95 %
		Intervallo	80–100 %	90–110 %	95–115 %	85–105 %	85–105 %
Energia grigia	120 kWh/m <sup>2</sup> <sub>eq</sub>	Valore medio	60 %	75 %	110 %	140 %	100 %
		Intervallo	50–90 %	60–90 %	80–140 %	100–170 %	80–120 %
Energia primaria, riscaldamento con pompa di calore	13 kWh/m <sup>2</sup> <sub>p</sub>	Valore medio	80 %	90 %	110 %	120 %	100 %
		Intervallo	65–85 %	80–100 %	105–115 %	100–140 %	90–115 %
Costi d'investimento, escl. il fabbisogno di spazio	140 Fr./m <sup>2</sup>	Valore medio	80 %	90 %	105 %	120 %	100 %
		Intervallo	60–100 %	70–110 %	80–120 %	100–140 %	80–120 %

1) riferito alla superficie di riferimento energetico

un riscaldamento a pompa di calore con un coefficiente di lavoro annuo di 3,5. Il fattore di ponderazione dell'energia primaria per l'elettricità è pari a 2,0, conformemente al valore attuale dell'UE. L'energia grigia viene ammortizzata su una durata di utilizzo di 30 anni.

La variante A ottiene i migliori risultati per tutti i fattori di influenza elencati. Le varianti D ed E sono state valutate in modo piuttosto conservativo in [2]. In condizioni favorevoli, è possibile una valutazione altrettanto buona come per il sistema B. Il confronto non tiene conto della manutenzione. Nel caso in cui la manutenzione sia affidata a un'azienda esterna, il sistema D otterrebbe chiaramente i migliori risultati.

La figura 6.6 mostra un esempio di collocazione degli apparecchi di ventilazione su un piano di un edificio abitativo:

– **Collocazione 1 nel bagno** (adatta alle varianti A e B della tabella 6.2) è facilmente risolvibile dal punto di vista acustico. Nell'esempio della figura 6.6, an-

che la distribuzione dell'aria nell'appartamento è facile da realizzare.

– Per la **collocazione 2 in zona cucina** (adatta alle varianti A e B), l'apparecchio viene installato verticalmente o orizzontalmente nell'armadio sopra la combinata della cucina. Per motivi acustici, questa collocazione dovrebbe essere scelta solo per le cucine con porte verso il resto dell'appartamento.

– Per la **collocazione 3 nel corridoio** (adatta alle varianti B e C), l'apparecchio viene installato in un armadio. Per motivi acustici, questa collocazione dovrebbe essere scelta, se possibile, solo per i corridoi con porte verso il resto dell'appartamento.

– Con la **collocazione 4 nel ripostiglio** (adatta alla variante C), nell'esempio, è possibile accedere dal vano scala o dall'appartamento. Dal punto di vista acustico, la collocazione 4 è un'ottima soluzione. In caso di accesso dal vano scala, devono essere rispettati i requisiti di protezione antincendio.

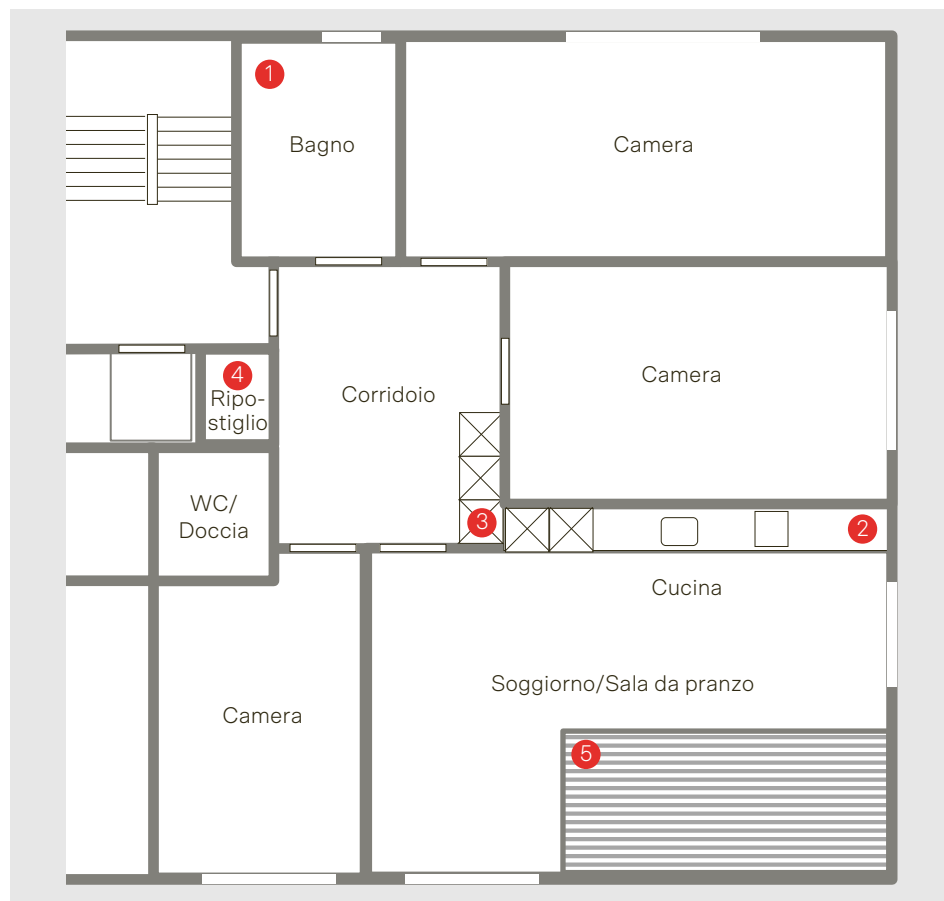


Figura 6.6: Esempi di collocazione di apparecchi di ventilazione su un piano residenziale.



– Una **collocazione 5 sul balcone o in una zona di accesso al di fuori dell'involucro termico dell'edificio** (adatta alla variante A) comporta condotte dell'aria immessa e aspirata molto brevi, a seconda delle condizioni quadro. Soprattutto se l'apparecchio è collocato sul balcone, le emissioni di odori provenienti dai balconi sottostanti (fumo, grigliate) rappresentano un rischio. Inoltre, si deve tenere conto anche del rumore proveniente dai passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa. Gli apparecchi devono essere adatti all'installazione in luoghi freddi. Poiché è anche difficile realizzare uno scarico della condensa, sono praticamente solo possibili apparecchi con scambiatori entalpici.

A causa del rumore che producono, gli apparecchi di ventilazione non dovrebbero essere collocati in soggiorni o camere da letto o in zone soggiorno/sala da pranzo/cucina aperte. Tuttavia, se non sono possibili altre collocazioni, è possibile ricorrere a misure acustiche speciali e ad apparecchi silenziosi. L'apparecchio deve quindi essere installato in un armadio appositamente costruito per l'acustica. L'armadio deve essere ermetico all'aria. Ciò richiede, tra l'altro,

una porta con una guarnizione su tutto il perimetro e una cerniera con una forza di chiusura sufficiente. Per queste soluzioni occorre sempre consultare un esperto di acustica.

#### Perdita di carico

La perdita di carico del lato aria esterna/aria immessa corrisponde alla perdita di carico dal passaggio d'aria esterna fino all'ingresso dell'apparecchio, più la perdita di carico dall'uscita dell'apparecchio fino al locale con aria immessa. Lo stesso vale per il lato aria aspirata/aria espulsa. Poiché queste perdite di carico hanno luogo all'esterno dell'apparecchio di ventilazione, vengono considerate come perdite di carico esterne.

La tabella 6.4 mostra i valori mirati e limite per le perdite di carico esterne secondo la SIA 382/5. Si noti che nella norma le perdite di carico esterne del lato aria esterna/aria immessa e del lato aria aspirata/aria espulsa vengono sommate. Pertanto, sono elencati valori alti il doppio.

#### Apparecchi di ventilazione per impianti per singolo appartamento

Secondo l'Ordinanza svizzera sull'efficienza energetica (OEEne), gli apparecchi di ventilazione devono essere dichiara-

Requisito	Perdita di carico esterna massima <sup>1)</sup>	Descrizione
Valore mirato	50 Pa	Reti di distribuzione con piccola estensione, ad esempio principio «di collegamento»
Valore limite	75 Pa	Reti di distribuzione con estensione media e grande, oltre che componenti speciali come la protezione dalla formazione di ghiaccio esterna, la cassetta filtro aggiuntiva, ecc.

1) Vale sia per il lato aria esterna/aria immessa che per il lato aria aspirata/aria espulsa

Tabella 6.4: Perdite di carico di impianti per singolo appartamento.

Denominazione secondo il Regolamento UE 1253/2014	Valore raccomandato	Classe raccomandata dalla SN EN 13142
Classe di consumo energetico specifico	A	
Efficienza termica del RC	≥ 73 %	TRS 3
Potenza in ingresso specifica (in inglese SPI)	≤ 0,25 W/(m <sup>3</sup> /h) o ≤ 720 W/(m <sup>3</sup> /s)	SPI 1
Tasso di perdita d'aria esterno	≤ 1,0 %	A1 o B1 o C1
Tasso di perdita d'aria interno (per scambiatori di calore a piastre)	≤ 1,0 %	A1
Trasmissione (per rotori)	≤ 3,0 %	B2 o C2

Tabella 6.5: Caratteristiche di prestazione di apparecchi di ventilazione residenziale secondo il Regolamento UE 1253/2014 e la classe raccomandata dalla SN EN 13142.

rati in conformità al Regolamento UE 1254/2014. In esso viene richiesto che il fornitore dell'apparecchio metta a disposizione, tra l'altro, i dati relativi alle prestazioni secondo la tabella 6.5. Si raccomanda di esigere i valori della colonna centrale, ovvero la classe elencata della norma SN EN 13142:2021. Inoltre, occorre esigere che sia presente un filtro dell'aria immessa di almeno la classe ISO ePM1 50 % e che l'apparecchio sia stato testato con tale filtro.

Si consiglia inoltre di utilizzare apparecchi con scambiatori entalpici. Ulteriori informazioni sugli apparecchi e sulla protezione dalla formazione di ghiaccio sono riportate nel capitolo 9.

## 6.5 Disposizione di impianti per più appartamenti

### Collocazione dell'apparecchio

La tabella 6.6 mostra le possibili varianti per la collocazione degli apparecchi e la distribuzione principale, con i relativi vantaggi e svantaggi. Secondo il confronto in [2], le differenze in termini di energia di esercizio, energia grigia e costi di investimento sono dell'ordine di  $\pm 5\%$ , di cui i costi delle varianti da A a D sono molto simili e la variante F si colloca nella fascia superiore.

Le differenze principali risiedono nel fabbisogno di spazio (locali tecnici, vani verticali) all'interno dell'edificio. Le varianti A e B richiedono solo il 10% circa del volume delle varianti C e D. La variante E si colloca nel mezzo. Tuttavia, occorre tenere presente che, per quanto riguarda gli apparecchi sul tetto, vi è un forte conflitto con gli appartamenti di attici, i giardini pensili, ecc.

### Unità di regolazione dell'aria residenziale e controllo/regolazione

Negli impianti per più appartamenti, occorre decidere se il livello di ventilazione negli appartamenti debba essere selezionabile o meno. La questione si pone già al momento della definizione del flusso d'aria determinante (vedi capitolo 6.1). Inoltre, per i nuovi edifici, Minergie richiede una regolazione secondo il fabbisogno e/o la regolazione per appartamento. La figura 6.7 mostra una variante con esercizio a un solo livello e una variante con controllo/regolazione secondo il fabbisogno.

È consigliato un controllo/regolazione secondo il fabbisogno per i principi «a cascata» e «di collegamento» con distribuzione attiva. Per il principio «di collegamento» con distribuzione libera, dipende dal flusso d'aria selezionato (vedi capitolo 3.5): se vengono

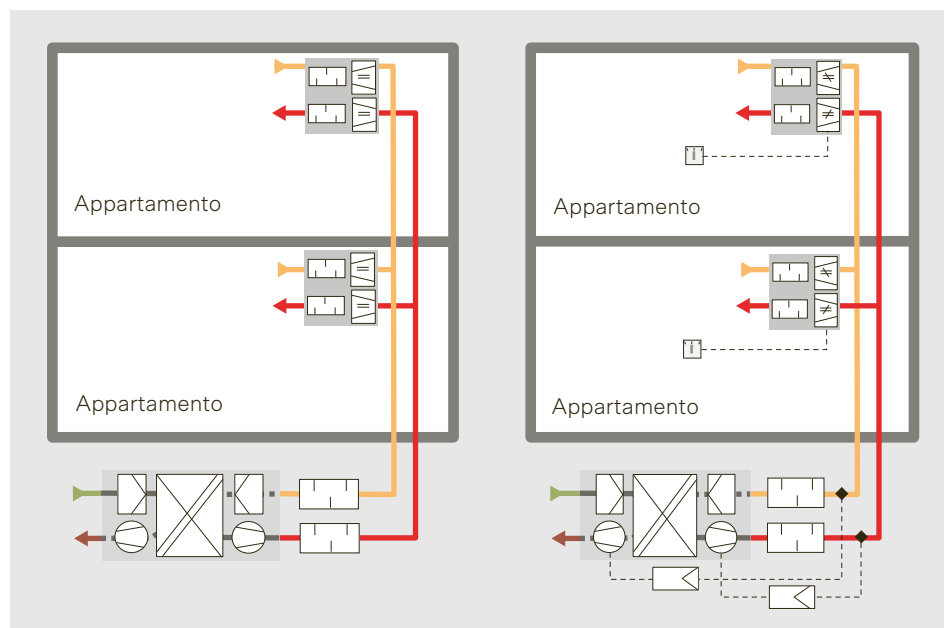


Figura 6.7: Principio di impianti per più appartamenti con esercizio a un solo livello (sinistra) e con regolazione in funzione del fabbisogno.

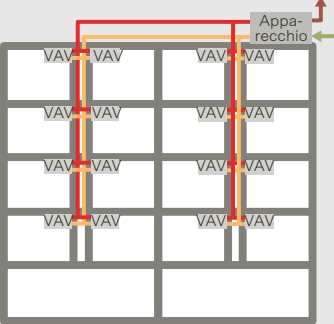
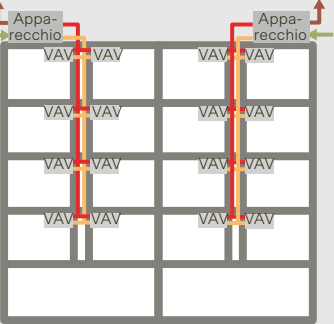
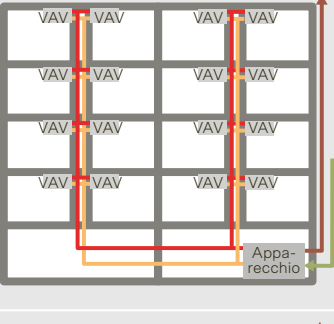
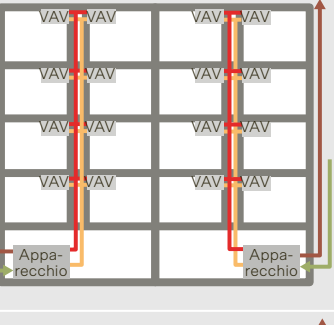
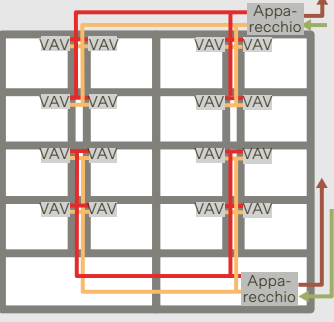
Schizzo	Variante	Vantaggi	Svantaggi
	<b>A) Un apparecchio sul tetto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Condotte brevi dell'aria esterna e dell'aria espulsa</li> <li>– Nessun fabbisogno di spazio nel piano interrato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Perdite termiche delle condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata sul tetto</li> <li>– È necessario un apparecchio per la posa all'esterno (costi più elevati ed energia grigia)</li> <li>– Manutenzione sul tetto</li> <li>– Occupazione di spazio di alta qualità sul tetto</li> </ul>
	<b>B) Un apparecchio per vano verticale sul tetto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Condotte brevi dell'aria esterna e dell'aria espulsa</li> <li>– Condotte brevi dell'aria immessa e dell'aria aspirata</li> <li>– Nessun fabbisogno di spazio nel piano interrato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Sono necessari più apparecchi per la posa all'esterno</li> <li>– Manutenzione sul tetto</li> <li>– Occupazione di spazio di alta qualità sul tetto</li> </ul>
	<b>C) Un apparecchio nel piano interrato</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Facilmente accessibile per la manutenzione</li> <li>– Scambiatore di calore dal terreno possibile</li> <li>– Condotte brevi per il collegamento di batterie di riscaldamento/raffreddamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fabbisogno di spazio nel piano interrato</li> <li>– Distribuzione orizzontale delle condotte nel piano interrato (ev. altezza del piano maggiore)</li> <li>– Sovente condotte lunghe e isolate per l'aria esterna e l'aria espulsa</li> <li>– Grande vano verticale quando l'aria espulsa viene convogliata a tetto</li> </ul>
	<b>D) Un apparecchio per vano verticale nel piano interrato</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Facilmente accessibile per la manutenzione</li> <li>– Scambiatore di calore dal terreno possibile</li> <li>– Condotte brevi per il collegamento di batterie di riscaldamento/raffreddamento</li> <li>– Nel piano interrato condotte brevi dell'aria immessa e dell'aria aspirata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fabbisogno di spazio nel piano interrato</li> <li>– Sovente condotte lunghe e isolate per l'aria esterna e l'aria espulsa</li> <li>– Grande vano verticale quando l'aria espulsa viene convogliata a tetto</li> <li>– Sono necessari più apparecchi (costi, energia grigia, manutenzione)</li> </ul>
	<b>E) Un apparecchio nel piano interrato, un apparecchio sul tetto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vani verticali ridotti al minimo</li> <li>– Minore fabbisogno di spazio nel piano interrato</li> <li>– Adatta per edifici alti e snelli (grattacieli)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Poiché gli apparecchi sono collocati nel piano interrato e sul tetto, valgono gli svantaggi di entrambe le varianti di installazione</li> </ul>

Tabella 6.6: Varianti per la collocazione degli apparecchi e la distribuzione principale di ventilazioni meccaniche controllate (impianti per più appartamenti).

forniti solo i 20 m<sup>3</sup>/h minimi necessari per persona, occorre chiedersi se il costo per l'esercizio a più livelli sia giustificato. Come emerge dall'esempio di calcolo 6.1, tuttavia, per l'esercizio a un solo livello è necessario l'impiego di uno scambiatore entalpico.

Con il controllo/regolazione secondo il fabbisogno, viene impiegata una cosiddetta unità di regolazione dell'aria residenziale. In questo apparecchio, il regolatore di flusso d'aria variabile, il silenziatore e la regolazione sono assemblati in un unico involucro.

Uno studio condotto dalla Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Nord-occidentale (Fachhochschule Nordwestschweiz) nel 2012 [3] ha messo a confronto diversi prodotti e ne ha tratto le seguenti raccomandazioni relative alla progettazione e alla selezione delle unità di regolazione dell'aria residenziale:

- La pressione preliminare necessaria durante l'esercizio normale dovrebbe raggiungere un massimo di 20 Pa.
- La distribuzione dell'aria e la regolazione del ventilatore dovrebbero essere dimensionate in modo tale che la pressione preliminare non superi i 50 Pa in nessun regime di esercizio. Per garantire ciò, è necessaria anche un'accurata messa in funzione.
- Alla massima pressione preliminare, il livello di potenza sonora erogato all'aria immessa e all'aria aspirata non dovrebbe superare i 30 dB (A). Ciò significa che solitamente non sono necessari silenziatori supplementari.
- Alla massima pressione preliminare, l'emissione sonora dell'involucro deve raggiungere un massimo di 25 dB (A). Se ciò non è possibile, occorre valutare misure costruttive, come l'installazione in un locale tecnico.
- La potenza elettrica media assorbita dalla regolazione non deve superare i 2 W. In alcuni prodotti, il sensore di flusso è il principale consumatore.
- Ad una pressione di prova di 100 Pa la quota parte di perdita non deve superare il 2%.

Le misurazioni acustiche in laboratorio vengono solitamente eseguite con un afflusso indisturbato. Se le unità di regolazione dell'aria residenziale vengono impiegate in prossimità di gomiti, raccordi a T o altri punti di disturbo del flusso, occorre chiarire con il fornitore se sono necessarie misure acustiche speciali.

È consigliabile utilizzare prodotti in cui il regolatore di flusso, l'unità di controllo e il silenziatore sono assemblati in modo permanente in un involucro. Conviene inoltre scegliere soluzioni di sistema che includono l'apparecchio di ventilazione e la sua unità di controllo, oltre all'unità di regolazione dell'aria residenziale.

Come mostrato nella figura 6.7, il controllo/regolazione secondo il fabbisogno richiede anche ventilatori a numero di giri variabile. Idealmente, i sensori di pressione vengono installati direttamente a monte della prima diramazione della distribuzione dell'aria immessa e dell'aria aspirata.

#### **Perdite di carico e fabbisogno energetico per il trasporto dell'aria**

Un impianto per più appartamenti, attentamente progettato e regolato, richiede da 2 a 3 kWh di energia elettrica per il trasporto dell'aria per m<sup>2</sup> di superficie di riferimento energetico. Ciò vale se sono stati selezionati i flussi d'aria minimi secondo il capitolo 3 e 6.1 e se è presente un controllo/regolazione secondo il fabbisogno. Inoltre, devono essere soddisfatti i seguenti requisiti:

- La perdita di carico della distribuzione dell'aria immessa nell'abitazione non supera i 40 Pa. Lo stesso vale per la distribuzione dell'aria aspirata.
- La pressione preliminare dell'unità di regolazione dell'aria residenziale o del regolatore di flusso non supera i 20 Pa.
- La perdita di carico della distribuzione principale, compresi i raccordi, non supera 1 Pa/m (cfr. capitolo 5.2).
- La perdita di carico dal passaggio d'aria esterna fino all'ingresso dell'apparecchio di ventilazione non supera i 40 Pa. Lo stesso vale per il lato dell'aria espulsa.

### Apparecchi di ventilazione per impianti per più appartamenti

Secondo l'Ordinanza svizzera sull'efficienza energetica (OEEne), gli apparecchi di ventilazione devono essere dichiarati in conformità al Regolamento UE 1254/2014. Quest'ultimo richiede che il fornitore dell'apparecchio fornisca, tra l'altro, le caratteristiche di prestazione secondo la tabella 6.7. Per il dimensionamento, è opportuno esigere i valori della colonna «Valore consigliato» o la classe secondo la norma specificata. Inoltre, la SIA 382/5 richiede che il filtro dell'aria immessa abbia almeno la classe ISO ePM1 50 % e che le caratteristiche di prestazione siano state determinate con la classe di filtro dichiarata o con una classe migliore.

Negli impianti per più appartamenti vengono impiegati sempre più spesso scambiatori entalpici. Sia con gli scambiatori rotativi che con quelli a piastre, tuttavia, è necessario tenere presente la questione della trasmissione di odori tra le unità abitative. In particolare, gli odori di cottura sono percepiti già in minime dosi e sono oggetto giustificato di reclamo da parte degli utenti. Pertanto, al momento della selezione dell'apparecchio, è necessario verificare che il RC previsto non trasmetta odori.

Tuttavia, per ridurre il rischio di trasmissione di odori, i rivestimenti dei rotori e delle membrane degli scambiatori a piastre vengono continuamente migliorati. Si può quindi ipotizzare che in futuro gli scambiatori entalpici diventeranno lo standard anche per gli impianti per più appartamenti.

Gli scambiatori entalpici, peraltro, non solo aumentano l'umidità dell'aria interna, ma sono anche molto efficaci per la protezione dalla formazione di ghiaccio. Per collocazioni degli apparecchi secondo le varianti C e D della tabella 6.6, anche uno scambiatore di calore terreno-aria può essere considerato un dispositivo per la protezione dalla formazione di ghiaccio. Il suo vantaggio è quello di pre-raffreddare l'aria esterna in estate. Infine, anche un bypass sul RC è adatto per la protezione dalla formazione di ghiaccio. A causa della bassa temperatura in uscita dal RC, di solito è necessario riscaldare l'aria immessa.

Denominazione secondo il Regolamento (UE) 1253/2014	Valore raccomandato	Classe minima raccomandata secondo la norma
Grado di trasferimento termico del recuperatore di calore	≥ 73 %	SN EN 13053: classe H2
Potenza interna specifica del ventilatore dei componenti di ventilazione (tedesco $SVL_{int}$ , inglese $SFP_{int}$ )	≤ 0,22 W/(m <sup>3</sup> /h) resp. ≤ 800 W/(m <sup>3</sup> /s)	
Velocità dell'aria in ingresso al flusso d'aria di dimensionamento	≤ 2 m/s	SN EN 13053: classe V3
Tasso di perdita d'aria esterno	≤ 0,5 %	SN EN 16798-3: classe ATC3
Tasso di perdita d'aria interno (per scambiatori di calore a piastre)	≤ 1 %	
Trasmissione (solo per i rotori) <sup>1)</sup> (denominaz. secondo EN 308: EATR)	≤ 3 %	SN EN 16798-3: classe 1
Proprietà energetiche dei filtri, preferibilmente la classificazione energetica	Differenza di pressione finale del filtro dell'aria immessa ≤ 200 Pa	Eurovent classe energetica A

1) Descrive il trasferimento di aria aspirata nell'aria immessa

Tabella 6.7: Caratteristiche di prestazione di unità di ventilazione non residenziali (UVNR) secondo il regolamento UE 1253/2014 e requisiti raccomandati.

## 6.6 Passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa

### Passaggio d'aria esterna

Le prese d'aria esterna non devono essere collocate direttamente sopra il terreno o in un pozzo luce. Nel caso di prese su suolo accessibile al pubblico o su aree private di uso collettivo (ad esempio parco giochi), l'altezza minima dal suolo deve essere di 3 m. Negli altri casi, per impianti per più appartamenti l'altezza minima dovrebbe essere di 1,5 m.

La distanza orizzontale dalle fonti di contaminanti e odori rilevanti dovrebbe essere di almeno 8 metri. Tra le fonti rilevanti vi sono:

- Strade con traffico intenso
- Punti di raccolta dei rifiuti e impianti di compostaggio
- Parcheggi per più di tre veicoli
- Fermate per autobus con motore a combustione
- Camini
- Aria espulsa da cucine commerciali, fast food, ecc.

Il bordo inferiore della presa d'aria esterna deve trovarsi a un'altezza pari ad almeno 1,5 volte l'altezza massima locale della neve. In estate, occorre evitare che venga aspirata l'aria fortemente riscaldata di piazze, tetti e pareti.

Se il passaggio d'aria esterna può venire posizionato liberamente, valgono le seguenti priorità:

1. Per ubicazioni su strade trafficate: su un lato opposto alla strada.
2. Sul lato esposto al vento
3. In una posizione con facile accesso per l'ispezione e la pulizia
4. Il più in alto possibile, ma al di sotto delle uscite dei comignoli e dei passaggi d'aria espulsa

Nelle case plurifamiliari, le prese d'aria esterna sopra i balconi, zone con panchine e le entrate non sono adatte, poiché in questi luoghi spesso si fuma e talvolta si griglia.

I passaggi d'aria esterna devono essere protetti con una griglia anti-insetti (ma-

glia da un minimo di 5 mm a un massimo di 10 mm). La velocità effettiva dell'aria, relativa alla superficie netta del passaggio, deve raggiungere al massimo i 2 m/s. Nelle regioni con forte nebbia, si consiglia di prevedere 1,5 m/s per evitare l'infiltrazione di umidità o per prevenire la formazione di ghiaccio. Nel caso di sezioni circolari, per raggiungere queste velocità di flusso, il passaggio d'aria esterna deve avere almeno una, o meglio due dimensioni in più rispetto alla condotta dell'aria esterna.

### Aria espulsa

Per quanto riguarda l'ubicazione dei passaggi d'aria espulsa, valgono in parte prescrizioni comunali. L'aria espulsa può essere emessa in facciata se vengono rispettati tutti i seguenti punti:

- Niente aria aspirata da zone di cottura o aria proveniente da abitazioni contenente anche aria espulsa da zone di cottura (cappa d'aspirazione)
- Flusso d'aria massimo di 1800 m<sup>3</sup>/h
- Distanza dall'edificio adiacente di almeno 8 m

In caso contrario, l'aria espulsa deve essere emessa via tetto. In nessun caso l'aria espulsa deve essere immessa in vani freddi (tetto freddo, cavedi di ventilazione). Motivo: in presenza di un'elevata umidità relativa dell'aria espulsa, l'acqua può condensare sulle superfici fredde.

### Distanza tra il passaggio d'aria esterna e quello d'aria espulsa

I passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa dovrebbero essere disposti in modo tale da non creare cortocircuiti. Ciò vale sia per il proprio impianto che rispetto ad altri impianti.

La figura 6.8 serve a determinare le distanze minime tra un passaggio d'aria esterna e un passaggio d'aria espulsa di impianti per singolo appartamento e per più appartamenti fino a un flusso d'aria di 1800 m<sup>3</sup>/h. Tuttavia, non deve trattarsi di aria aspirata da zone di cottura o aria proveniente da abitazioni contenente anche aria espulsa da zone di cottura

(cappa d'aspirazione). Il diagramma vale per l'aria espulsa e per l'aria esterna sulla stessa facciata o se l'aria espulsa viene emessa verso l'alto.

La figura 6.9 vale per un flusso d'aria di  $1800 \text{ m}^3/\text{h}$  o più, quando l'aria espulsa viene emessa verso l'alto. Oltre che la normale aria aspirata di abitazioni, il diagramma contiene una curva per l'aria espulsa da zone di cottura di appartamenti. Nel caso sia presente dell'aria espulsa di cucine commerciali o aria fortemente contaminata a pari livello,

sono necessarie distanze maggiori – esse vengono definite secondo la SIA 382/1.

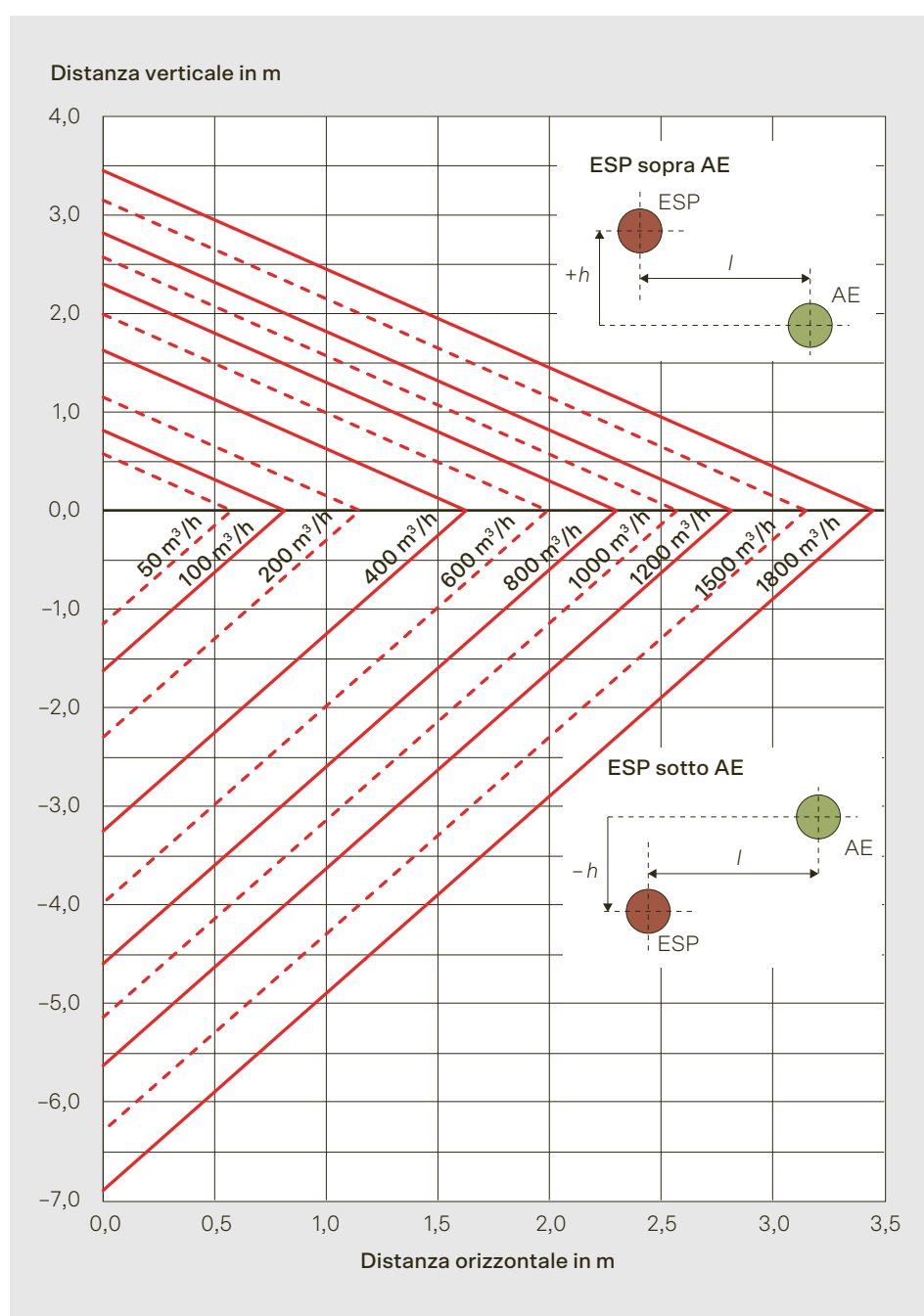


Figura 6.8: Distanza tra passaggio d'aria esterna e passaggio d'aria espulsa sulla stessa facciata, fino a  $1800 \text{ m}^3/\text{h}$ , senza aria aspirata della zona di cottura.



## 6.7 Scambiatore di calore dal terreno

L'aria immessa può essere riscaldata e raffreddata facendola passare attraverso il terreno in uno scambiatore di calore. Oltre agli scambiatori di calore aria-terreno, è possibile impiegare anche scambiatori di calore salamoia-terreno. Nel caso degli scambiatori di calore aria-terreno, vengono posati dei tubi di ventilazione nel terreno. Nei sistemi a salamoia, il calore del terreno viene trasferito a un circuito di salamoia e poi rilasciato all'aria immessa attraverso un classico scambiatore di calore a lamelle. Gli scambiatori di calore dal terreno presentano i seguenti vantaggi:

- Protezione dalla formazione di ghiaccio di tipo semplice
- Meno condensa nell'apparecchio di ventilazione e quindi maggiore durata di vita
- Temperatura dell'aria immessa più alta e quindi, a seconda dei passaggi d'aria immessa, migliore comfort termico
- Piccolo guadagno termico
- Leggero effetto raffrescante in estate

Per garantire la massima potenza di raffrescamento in estate, dovrebbero essere impiegati apparecchi con bypass estivo. Gli scambiatori di calore aria-terreno sono più delicati dal punto di vista igienico rispetto agli scambiatori di calore salamoia-terreno. Ciò riguarda in particola-

### Esempio di lettura per la figura 6.9

In una casa plurifamiliare, sia il passaggio d'aria espulsa delle zone di cottura (cappe d'aspirazione) sia la presa d'aria esterna della ventilazione meccanica controllata si trovano sul tetto piano. La distanza orizzontale è di 4,5 m.

Secondo la curva rossa superiore della figura 6.9, il passaggio d'aria espulsa della zona di cottura deve essere posizionato 1,5 m sopra il passaggio d'aria esterna.

Distanza verticale  $h$  in m

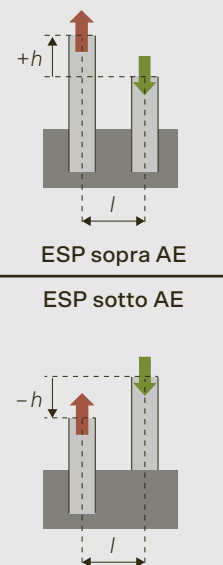
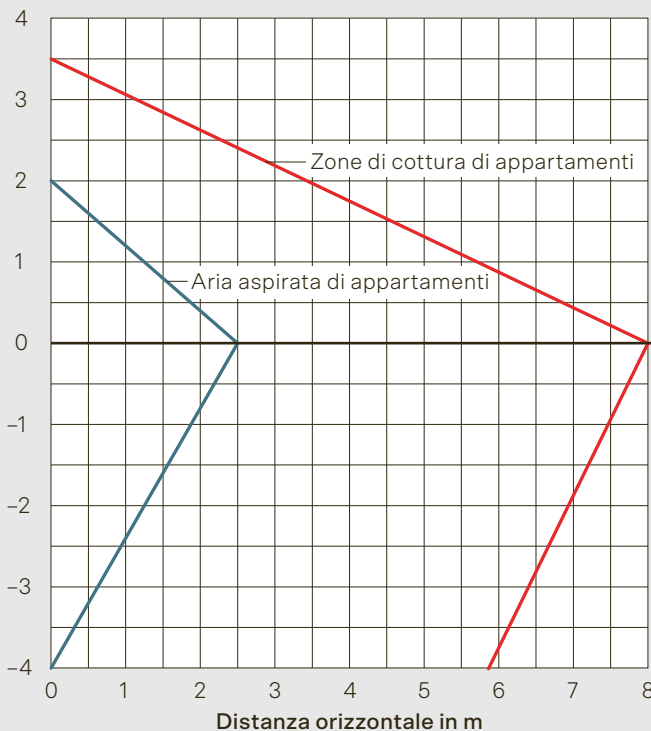


Figura 6.9: Distanza tra passaggio d'aria esterna e passaggio d'aria espulsa con direzioni di emissione verso l'alto, per aria aspirata da appartamenti superiore a  $1800 \text{ m}^3/\text{h}$  e aria aspirata da zone di cottura.

re il rischio di acqua stagnante nelle condotte dell'aria e il conseguente pericolo di formazione di muffa.

#### Scambiatore di calore aria-terreno

L'esperienza mostra che gli scambiatori di calore aria-terreno sono piuttosto soggetti a danni. Da un lato, soprattutto nel caso di tubi flessibili, l'acqua può accumularsi all'interno del tubo a causa di assestamenti del sottosuolo. Un altro problema comune è lo schiacciamento, che si verifica quando macchinari edili passano sopra i tubi posati prima che questi ultimi siano completamente ricoperti.

Gli scambiatori di calore aria-terreno sono utilizzati di preferenza negli impianti per case monofamiliari. Per il preriscaldamento del filtro (circa 3 K) sono sufficienti pochi metri di tubo. Per la protezione dalla formazione di ghiaccio, nell'altopiano svizzero, per un flusso d'aria di 150 m<sup>3</sup>/h e un terreno umido, sono necessari due tubi paralleli (diametro interno di circa 150 mm), ciascuno lungo circa 8 metri. Nel caso di terreno asciutto, sono necessari tubi di circa 15 m di lunghezza. La perdita di carico in entrambi i casi è di circa 10 Pa. Informazioni sulla realizzazione e sul dimensionamento degli scambiatori di calore aria-terreno sono contenute in libri specialistici come [4] e [5].

#### Scambiatore di calore salamoia-terreno

Sul lato aria, gli scambiatori di calore (SC) devono essere protetti dalla contaminazione mediante un filtro sull'aria esterna. La perdita di carico dello SC e del filtro è compresa tra 10 e 20 Pa.

Il circuito della salamoia necessita di una pompa di circolazione, di un gruppo di sicurezza (valvola di sicurezza e manometro) e di un vaso d'espansione. La pompa è in funzione per circa 500–1000 ore all'anno, a seconda della temperatura di consegna e del clima esterno.

Nel caso di registri orizzontali, vengono posati nel terreno tubi di plastica con un diametro esterno compreso tra 20 e 40 mm. È difficile trovare informazioni

sul dimensionamento neutrali rispetto al prodotto. Pertanto, i seguenti valori di riferimento sono stati ricavati dalla documentazione dei fornitori di sistemi. Il fornitore del sistema è responsabile dell'esatto dimensionamento.

- La profondità di posa è compresa tra 1,2 e 2 m.
- La distanza tra i tubi è compresa tra 0,6 e 1,0 m.
- La distanza dall'edificio e dalle condotte dell'acqua è di almeno 1 m.
- La zona del collettore non può venire coperta da costruzioni o sigillata.

Come valore di riferimento si può ipotizzare una lunghezza del tubo di 0,2–0,5 m per un flusso d'aria di 1 m<sup>3</sup>/h. Il valore più basso vale per terreni umidi e quello più alto per terreni asciutti e sabbiosi.

Se un edificio viene riscaldato con una pompa di calore con sonde geotermiche, quest'ultima può essere utilizzata al contempo per preriscaldare o raffreddare l'aria esterna. Tuttavia, per soddisfare il fabbisogno di potenza supplementare, la sonda geotermica deve essere di dimensioni maggiori. Il dimensionamento esatto è di competenza del fornitore delle sonde geotermiche. Sulla base di valori empirici, si può stimare nell'altopiano svizzero un incremento di lunghezza delle sonde geotermiche di 0,07–0,1 m per un flusso d'aria di 1 m<sup>3</sup>/h.

## 6.8 Pulizia e igiene

La distribuzione dell'aria deve essere progettata in modo da poter essere ispezionata e pulita in qualsiasi momento.

Durante la progettazione, si definiscono le tratte di pulizia accessibili da almeno un lato. I possibili accessi sono:

- Allacciamenti all'apparecchio di ventilazione
- Collettori di distribuzione e raccolta
- Passaggi d'aria
- Condotte accessibili liberamente

I punti di accesso devono essere realizzati in modo da consentire l'inserimento degli strumenti di pulizia. I passaggi d'aria a feritoia o gli allacciamenti a soffitto

a gomito a volte non sono accessibili, o lo sono solo con difficoltà per gli strumenti di pulizia.

I collettori di distribuzione o di raccolta non possono essere attraversati dagli strumenti di pulizia. Questi componenti richiedono quindi sempre un pannello d'ispezione.

All'interno di una sezione di pulizia non è consentito installare in modo permanente serrande, regolatori di flusso, silenziatori o altri componenti. Se tali componenti sono presenti, devono poter essere smontati per la pulizia.

Una sezione di pulizia accessibile solo da un lato non deve superare i 12 m di lunghezza. In caso di accesso da entrambi i lati, tale lunghezza si raddoppia. Oggi, tuttavia, diverse imprese di pulizia sono in grado di pulire condotte lunghe fino a 30 metri. Il dispendio e i costi aumentano con il crescere della lunghezza. Inoltre, tubi molto lunghi possono eventualmente venire puliti solo parzialmente in caso di elevato grado di sporcizia.

Le curve devono presentare un raggio di curvatura di almeno 100 mm. Un attrezzo di pulizia non dovrebbe superare più di tre curve a 90° o quattro curve a 45°,

in modo da evitare che l'attrito al passaggio dell'asta di pulizia diventi troppo elevato.

Le superfici interne devono essere il più possibile lisce e sopportare la sollecitazione meccanica dello strumento di pulizia (incluso l'albero o il tubo). Gli elementi costruttivi con superfici porose, fibrose, facilmente deformabili o instabili devono poter essere smontati per la pulizia. Tra questi, ad esempio, vi sono i rivestimenti fonoisolanti, i corrugati di ventilazione e i tubi flessibili. Informazioni relative alla pulizia iniziale e agli intervalli di ispezione sono riportate al capitolo 12.

## 6.9 Documentazione

Il progetto è documentato da uno schema di principio, da piante in scala 1:50 e da una descrizione dell'impianto. Eventualmente sono necessari piani di dettaglio supplementari, ad esempio per il locale di collocazione dell'apparecchio di ventilazione e per l'installazione dei passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa.

Nello schema di principio, tutti i componenti necessari per la funzione sono rappresentati graficamente. La descrizione e le specifiche possono essere riportate nello schema stesso o in una legenda.

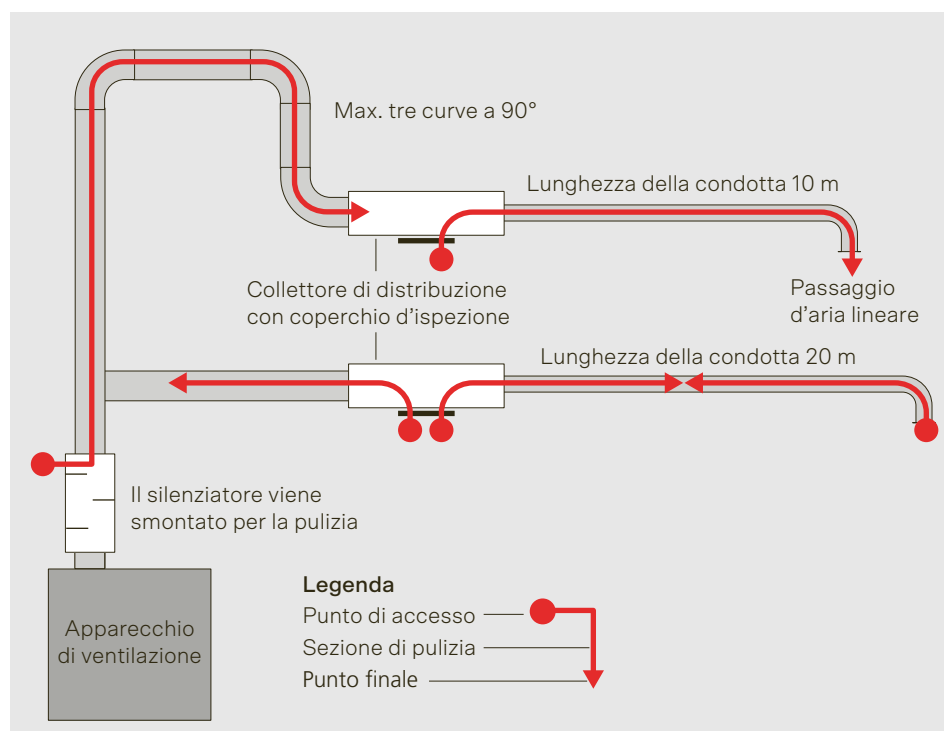


Figura 6.10: Esempio per la determinazione delle sezioni di pulizia.

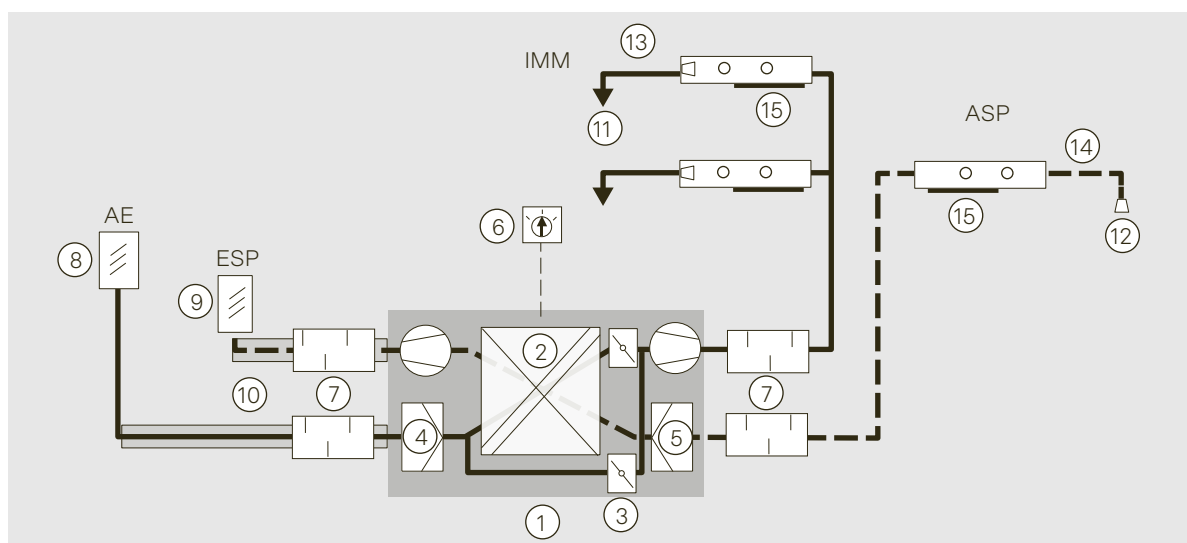


Figura 6.11: Schema di principio per una casa monofamiliare (esempio).

Breve descrizione e legenda		Pos.
Tipo di impianto	Ventilazione meccanica controllata, impianto per singolo appartamento	-
Apparecchio di ventilazione	Classe energetica A; flusso d'IMM e d'ASP in esercizio normale 150 m <sup>3</sup> /h ciascuno; collocazione nel locale tecnico al piano interrato, all'interno dell'involucro termico dell'edificio	1
Recuperatore di calore	Scambiatore di calore a piastre, con recupero dell'umidità (scambiatore di calore entalpico), Rapporto di temperatura $\eta_t = 80\%$ , rapporto di umidità $\eta_x = 65\%$	2
Scarico per la condensa	Non necessario	-
Prot. formazione ghiaccio	Scambiatore di calore entalpico, limite di impiego $-10^\circ\text{C}$	-
Bypass estivo	Sì, con clappe per il bypass e RC	3
Filtro dell'aria immessa	ISO ePM1 50% (F7), nell'apparecchio	4
Filtro dell'aria aspirata	ISO Coarse 80 (G4), nell'apparecchio	5
Comando/regolazione	Esercizio a tre livelli con interruttore manuale e prog. orario, unità di comando in corridoio	6
Protezione dal rumore	Silenziatore nell'IMM e nell'ASP oltre che nell'AE e nell'ESP	7
Passaggio d'aria esterna	Sul lato nord, a 1,5 m di altezza dal suolo	8
Passaggio d'aria espulsa	Sul lato est, a 1,5 m di altezza dal suolo	9
Isolamento termico	Isolamento impermeabile alla diffusione; sviluppo all'interno dell'involucro termico dell'edificio, spessori di isolamento: - AE: lunghezza 4 m, spessore dell'isolamento 60 mm - ESP: lunghezza 2 m, spessore dell'isolamento 30 mm	10
Passaggio d'aria immessa	5 passaggi d'aria a soffitto nelle camere da letto e nel locale di lavoro; flussi d'aria e collocazione vedi piani in pianta	11
Passaggio d'aria aspirata	4 passaggi d'aria a soffitto in cucina, bagno, doccia, WC ospiti; flussi d'aria e collocazione vedi piani in pianta	12
Zona di transito	Soggiorno (nessun passaggio d'aria immessa)	-
Passaggi d'aria di transito	Fessura (7 mm) sotto le porte	-
Distribuzione dell'aria immessa	Distribuzione a stella, tubi in plastica posati in getto nelle solette; collettore di distr. in soletta sopra il piano terra e il primo piano; calibrazione con elementi di taratura nel collettore	13
Distribuzione dell'aria aspirata	Distribuzione a stella, tubi in plastica posati in getto nelle solette; collettore di distribuzione in soletta sopra il piano terra e il primo piano; calibrazione tramite i passaggi d'aria aspirata	14
Concetto di pulizia	Le condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata sono accessibili attraverso i collettori di distribuzione (coperchio d'ispezione) e i passaggi d'aria; le condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa sono accessibili dall'esterno e dal locale tecnico	15
Aria aspirata della cucina	Cappa d'aspirazione ad aria espulsa separata	-
Protezione termica estiva	Ventilazione notturna tramite le finestre, azionamento manuale	-
Focolare nell'appartamento	Nessuno	-
Protezione antincendio	Nessuna misura particolare, in quanto casa monofamiliare	-

Lo schema della figura 6.11 mostra un esempio di ventilazione in una casa monofamiliare.

La distribuzione dell'aria viene inserita nello schema di principio per quanto risulta opportuno. Per gli impianti di piccole dimensioni, eventualmente è possibile riportare tutti i passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata. Per gli impianti di medie e grandi dimensioni, spesso è più chiaro solo accennare alla distribuzione. È possibile disegnare uno schema separato con la distribuzione oppure compilare una tabella con i passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata.

## 6.10 Letteratura

- [1] Kobler, René L.; Binz, Armin; Steinke, Gregor: Nachhaltige Wohnbaurneuerung, Schlussbericht der Module A3, A4 im CCEM Forschungsprojekt, Vorfabrizierte Fassaden- und Dachmodule. Muttenz: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Institut Energie am Bau (IEBau), 2010
- [2] Primas, Alex; Settembrini, Gianrico; Zuber, Stephan; Huber, Heinrich: Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2021
- [3] Huber, Heinrich; Helfenfinger, Dominique: Individuelle Luftmengenregulierung bei Mehrwohnungsanlagen. Zürich: Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, 2013 [online].
- [4] Huber, Heinrich: Komfortlüftung in Wohngebäuden. Köln, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 2016. ISBN 978-3-481-03405-4 (Buch-Ausgabe), ISBN 978-3-481-03406-1, (E-Book-Ausgabe als PDF)
- [5] Huber, Heinrich; Mosbacher, René: Wohnungslüftung. Grundlagen, Planung, Ausführung und Praxis von Komfortlüftungen. Zürich: Faktor Verlag 2006. ISBN-13: 978-3-905711-01-1

# Progettazione di impianti d'aspirazione

## Punti di leva nell'impianto d'aspirazione

I seguenti requisiti contribuiscono in modo determinante alla qualità di impianti progettati per l'esercizio continuo. Informazioni sugli impianti per l'esercizio di breve durata sono riportate nei capitoli 7.1 e 7.3.

### Involucro dell'edificio ermetico all'aria

- Un involucro dell'edificio ermetico è un prerequisito elementare per il funzionamento di un impianto d'aspirazione con elementi dell'involucro di passaggio d'aria.
- Per verificare l'ermeticità dell'involucro dell'edificio e come base per il dimensionamento e la regolazione dell'impianto, è consigliabile effettuare una misurazione blower-door.
- La tenuta all'aria dovrebbe almeno soddisfare il valore mirato per i nuovi edifici secondo la SIA 180 – anche per gli edifici esistenti.
- Per ridurre al minimo gli scambi d'aria (odori, contaminanti) all'interno dell'edificio, anche l'ermeticità tra gli appartamenti deve essere molto elevata.

### Dimensionamento di pressione e flusso d'aria

Negli impianti d'aspirazione, il flusso d'aria esterna necessario deve affluire tramite gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria (nel caso del principio «a cascata» in genere  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ ), solitamente a una sottopressione di 4 Pa. Per la maggior parte dei prodotti disponibili sul mercato, sono necessari due elementi dell'involucro di passaggio d'aria per una camera. A causa delle infiltrazioni, il flusso d'aria aspirata di un'abitazione è superiore di circa il 30 % rispetto al flusso d'aria esterna che affluisce attraverso gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria. Informazioni relative a calcoli più precisi sono riportate nei capitoli 7.2 e 7.3.

### Benessere termico

- Il getto d'aria di un elemento dell'involucro di passaggio d'aria deve essere diretto possibilmente in direzione tangenziale rispetto alla parete esterna.
- L'esperienza mostra che nel caso di riscaldamenti con radiatori vi sono meno lamentele relative a correnti d'aria rispetto ai riscaldamenti a pavimento.
- Il posizionamento dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria deve essere conforme alle indicazioni del fornitore.

### Protezione dal rumore

Un elemento dell'involucro di passaggio d'aria indebolisce sempre la protezione dal rumore esterno. Per garantire il rispetto della protezione dal rumore secondo la SIA 181 e per assicurare che l'indebolimento rimanga a un livello accettabile, la valutazione da parte di uno specialista in acustica edilizia è fortemente raccomandata.

Anche solo la corretta interpretazione delle specifiche dei produttori o una valutazione approssimativa della protezione dal rumore richiedono una notevole conoscenza in materia di acustica. Ad esempio, chi non è in grado di distinguere un valore  $R_w$  da un valore  $D_{n,e,w}$  dovrebbe assolutamente consultare uno specialista.

Come indicazione di riferimento vale: il valore  $(D_{n,e,w} + C_{tr})$  di un elemento dell'involucro di passaggio d'aria dovrebbe essere superiore di almeno 9 dB al valore  $(R'_w + C_{tr})$  di una tipica finestra di una camera (di circa  $2 \text{ m}^2$ ). Indicazioni per un calcolo corretto sono riportate nel capitolo 7.6.

**Igiene e manutenzione**

Secondo le norme svizzere, gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria devono sempre essere dotati di filtri. In luoghi con un elevato inquinamento da polveri fini, come strade trafficate e linee ferroviarie, sono addirittura necessari filtri per polveri fini di classe ISO ePM1 50% (F7).

Nel caso di elementi dell'involucro di passaggio d'aria, non solo devono essere cambiati regolarmente i filtri, ma è necessario pulire anche le griglie dell'aria esterna o le griglie anti-insetti. Ciò richiede solitamente l'impiego di personale specializzato. L'esperienza mostra che gli inquilini non sono in grado di gestire gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria in modo adeguato. Si consiglia vivamente di stipulare contratti di manutenzione con almeno un intervento di servizio all'anno. A tal fine, gli utenti devono permettere l'accesso a ogni camera da letto.

## 7.1 Tipi di impianti d'aspirazione

Gli impianti d'aspirazione possono essere suddivisi in tre tipi secondo la tabella 7.1, per ognuno dei quali vale quanto segue:

- L'aria esterna (aria di ricambio) entra nell'appartamento attraverso elementi dell'involucro di passaggio d'aria.
- Per la distribuzione dell'aria all'interno dell'appartamento sono necessari passaggi d'aria di transito.
- Possono essere tecnicamente implementati sulla base degli apparecchi per singolo locale, impianti per singolo appartamento o impianti per più appartamenti.
- Su richiesta è possibile implementare un controllo/regolazione del fabbisogno a più livelli o a variazione continua.

Nel caso dei tipi destinati alla ventilazione di singoli locali, la ventilazione dei restanti locali dell'appartamento deve essere risolta con un ulteriore dispositivo di

ventilazione. Il capitolo 8 tratta la combinazione con apparecchi di ventilazione per singoli locali. Il capitolo 4.2 illustra la possibilità e l'obbligo del recupero del calore residuo con pompe di calore sull'aria aspirata.

## 7.2 Rapporti di pressione e flussi d'aria

A causa della sottopressione nell'appartamento, l'aria entra in esso attraverso due modalità:

- Alimentazione definita dell'aria esterna tramite gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria
- Infiltrazioni attraverso perdite nell'involucro dell'edificio e tra gli appartamenti

Poiché la collocazione delle perdite è sconosciuta, non si può presumere che l'aria di infiltrazione sia distribuita uniformemente tra i locali. L'aria di infiltrazione può entrare attraverso vie critiche o per-

Tabella 7.1: Tipi di impianti d'aspirazione.

Tipo	Descrizione
Aria d'aspirazione di un locale con esercizio on/off	L'impianto d'aspirazione ventila un locale con aria aspirata in esercizio on/off. Il flusso d'aria aspirata è dimensionato per la contaminazione dell'aria nel locale con aria aspirata.
Aria d'aspirazione di un locale con esercizio continuo	L'impianto d'aspirazione ventila un locale con aria aspirata in esercizio continuo. Il flusso d'aria aspirata è dimensionato per la contaminazione dell'aria nel locale con aria aspirata.
Aria d'aspirazione di un appartamento (esercizio continuo)	L'impianto d'aspirazione ventila tutti i locali con aria aspirata di un appartamento in esercizio continuo. Il flusso d'aria aspirata è dimensionato in modo tale da eliminare la contaminazione dell'aria dai locali con aria aspirata e da fornire all'intero appartamento un flusso d'aria adeguato dal punto di vista igienico. Ciò include un dimensionamento e una disposizione appropriati degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria (EIPA) e dei passaggi d'aria di transito (PAT).



lomeno sconosciute dal punto di vista igienico (vani scala, vani verticali, tubi vuoti per cavi, appartamento adiacente).

La figura 7.1 mostra in modo schematico i flussi d'aria. Nella parte inferiore della figura sono state inserite anche le sottopressioni che si formano nel caso della ventilazione di un appartamento a un piano (tipo «appartamento con aria aspirata») con porte chiuse e dimensionamento secondo la SIA 382/5. Ciò significa che gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria sono dimensionati per una sottopressione di 4 Pa e i passaggi d'aria di transito (PAT) per una perdita di carico di 1 Pa. Negli appartamenti a due piani, in condizioni invernali medie, la sottopressione al piano superiore è inferiore di circa 2 Pa rispetto al piano inferiore. Gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria al piano superiore dovrebbero quindi essere dimensionati per una sottopressione di 3 Pa e al piano inferiore per 5 Pa. Al piano superiore, a basse temperature esterne, il flusso d'aria esterna diminuisce di circa il 20% e ad alte temperature esterne aumenta di circa il 20%. Al piano inferiore, l'influenza della temperatura è esattamente opposta. Per appartamenti o case monofamiliari che presentano ambienti aperti su tre o più piani, gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria non possono essere dimensionati in modo tale da poter garantire l'apporto di aria progettato duran-

te tutto l'anno. Le pressioni di dimensionamento menzionate valgono in particolare per il tipo «locale con aria aspirata a esercizio continuo». La norma non riporta indicazioni esplici-

te in merito al tipo «locale con aria aspirata a esercizio on/off». In questo caso si raccomanda di raddoppiare le sottopressioni rispetto ai valori riportati

nella SIA 382/5. Il flusso d'aria aspirato convogliato meccanicamente  $q_{v,ASP}$  corrisponde alla somma dei flussi d'aria esterna che attraversano tutti gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria (EIPA)  $\Sigma q_{v,EIPA}$  più l'infiltrazione  $q_{v,inf}$ :

$$q_{v,EIPA} = \Sigma q_{v,EIPA} + q_{v,inf} \quad (7.1)$$

Se la permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio è nota, l'infiltrazione può essere calcolata con:

$$q_{v,inf} = q_{a,50} \cdot A_{inf} \left( \frac{\Delta p}{50} \right)^{0,6} \quad (7.2)$$

dove  $q_{a,50}$  è il flusso d'aria di perdita a una differenza di pressione di 50 Pa,  $A_{inf}$  è la superficie dell'involucro dell'abitazione in  $m^2$  e  $\Delta p$  è la sottopressione media nell'abitazione in Pa.

La figura 7.2 mostra i valori di riferimento per l'infiltrazione in appartamenti a uno o

**Nel caso di impianti d'aspirazione, un unico ambiente non deve superare i due piani. Se il numero di piani è maggiore, sono necessarie porte ermetiche tra i piani.**

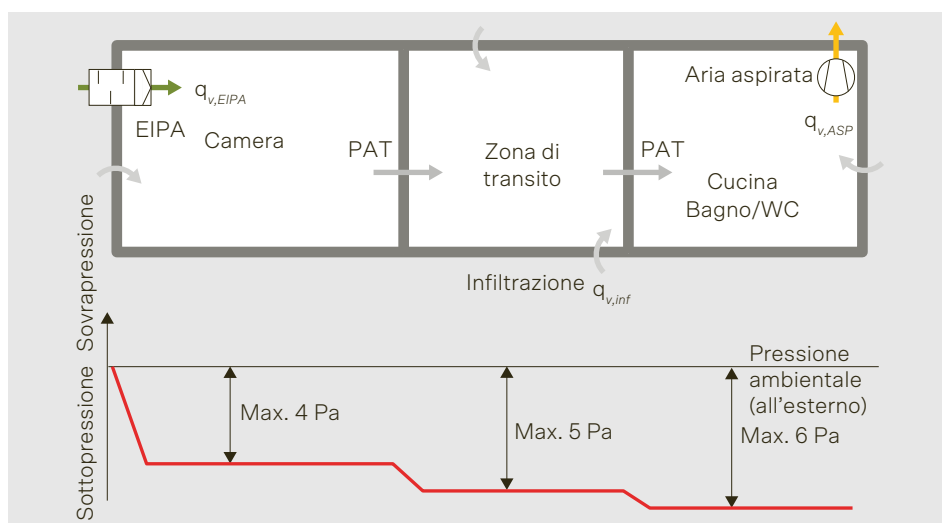


Figura 7.1: Flussi d'aria e rapporti di pressione nel caso di un impianto d'aspirazione per l'esercizio continuo.

■ Aria esterna  
 ■ Aria aspirata  
 ■ Aria interna/Aria di transito

due piani o in case monofamiliari con una sottopressione media di 4 Pa e diverse permeabilità all'aria nella superficie dell'involucro. A tale scopo sono stati ipotizzati blocchi di edificio con un rapporto tra larghezza e lunghezza compreso tra 1 e 3. L'altezza in luce dei locali è di 2,8 metri.

Da un lato, è rappresentata l'infiltrazione per nuovi edifici e ammodernamenti sulla base dei valori mirati della SIA 180.

Dall'altro lato, il grafico contiene anche le curve di tipici edifici Minergie-P. Di fatto, Minergie-P richiede solo il rispetto del valore mirato SIA. Poiché gli edifici con questo label sono notoriamente molto più ermetici nella realtà, per il dimensionamento degli impianti d'aspirazione è consentito ipotizzare un valore migliore di circa un terzo rispetto al valore mirato SIA.

In generale, tuttavia, per il dimensionamento degli impianti d'aspirazione, si dovrebbe presumere un'infiltrazione non superiore al valore mirato della SIA 180. Le formule 7.1 e 7.2 e i valori indicati nella figura 7.2 costituiscono ora la base per il

dimensionamento degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria e del ventilatore d'aspirazione.

**Nota relative alla SIA 382/5:** nella norma, al posto dell'infiltrazione  $q_{v,inf}$ , viene utilizzato un fattore  $f$ , che rappresenta il rapporto tra il flusso d'aria aspirata e la somma di tutti i flussi d'aria esterna che attraversano tutti gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria. Tuttavia, tale fattore è valido solo per il dimensionamento di impianti del tipo «appartamento con aria aspirata»; inoltre, esso si basa su ipotesi relative ad appartamenti tipici. A causa della sua validità limitata, il fattore  $f$  non viene utilizzato in questo libro.

### 7.3 Dimensionamento dei flussi d'aria

#### Locale con aria aspirata a esercizio on/off

I flussi d'aria aspirata minimi vengono selezionati in base alla tabella 3.2, colonna «in funzione del fabbisogno on/off». Il dimensionamento della sottopressione di-

Figura 7.2: Valori di riferimento per l'infiltrazione in funzione della superficie netta di appartamenti o case monofamiliari a uno e due piani a una sottopressione di 4 Pa e diverse permeabilità all'aria della superficie dell'involucro.

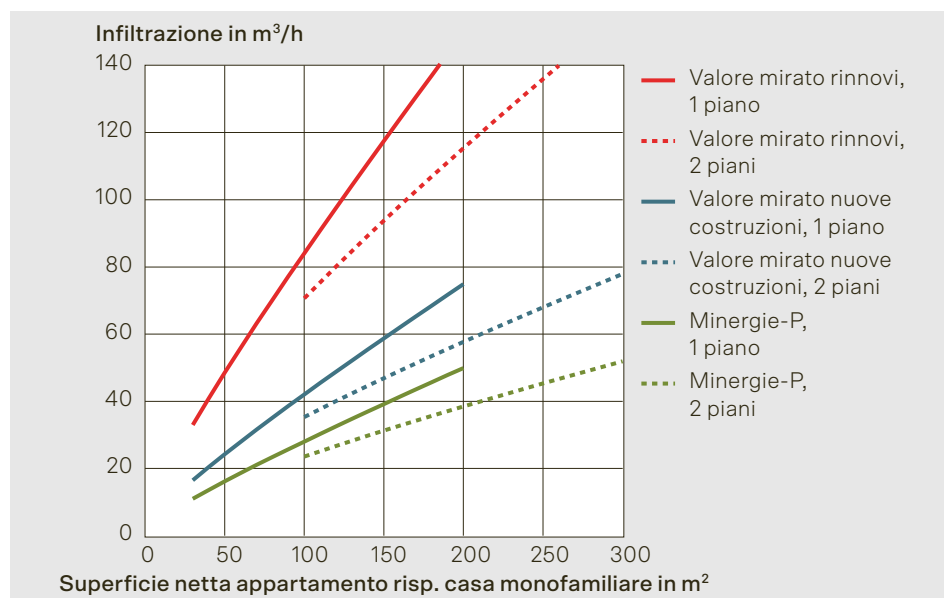


Tabella 7.2: Sottopressione per il dimensionamento di elementi dell'involucro di passaggio d'aria per aspirazione d'aria con esercizio on/off.

Collocazione degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria (EIPA)	Dimensionamento degli EIPA per una sottopressione di
EIPA direttamente nel locale con aria aspirata	12 Pa
Una porta o un PAT tra l'EIPA e il locale con aria aspirata	10 Pa
Due porte (in serie) o due PAT (in serie) tra l'EIPA e il locale con aria aspirata	8 Pa

pende dalla collocazione degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria (vedi figura 7.1). La tabella 7.2 mostra i relativi valori.

L'infiltrazione può essere calcolata con la formula 7.2. In alternativa, il valore può essere letto dalla figura 7.2 e moltiplicato per il fattore 1,5.

Soprattutto per gli ammodernamenti, ma anche per i nuovi edifici con un solo servizio igienico, l'inversione della formula 7.2 spesso porta al risultato che non è necessario alcun elemento dell'involucro di passaggio d'aria. Tuttavia, è fortemente consigliato dimensionare gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria ad almeno il 50% del flusso d'aria aspirato.

Uno dei motivi è che in caso contrario, se le perdite sono distribuite in modo infelice, quasi l'intero flusso d'aria di compensazione potrebbe affluire dagli appartamenti adiacenti, dal vano scale, dallo

scantinato, ecc. Un altro motivo è che raramente si conosce il valore esatto della perdita. Se gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria non sono collocati direttamente nei locali con aria aspirata, i passaggi d'aria di transito dei locali con aria aspirata devono essere dimensionati al flusso d'aria aspirata totale.

Per quanto riguarda il tempo di esercizio dopo l'utilizzo del locale, la SIA 382/5 specifica che i ventilatori devono continuare a funzionare dopo il segnale di spegnimento fino a quando non aspirano almeno un volume d'aria del locale (ricambio d'aria di 1 volta). Tuttavia, occorre sottolineare che la protezione contro l'umidità non è garantita da questo volume d'aria aspirata. Ciò deve essere verificato in combinazione con i dispositivi e le misure di ventilazione dell'intero appartamento.

#### **Esempio di calcolo 7.1: Dimensionamento di EIPA nel caso di esercizio on/off**

Un nuovo appartamento di 4 locali con una superficie netta di 110 m<sup>2</sup> dispone di due bagni dotati di ventilatori d'aspirazione regolati secondo il fabbisogno. La tabella 3.2 indica un flusso d'aria aspirata minimo per bagno di 50 m<sup>3</sup>/h. Per motivi di comfort, tuttavia, la committenza opta per 60 m<sup>3</sup>/h per bagno o 120 m<sup>3</sup>/h quando entrambi i ventilatori sono in funzione. Come devono essere dimensionati gli EIPA? Secondo la figura 7.2, l'infiltrazione raggiunge i 46 m<sup>3</sup>/h nel caso del valore mirato per i nuovi edifici (sottopressione di 4 Pa). Moltiplicato per un fattore di 1,5 (dato che gli EIPA sono dimensionati per una sottopressione di circa 10 Pa), si ottiene un valore di 69 m<sup>3</sup>/h, che viene arrotondato a 70 m<sup>3</sup>/h. La trasformazione della formula 7.1 dà come risultato:

$$\Sigma q_{v,EIPA} = q_{v,EIPA} - q_{v,inf} = 120 \text{ m}^3/\text{h} - 70 \text{ m}^3/\text{h} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

In questo caso, il criterio secondo cui almeno il 50% dell'aria esterna affluisce attraverso gli EIPA non sarebbe soddisfatto. Pertanto, gli EIPA vengono dimensionati per 60 m<sup>3</sup>/h. Per ridurre il rischio di correnti, questo flusso d'aria esterna viene suddiviso tra due EIPA, attraverso ciascuno dei quali affluiscono 30 m<sup>3</sup>/h. Posizionandoli nella zona di transito, la sottopressione di dimensionamento è di 10 Pa.

I passaggi d'aria di transito dalla zona di circolazione ai bagni sono dimensionati per 60 m<sup>3</sup>/h. Se i passaggi d'aria di transito sono implementati come fessura sotto la porta, l'altezza di quest'ultima deve essere di 15 mm (figura 3.19).

Ogni bagno ha un volume di 25 m<sup>3</sup>. Ciò significa che i ventilatori devono avere un tempo di esercizio dopo l'utilizzo del bagno di almeno 25 minuti. Con questi tempi di esercizio dopo l'utilizzo del locale, si può ipotizzare che ogni ventilatore d'aspirazione sia in esercizio per due ore al giorno. Ciò si traduce in una media giornaliera di 5 m<sup>3</sup>/h di flusso d'aria aspirata. Ovviamente, ciò non basta ancora a garantire la protezione contro umidità.

### Locale con aria aspirata a esercizio continuo

I flussi d'aria aspirata minimi per gli impianti d'aspirazione con esercizio continuo vengono selezionati in base alla tabella 3.2, colonna «esercizio continuo». Gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria sono dimensionati per una sottopressione di 4 Pa. L'infiltrazione risulta dalla formula 7.2 o dalla figura 7.2.

Come per gli impianti d'aspirazione con esercizio on/off, almeno il 50 % dell'aria di compensazione deve affluire attraverso gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria. Se gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria non sono situati nei locali con aria aspirata, i passaggi d'aria di transito devono essere dimensionati per il flusso d'aria aspirata totale.

Analogamente al dimensionamento degli impianti d'aspirazione di appartamenti, occorre chiarire se, da un lato, è garantita la protezione contro l'umidità e, dall'altro, se è soddisfatto il requisito dell'umidità dell'aria interna minima (vedi sotto).

Gli impianti d'aspirazione di locali in esercizio continuo sono stati studiati nell'ambito del progetto FENLEG delle Scuole universitarie professionali FHNW e HSLU a partire dal 2020 [1]. Come risulta anche dall'esempio seguente, essi possono essere impiegati per realizzare una ventilazione di base per l'intero appartamento. Tuttavia, la qualità dell'aria interna richiesta dalla SIA 382/5 non può essere garantita da tali impianti.

#### Esempio di calcolo 7.2: Dimensionamento di EIPA nel caso di esercizio continuo

L'appartamento di 4 locali dell'esempio 7.1 per locali con aria aspirata a esercizio on/off viene ora dimensionato per l'esercizio continuo. La tabella 3.2 indica un flusso d'aria aspirata minimo per bagno di 30 m<sup>3</sup>/h, che viene adottato dalla committenza. La trasformazione della formula 7.1 dà come risultato:

$$\sum q_{v,EIPA} = q_{v,EIPA} - q_{v,inf} = 60 \text{ m}^3/\text{h} - 46 \text{ m}^3/\text{h} = 14 \text{ m}^3/\text{h}$$

Anche in questo caso, il criterio secondo cui almeno il 50 % dell'aria esterna affluisce attraverso gli EIPA non sarebbe soddisfatto. Pertanto, gli EIPA vengono dimensionati per un totale di 30 m<sup>3</sup>/h.

Per ottenere una ventilazione di base per l'intero appartamento, in ognuna delle tre camere da letto viene collocato un EIPA, dimensionato per 10 m<sup>3</sup>/h a 4 Pa di sottopressione. Tuttavia, poiché l'infiltrazione è stimata nell'ordine di 46 m<sup>3</sup>/h a una sottopressione di 4 Pa, non è possibile garantire che 10 m<sup>3</sup>/h affluiscano effettivamente attraverso ogni EIPA. Se ciò è l'obiettivo, occorrerebbe dimensionare secondo il tipo appartamento con aria aspirata (vedi esempio di calcolo 7.3).

I PAT dalla zona di circolazione ai bagni vengono dimensionati per 30 m<sup>3</sup>/h ciascuno, il che è facilmente realizzabile con una fessura di 7 mm di altezza sotto la porta.

Nel caso di un'occupazione di tre persone, ciò si traduce in un flusso d'aria aspirata di 20 m<sup>3</sup>/h per persona. Pertanto, secondo la figura 2.2, la protezione contro l'umidità è soddisfatta. A tale occupazione, è da considerare che nell'Altopiano svizzero a una temperatura esterna di circa +2 °C l'umidità dell'aria interna scende al di sotto del 30%. Poiché nelle camere da letto, per motivi di qualità dell'aria interna, è necessaria una ventilazione supplementare (ad esempio attraverso le finestre), il requisito dell'umidità minima dell'aria interna probabilmente non può essere raggiunto senza misure supplementari. Nelle istruzioni per l'uso e nelle informazioni agli utenti, il monitoraggio dell'umidità dell'aria interna e l'impiego di umidificatori in caso di necessità devono essere menzionati, qualora il locale sia occupato da un numero di persone pari o inferiore a tre.

### Esempio di calcolo 7.3: Dimensionamento degli EIPA per impianto d'aspirazione per appartamento

Per l'appartamento dell'esempio d'impianto 3.1, «Glatt 1», viene dimensionato un impianto d'aspirazione per appartamento. Per contro valgono gli stessi presupposti come per l'esempio 6.1 per il dimensionamento quale ventilazione meccanica controllata. Una differenza essenziale, tuttavia,

è che in un impianto d'aspirazione il recupero di umidità non è possibile. L'appartamento ha una superficie netta di 80 m<sup>2</sup>. La tenuta all'aria dell'involucro dell'edificio corrisponde al valore mirato per i nuovi edifici.

Passo	Descrizione/osservazione	Flusso d'aria in m <sup>3</sup> /h		
		EIPA	Infiltr.	ASP
1	<b>Flusso d'aria immessa minimo</b> 3 locali dell'aria immessa da 30 m <sup>3</sup> /h	90	-	-
2	<b>Infiltrazione</b> Valore di riferimento secondo la figura 7.2: 35 m <sup>3</sup> /h	-	35	-
3	<b>Flusso d'aria aspirata minimo</b> Secondo la tabella 3.2: bagno 30 m <sup>3</sup> /h, cucina 20 m <sup>3</sup> /h	-		50
4	<b>Flusso d'aria aspirata determinante dell'appartamento</b> - Flusso d'aria immessa minimo più infiltrazione: 125 m <sup>3</sup> /h - Flusso d'aria aspirata minimo: 50 m <sup>3</sup> /h - Valore minimo secondo la SIA 382/5: 50 m <sup>3</sup> /h	-	125	
5	<b>Flusso d'aria esterna determinante attraverso gli EIPA</b> Valore del passo 4 meno valore del passo 2	90		
6	<b>Valutazione della protezione contro l'umidità e misure</b> Nel caso di un'occupazione di 3 pers., il flusso d'aria secondo il passo 4 risulta in 42 m <sup>3</sup> /h per pers. La figura 2.2 mostra che per Zurigo MeteoSvizzera la protezione contro l'umidità è rispettata durante tutto l'anno. Non sono necessarie misure. Il flusso d'aria non deve essere aumentato.	90	35	125
7	<b>Stima dell'umidità dell'aria interna minima e misure</b> Nel caso di un'occupazione di 2 pers., il flusso d'aria secondo il passo 4 risulta in 63 m <sup>3</sup> /h per pers. La figura 2.2 mostra che per Zurigo MeteoSvizzera l'umidità dell'aria interna minima, pari al 30 %, non viene più raggiunta al di sotto di una temperatura esterna di circa + 4 °C. Il requisito del periodo consentito di non raggiungimento del limite inferiore, pari al massimo al 10 %, probabilmente non verrà rispettato. Misure: nel manuale d'uso e nelle istruzioni indicare che l'esercizio dell'impianto deve avvenire in funzione del fabbisogno e/o che, se necessario, occorre introdurre ulteriore umidità, ad esempio con umidificatori puntuali	90	35	125
8	<b>Distribuzione ai locali</b> Flusso d'aria attraverso gli elementi dell'EIPA per camera 30 m <sup>3</sup> /h Flusso d'aria aspirata bagno 60 m <sup>3</sup> /h, cucina 65 m <sup>3</sup> /h Nota: I PAT vanno considerati (fessure di 7 mm sotto la porta sono insufficienti)	90	35	125

#### Discussione delle varianti

In caso di bassi requisiti di comfort, si potrebbe optare per il principio «di collegamento con distribuzione libera attraverso le porte aperte delle camere». In questo caso, il flusso d'aria minimo attraverso gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria è di 60 m<sup>3</sup>/h e il flusso d'aria aspirata determinante è di 95 m<sup>3</sup>/h. Anche in questo caso gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria possono essere collocati nelle camere.

Per ogni camera viene selezionato un elemento dell'involucro di passaggio d'aria da 20 m<sup>3</sup>/h. La protezione contro l'umidità è garantita fino a una temperatura esterna di + 10 °C. A temperature esterne più elevate, si raccomanda l'esercizio continuo. Il problema dell'umidità interna troppo bassa viene leggermente attenuato, ma il manuale d'uso dovrebbe comunque menzionare l'impiego di umidificatori puntuali, in caso di necessità.

Tabella 7.3: Esempio per la determinazione del flusso d'aria determinante di un impianto d'aspirazione con il principio a cascata.

### Appartamento con aria aspirata

Se un impianto d'aspirazione deve rimuovere i contaminanti dai locali con aria aspirata e allo stesso tempo fornire all'intero appartamento il flusso d'aria igienicamente appropriato, i flussi d'aria dei locali vengono determinati in otto passi:

1. I flussi d'aria esterna minimi attraverso gli EIPA vengono determinati in base al principio della distribuzione dell'aria. In genere, entra in gioco il principio a cascata, ma è ipotizzabile ad esempio anche il principio «di collegamento con distribuzione libera».
2. L'infiltrazione viene stimata in base alla formula 7.2 o alla figura 7.2.
3. Il flusso d'aria aspirata minimo corrisponde alla somma dei flussi d'aria aspirata minimi di ogni locale con aria aspirata. A ciò vanno aggiunti i fabbisogni di eventuali locali secondari e subordinati alimentati dallo stesso impianto.
4. Il flusso d'aria aspirata determinante dell'appartamento corrisponde al più alto dei tre valori seguenti:
  - somma dei flussi d'aria esterna minimi attraverso gli EIPA più l'infiltrazione oppure
  - flusso d'aria aspirata minimo
  - valore minimo per l'intero appartamento secondo la SIA 382/5.
5. Il flusso d'aria esterna determinante attraverso gli EIPA corrisponde al flusso d'aria aspirata determinante meno l'infiltrazione.
6. Viene valutato se la protezione contro l'umidità è mantenuta in condizioni invernali. Se necessario, il flusso d'aria viene aumentato. Vengono definite misure per il mantenimento della protezione contro l'umidità durante tutto l'anno.
7. Vengono valutate le condizioni in cui viene soddisfatta l'umidità interna minima. Vengono definite misure per soddisfare il requisito. Se è necessario ridurre il flusso d'aria, si ritorna al punto 1.
8. Il flusso d'aria esterna determinante attraverso gli EIPA e il flusso d'aria aspirata determinante vengono suddivisi tra i locali.

Per quanto riguarda il concetto d'impianto, la protezione contro l'umidità e l'umidità minima dell'aria interna, valgono le stesse condizioni della ventilazione meccanica controllata (vedi capitolo 6.1).

## 7.4 Controllo/regolazione e utilizzo

Nel caso di un locale con aria aspirata con esercizio on/off, occorre considerare il tempo di esercizio dopo l'utilizzo del locale (vedi capitolo 7.3). Per il resto, valgono gli stessi requisiti e raccomandazioni della ventilazione meccanica controllata e le regole di protezione antincendio del capitolo 1.8. In generale, per gli impianti d'aspirazione è consigliabile prevedere un controllo o una regolazione in funzione del fabbisogno.

## 7.5 Layout degli impianti d'aspirazione

### Impianto d'aspirazione per locale singolo con aria espulsa separata

Il concetto dell'impianto d'aspirazione per singolo locale con aria espulsa separata è adatto a locali con esercizio on/off in cui è possibile realizzare una condotta dell'aria aspirata corta, ad esempio sotto forma di un passaggio d'aria espulsa sulla facciata. In questo caso spesso vengono impiegati ventilatori assiali compatti ed economici. Un vantaggio di questi impianti è che praticamente eliminano la trasmissione di rumori e odori tra i locali con aria aspirata e gli appartamenti. Uno svantaggio può essere il livello sonoro dei ventilatori d'aspirazione, soprattutto nel caso di prolungati tempi di esercizio dopo l'utilizzo del locale. Inoltre, ogni passaggio d'aria espulsa costituisce un ponte termico.

### Impianto d'aspirazione monotubo

Nel caso di impianti d'aspirazione monotubo, tutti i locali con aria aspirata sono dotati di ventilatori propri, collegati a una condotta dell'aria aspirata comune. A causa della pressione di convogliamento richiesta, vengono utilizzati ventilatori ra-

diali. Gli apparecchi sono dotati di filtri e di clappe di ritegno ermetiche. I ventilatori dispongono di un esercizio a uno o più livelli.

A seconda del livello sonoro e della durabilità del ventilatore, può essere considerato un esercizio continuo. Vi è inoltre la possibilità di impiegare una pompa di calore sull'aria aspirata. Tuttavia, l'idoneità all'esercizio continuo deve essere espressamente confermata dal fornitore del ventilatore.

Al momento del dimensionamento della condotta dell'aria aspirata, si può tenere conto della simultaneità di utilizzo dei locali con aria aspirata. Poiché in Svizzera questo aspetto non è regolato da norme, occorre tenere conto delle specifiche del fornitore. La figura 7.3 mostra a sinistra lo schema di un impianto d'aspirazione monotubo senza pompa di calore sull'aria aspirata.

### Impianto d'aspirazione per singolo appartamento

Negli impianti d'aspirazione per singolo appartamento, un unico ventilatore estrae l'aria aspirata di un intero appartamento. Ciò è sensato se per ventilare l'intero appartamento è previsto un esercizio continuo.

In alternativa, è possibile impiegare una pompa di calore sull'aria aspirata per riscaldare l'acqua. Sul mercato esistono i cosiddetti apparecchi multifunzionali in cui il ventilatore d'aspirazione, il filtro, la pompa di calore, il bollitore dell'acqua calda e la regolazione sono riuniti in un'unica unità compatta. Esse rappresentano una possibile soluzione nel caso in cui, in una casa monofamiliare esistente, si debba sostituire uno scaldacqua elettrico (boiler elettrico) e, allo stesso tempo, si voglia implementare una ventilazione residenziale.

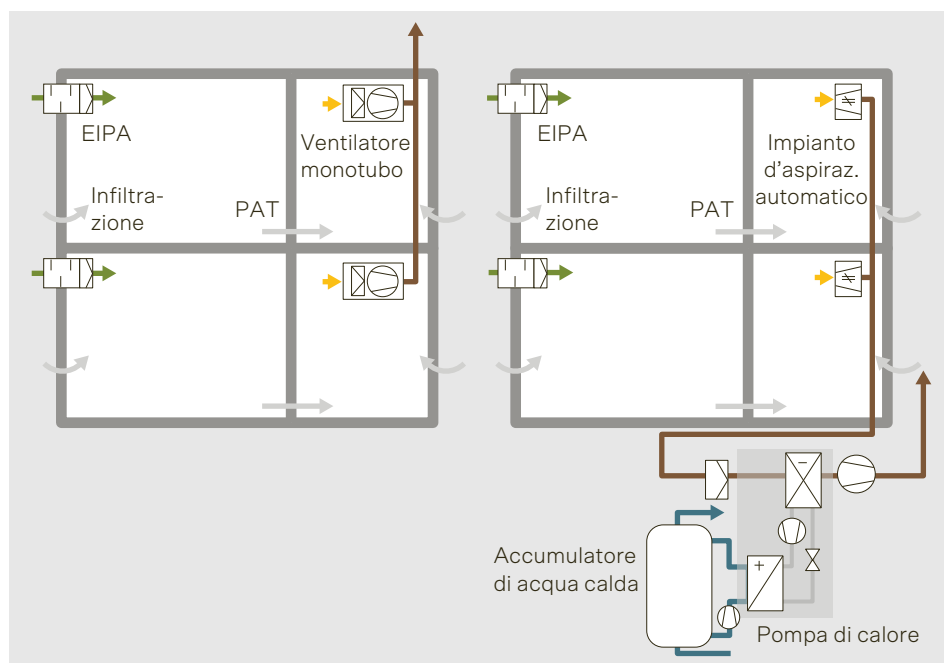


Figura 7.3: Impianto d'aspirazione mono-tubo (sinistra) e impianto d'aspirazione per più appartamenti con pompa di calore sull'aria aspirata (destra).

- Aria esterna
- Aria aspirata
- Aria espulsa
- Aria di transito

Denominazione secondo il Regolamento (UE) 1254/2014	Valore raccomandato	Classe raccomandata dalla SN EN 13142
Classe di consumo energetico specifico	C	
Potenza d'ingresso specifica (tedesco SEL, inglese SPI)	≤ 0,10 W/(m <sup>3</sup> /h) risp. ≤ 360 W/(m <sup>3</sup> /s)	≤ SPI 1
Tasso di perdita d'aria esterno (a 250 Pa)	≤ 7 %	≤ A2
Sensibilità del flusso d'aria a +/- 20 Pa	≤ 20 %	≤ S2

Tabella 7.4: Caratteristiche di prestazione raccomandate di apparecchi di ventilazione (UVR) per impianti d'aspirazione secondo il Regolamento (UE) 1254/2014 e classi raccomandate secondo SN EN 13142:2021.



### Impianto d'aspirazione per più appartamenti

Negli impianti d'aspirazione per più appartamenti, un ventilatore d'aspirazione preleva l'aria aspirata da diversi appartamenti. A seconda delle dimensioni dell'impianto e del controllo/regolazione, il Modello di prescrizioni energetiche dei Cantoni (MoPEC) prescrive una pompa di calore sull'aria aspirata (vedi cap. 4.2). Analogamente all'impianto d'aspirazione per singolo appartamento, la pompa di calore riscalda l'acqua calda sanitaria con il calore dell'aria aspirata. In alcuni casi, essa è anche di appoggio al riscaldamento. La figura 7.3 mostra sulla destra un esempio di soluzione di questo tipo.

Nel caso di esigenze di comfort modeste, un esercizio continuo a singolo livello rappresenta un'opzione possibile. Per uno standard medio o elevato, i locali con aria aspirata sono dotati di regolatori di flusso semplici. Questi cosiddetti aspiratori automatici consentono solitamente un esercizio a due livelli, con una ventilazione di base e una ventilazione in funzione del fabbisogno. Oltre alle regolazioni manuali e temporizzate (con tempo di esercizio dopo l'utilizzo del locale), sono disponibili anche regolazioni in funzione dell'umidità. Con tali sistemi, è essenziale considerare la trasmissione del suono tra i locali con aria aspirata di diversi appartamenti.

### Apparecchi di ventilazione per impianti d'aspirazione

Secondo l'Ordinanza svizzera sull'efficienza energetica (OEEne), gli apparec-

chi di ventilazione devono essere dichiarati in conformità al Regolamento delegato (UE) 1254/2014. Esso a sua volta, richiede che il fornitore dell'apparecchio indichi, tra l'altro, le caratteristiche di prestazione secondo la tabella 7.4.

Nel caso di impianti destinati all'esercizio continuo, si raccomanda di utilizzare i valori della colonna «Valore consigliato» o le classi della colonna «Classe consigliata secondo SN EN 13142» della tab. 7.3. Per gli impianti a esercizio on/off, a causa dei tempi di esercizio ridotti, può essere accettata una classe superiore (ad es. SPI 2 invece di SPI 1). Ciò corrisponde a valori superiori di circa il 50%.

La sensibilità del flusso viene descritta nella sezione per gli apparecchi di ventilazione per singolo locale. Le raccomandazioni per gli apparecchi con pompa di calore sull'aria aspirata sono riportate nel capitolo 9.10.

## 7.6 Elementi dell'involucro di passaggio d'aria (EIPA)

Il comfort e i vantaggi offerti da un impianto d'aspirazione dipendono in larga misura dalla qualità, dal dimensionamento e dalla collocazione degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria.

### Dimensionamento della circolazione

I rapporti di pressione e i flussi d'aria dell'intero impianto d'aspirazione sono trattati nel capitolo 7.3. Qui si tratta di determinare il tipo e il numero di elementi dell'involucro di passaggio d'aria in modo da non superare la perdita di carico consentita per il flusso d'aria richie-

#### Esempio di calcolo 7.4: Dimensionamento di EIPA in base alla perdita di carico

In una camera, in esercizio normale ad una sottopressione di 4 Pa, un flusso d'aria esterna di 30 m<sup>3</sup>/h dovrebbe circolare attraverso l'EIPA. Secondo il produttore, con un flusso d'aria di 25 m<sup>3</sup>/h, l'EIPA selezionato provoca una perdita di carico di 10 Pa. Secondo la formula 7.3, in esercizio normale si ottiene un flusso d'aria esterna attraverso l'EIPA pari a:

$$q_{v,EIPA,N} = 25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot (4 \text{ Pa}/10 \text{ Pa})^{0,55} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Per ogni camera devono quindi essere impiegati due EIPA del tipo selezionato.

sto. A tale scopo si presuppone che i filtri siano puliti.

Alcuni fornitori mettono a disposizione diagrammi con i quali è possibile determinare il punto di dimensionamento. Altri specificano solo un flusso d'aria a una determinata perdita di carico. Nel secondo caso, è necessaria una conversione. La formula 7.3 mostra come calcolare il flusso d'aria di un elemento dell'involucro di passaggio d'aria nell'esercizio normale previsto:

$$q_{v,EIPA,N} = q_{v,EIPA,m} \cdot \left( \frac{\Delta p_N}{\Delta p_m} \right)^n \quad (7.3)$$

Dove  $q_{v,EIPA,m}$  è il flusso d'aria esterna nel punto di misurazione secondo le specifiche del produttore,  $\Delta p_N$  è la perdita di carico dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria durante l'esercizio normale e  $\Delta p_m$  è la perdita di carico dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria nel punto di misurazione secondo le specifiche del produttore. Se non sono disponibili dati del produttore, per il calcolo si utilizza  $n = 0,55$ .

### Filtro

Per l'aria immessa, la SIA 382/5 richiede un filtro di classe ISO ePM1 50% (F7). Nel caso di elementi dell'involucro di passaggio d'aria, è possibile rinunciare a tale requisito se l'aria esterna è pulita, ovvero se sono rispettati i valori limite d'immissione previsti dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA). Inoltre, devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

- La contaminazione dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria è facilmente riconoscibile da persone non esperte.
- L'accesso alle parti sporche è garantito senza attrezzi e senza scala.
- Le parti sporche possono essere pulite dagli utenti/inquilini con mezzi semplici (panno e acqua) e senza attrezzi.
- Gli utenti ricevono un'istruzione e indicazioni scritte per la pulizia.

Se tutto ciò è soddisfatto, la SIA 382/5 richiede comunque un filtro di classe ISO ePM10 50% (M5). Rispetto ai precedenti requisiti della SIA 2023 o di altre norme internazionali, ciò rappresenta una sfida. Solo pochi tipi di elementi dell'involucro di passaggio d'aria soddisfano questo requisito.

### Comfort termico

Il progetto ENABL [1] ha studiato a fondo la circolazione dell'aria interna e il comfort termico nel caso d'impiego di elementi dell'involucro di passaggio d'aria. I risultati del progetto possono essere riassunti come segue:

- Con l'introduzione del getto d'aria parallelo alla parete e la disposizione dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria nella zona superiore del locale, si ottiene di regola il minor rischio di correnti d'aria. Ciò vale soprattutto se sotto l'elemento dell'involucro di passaggio d'aria vi è inoltre un radiatore.
- Le superfici sporgenti sopra l'elemento dell'involucro di passaggio d'aria, come

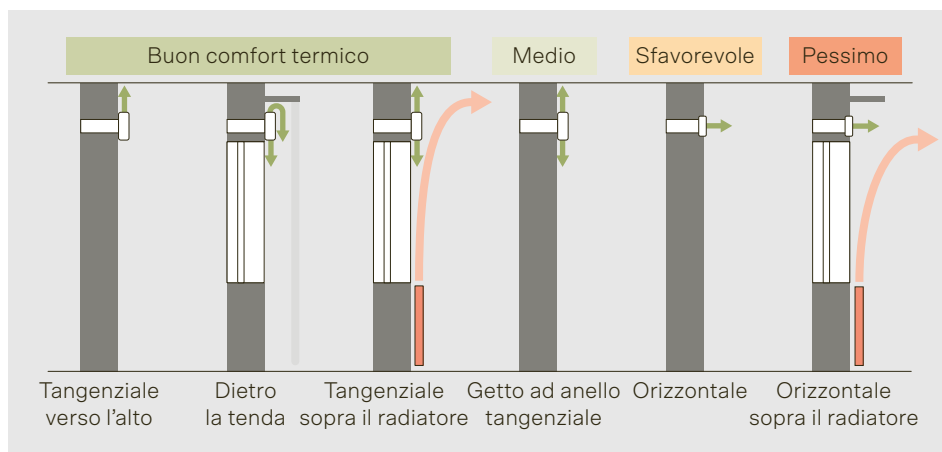


Figura 7.4: Disposizione comprovata e critica di elementi dell'involucro di passaggio d'aria.

le guide delle tende, possono aumentare il rischio di correnti d'aria se deviano il flusso d'aria fredda verso l'interno del locale.

- L'introduzione orizzontale dell'aria è sfavorevole in termini di comfort. L'aria immessa fredda raggiunge così la zona di permanenza. In questo caso, un radiatore può aumentare l'effetto di corrente d'aria, poiché il ricircolo dell'aria calda trasporta l'aria esterna fredda in profondità nel locale.
- Gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria posizionati dietro le tende comportano un rischio di correnti d'aria molto più basso. Tuttavia, è già stato osservato nella pratica che le tende chiare possono sporcarsi, soprattutto se non viene impiegato un filtro adeguato.

La figura 7.4 mostra disposizioni comprovate e critiche di elementi dell'involucro di passaggio d'aria. Le indagini condotte tra gli abitanti nell'ambito del progetto FENLEG [2] hanno dimostrato che, in termini percentuali, sono state segnalate meno correnti d'aria nel caso di impianti d'aspirazione in appartamenti con radiatori rispetto a quelli con riscaldamento a pavimento. Produttori rinomati hanno analizzato il rischio di correnti d'aria dei loro prodotti e sono in grado di fornire precise specifiche di progettazione e installazione.

#### Dimensionamento acustico

Gli EIPA indeboliscono il fonoisolamento dal rumore esterno. Tuttavia, i requisiti della SIA 181, cifra 3.1, devono essere soddisfatti.

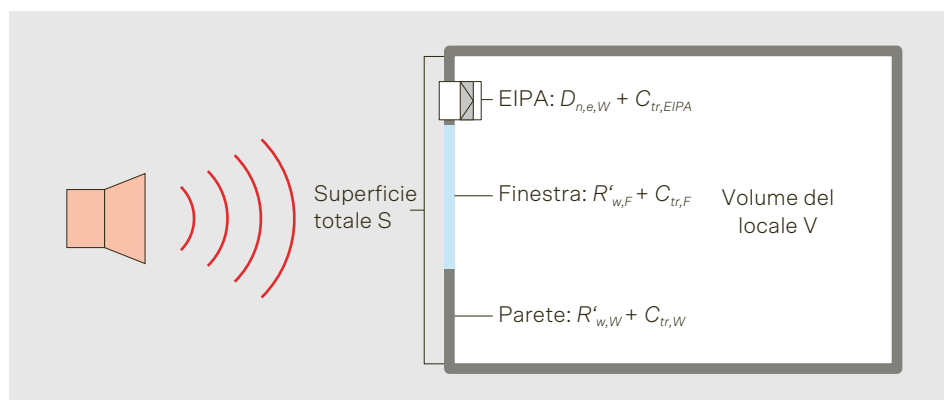
$$D_{45^\circ, nT, w} + C_{tr} = (R'_{w, S} + C_{tr, S}) - 10 \cdot \lg \left\{ \frac{T_0}{V \cdot 0,163} \cdot [S + A_0 \cdot 10^{0,1 \cdot [(R'_{w, S} + C_{tr, S}) - (D_{n, e, w} + C_{tr, EIPA})]}] \right\} \quad (7.6)$$

$$(R'_{45^\circ, w} + C_{tr})_{res} = (R'_{w, S} + C_{tr, S}) - 10 \cdot \lg \left\{ 1 + \frac{A_0}{S} \cdot 10^{0,1 \cdot [(R'_{w, S} + C_{tr, S}) - (D_{n, e, w} + C_{tr, EIPA})]} \right\} \quad (7.7)$$

Dove:

- $R'_{w, S}$  Indice di fonoisolamento in opera ponderato per gli elementi costruttivi esterni, in dB
- $C_{tr, S}$  Termine di adattamento allo spettro dell'involucro dell'edificio senza EIPA, in dB
- $T_0$  Tempo di riverbero di riferimento,  $T_0 = 0,5$  s
- $V$  Volume netto del locale in  $m^3$
- $S$  Superficie dell'involucro dell'edificio inclusi gli EIPA in  $m^2$
- $A_0$  Superficie di assorbimento acustico di riferimento,  $A_0 = 10$   $m^2$
- $D_{n, e, w}$  Fonoisolamento relativo alla superficie assorbente dall'EIPA ponderato in dB
- $C_{tr, EIPA}$  Termine di adattamento allo spettro dall'EIPA in dB

Figura 7.5: Indebolimento del fonoisolamento di un involucro dell'edificio a causa di elementi dell'involucro di passaggio d'aria.



### Esempio di calcolo 7.5: Verifica della protezione dal rumore con due EIPA

Una camera da letto ha una superficie di 12 m<sup>2</sup> ed è alta 2,5 m (volume netto 30 m<sup>3</sup>). La superficie dell'intera parete esterna è di 8 m<sup>2</sup>, di cui la finestra occupa 1,9 m<sup>2</sup>. La parete in mattoni presenta un valore ( $R'_{w,W} + C_{tr}$ ) di 55 dB. L'EIPA selezionato presenta i seguenti dati acustici:

- Fonoisolamento ponderato relativo alla superficie assorbente  $D_{n,e,w} = 36$  dB
- Termine di adattam. allo spettro  $C_{tr,EIPA} = -1$  dB

Per far affluire i 30 m<sup>3</sup>/h richiesti, occorre installare due EIPA. Ciò riduce il valore  $D_{n,e,w}$  di 3 dB. La tabella 7.5 mostra la verifica secondo le formule da 7.4 a 7.7. Si distinguono due casi:

- a) Ubicazione tranquilla, finestra vecchia
- b) Ubicazione rumorosa, fin. nuova fonoassorbente

Inoltre, si valuta se viene raggiunta solo quella minima della SIA 181 o anche l'esigenza maggiorata.

**Risultato:** in ubicazioni tranquille, è possibile soddisfare l'esigenza minima di fonoisolamento dal rumore esterno. In tutti gli altri casi, i requisiti della SIA 181 non sono soddisfatti con l'EIPA selezionato.

L'indebolimento del fonoisolamento dell'involucro dell'edificio dovuto a un EIPA è notevole: in un'ubicazione tranquilla, il fonoisolamento diminuisce di 7 dB a causa dell'installazione degli EIPA, mentre in un'ubicazione rumorosa di ben 14 dB. Se gli EIPA vengono installati dopo la sostituzione di una finestra, è probabile che ciò porti a dei reclami. Da questo esempio si può concludere che gli impianti d'aspirazione in ubicazioni rumorose possono essere problematici. I valori di  $D_{n,e,w}$  qui selezionati corrispondono a prodotti acusticamente medi. Nell'ubicazione rumorosa, i requisiti minimi della SIA 181 potrebbero essere soddisfatti se si impiegassero EIPA con un valore ( $D_{n,e,w} + C_{tr}$ ) di 42 dB. Con un EIPA di così alta qualità acustica, il fonoisolamento nell'ubicazione tranquilla peggiora ancora di 3 dB, il che è accettabile. Nell'ubicazione rumorosa, tuttavia, il peggioramento è ancora considerevole, ossia di 8 dB. Sebbene il requisito minimo sia soddisfatto, questo risultato dovrebbe ancora risultare insoddisfacente per gli abitanti.

Descrizione	Simbolo della formula Termine	Unità	Ubicazione tranquilla		Ubicazione rumorosa	
			Esigenza		Esigenza	
			Mi-nima	Mag-giorata	Mi-nima	Mag-giorata
<b>Basi</b>						
Carico fonico notturno	$L_r$	dB	52		60	
Valore richiesto	$D_e$	dB	27	30	35	38
Supplemento di progetto	$K_p$	dB	2		2	
<b>Involucro dell'ed. senza EIPA</b>						
Indice di fonoisolamento ponderato della finestra	$R'_{w,F} + C_{tr,F}$	dB	31,0		40,0	
Indice di fonoisolamento ponderato dell'involucro dell'edificio senza EIPA	$R'_{w,S} + C_{tr,S}$	dB	37,0		45,6	
<b>EIPA</b>						
Superficie assorbente ponderata o fonoisolamento ponderato di due EIPA	$D_{e,n,w} + C_{tr,EIPA}$	dB	32,0		32,0	
<b>Esigenza 1 (eq. 7.4)</b>						
Fonoisolamento ponderato normalizzato con due EIPA	$D_{45^\circ T,w} + C_{tr}$	dB	30,9		31,8	
Valore di progetto	$D_{e,d} = D_{45^\circ nT,w} + C_{tr} - K_p$	dB	28,9		29,8	
Esigenza 1 soddisfatta?	$D_{e,d} \geq D_e$		si	no	no	no
<b>Esigenza 2 (eq. 7.5)</b>						
Indice di fonoisolamento in opera ponderato dell'involucro dell'edificio con due EIPA	$(R'_{45^\circ w} + C_{tr})_{res}$	dB	30,0		30,9	
Esigenza 2 soddisfatta?	$(R'_{45^\circ w} + C_{tr})_{res} \geq D_e - 5$ dB		si	si	si	no

Tabella 7.5: Verifica del fonoisolamento di un locale con due elementi dell'involucro di passaggio d'aria.

Per un inquinamento acustico da basso a moderato (valore notturno  $L_r = 52$  dB, valore diurno  $L_r = 60$  dB) il requisito minimo equivale a  $D_e = 27$  dB. Nel caso di requisiti maggiorati, valgono i medesimi valori aumentati di 3 dB. Nel caso di inquinamento acustico notevole o pesante, i requisiti minimi equivalgono a  $D_e = L_r - 25$  dB di notte e a  $D_e = L_r - 33$  dB di giorno. I valori di  $D_e$  citati valgono per una sensibilità al rumore media, cioè, ad esempio, per soggiorni e camere da letto. Per la progettazione, devono essere soddisfatti due requisiti allo stesso tempo:

**Requisito 1:** il valore di progetto (per il fonoisolamento per via aerea da fonti di rumore esterne)  $D_{e,d}$  non deve scendere al di sotto del valore di requisito  $D_e$ :

$$D_{e,d} = D_{45;nT,w} + C_{tr} - K_p \geq D_e \quad (7.4)$$

**Requisito 2:** l'indice di fonoisolamento in opera ponderato risultante per gli elementi costruttivi esterni, compreso il termine di adattamento allo spettro, deve essere superiore di 5 dB rispetto al valore di requisito  $D_e$ :

$$(R'_{45;w} + C_{tr})_{res} \geq D_e - 5 \text{ dB} \quad (7.5)$$

Dove:

$D_{45;nT,w}$  Fonoisolamento ponderato normalizzato dell'involucro dell'edificio in dB

$C_{tr}$  Termine di adattamento allo spettro in dB

$R'_{45;w}$  Indice di fonoisolamento in opera ponderato per gli elementi costruttivi esterni in dB

$K_p$  Supplemento di progetto in dB

$D_e$  Valore di requisito in dB

La figura 7.5 illustra le grandezze considerate nel calcolo del fonoisolamento ponderato normalizzato  $D_{45;nT,w}$ . Il fonoisolamento ponderato normalizzato compreso il termine di adattamento allo spettro viene calcolato secondo la formula 7.6. L'indice di fonoisolamento in opera ponderato per gli elementi costruttivi esterni, compreso l'elemento dell'involucro di passaggio d'aria, si ottiene dalla formula 7.7.

#### Raccomandazioni e regola del pollice

Per garantire che il fonoisolamento normalizzato dell'involucro dell'edificio non sia indebolito di più di 1 o 2 dB dagli elementi dell'involucro di passaggio d'aria, il fonoisolamento relativo alla superficie assorbente dagli elementi dell'involucro di passaggio d'aria deve soddisfare il requisito della formula 7.8:

$$D_{n,e,w} + C_{tr,EIPA} \geq (R'_{w,F} + C_{tr,F}) - 10 \cdot \lg(S_f) + 12 \text{ dB} \quad (7.8)$$

Dove:

$D_{n,e,w}$  Fonoisolamento relativo alla superficie assorbente dagli EIPA ponderato in dB

$C_{tr,EIPA}$  Termine di adattamento allo spettro dall'EIPA in dB

#### Esempio di calcolo 7.6: Stima dell'attenuazione acustica con la regola del pollice

In una camera viene impiegata una finestra di  $2 \text{ m}^2$  con un indice di fonoisolamento in opera  $(R'_{w,F} + C_{tr}) = 32$  dB. Sono previsti due EIPA. Secondo la formula 7.8 vale:

$$D_{n,e,w} + C_{tr,EIPA} \geq 32 \text{ dB} - 10 \cdot \lg(2) + 12 \text{ dB} = 41 \text{ dB}$$

Poiché sono previsti due EIPA, ogni EIPA deve presentare un valore  $(D_{n,e,w} + C_{tr})$  di almeno 44 dB.

Con l'EIPA ipotizzato, il produttore indica un valore  $D_{n,e,w}$  di 45 dB, ma senza specificare il  $C_{tr,EIPA}$ . Assumendo  $C_{tr,EIPA} = -3$  dB si

ottiene un valore stimato di  $D_{n,e,w} + C_{tr,EIPA} = 42$  dB. La raccomandazione non è quindi soddisfatta. Se l'EIPA selezionato viene comunque impiegato, occorre ottenere informazioni più dettagliate dal produttore e rivolgersi a un esperto in acustica.

$R'_{w,F}$  Indice di fonoisolamento in opera ponderato della finestra in dB  
 $C_{tr,F}$  Termine di adattamento allo spettro della finestra in dB  
 $S_F$  Superficie della finestra, in m<sup>2</sup>

La formula precedente vale se in un locale è installato un solo elemento dell'involucro di passaggio d'aria. Nel caso di due elementi dell'involucro di passaggio d'aria, il valore ( $D_{n,e,w} + C_{tr,EIPA}$ ) del singolo elemento dell'involucro di passaggio d'aria deve essere superiore di 3 dB. Questa regola del pollice presuppone inoltre che i valori  $R'_w$  delle pareti e del tetto siano superiori di almeno 15 dB a quelli delle finestre. Questa regola del pollice non sostituisce una verifica del fonoisolamento.

Indipendentemente dai risultati della formula 7.8, il valore ( $D_{n,e,w} + C_{tr,EIPA}$ ) dall'elemento dell'involucro di passaggio d'aria deve essere di almeno 38 dB. Se il fornitore non specifica un valore  $C_{tr}$  si dovrebbe utilizzare un valore di default di  $C_{tr,EIPA} = -3$  dB.

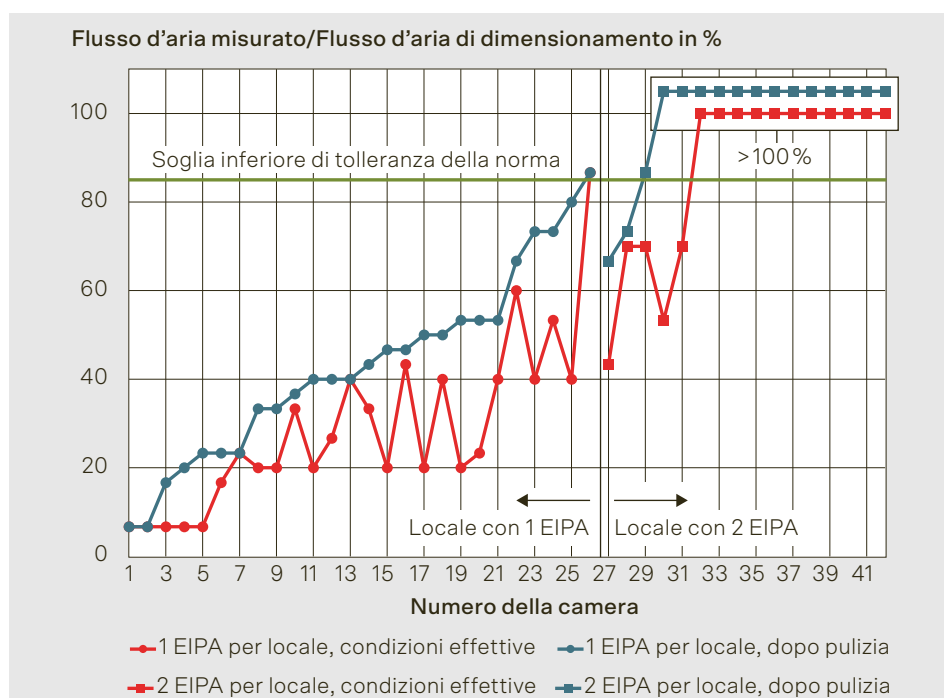


Figura 7.6: Flusso d'aria esterna attraverso gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria in uno studio pratico [3]; viene illustrato il rapporto tra i valori misurati e i requisiti della norma nelle condizioni effettive e dopo la pulizia.

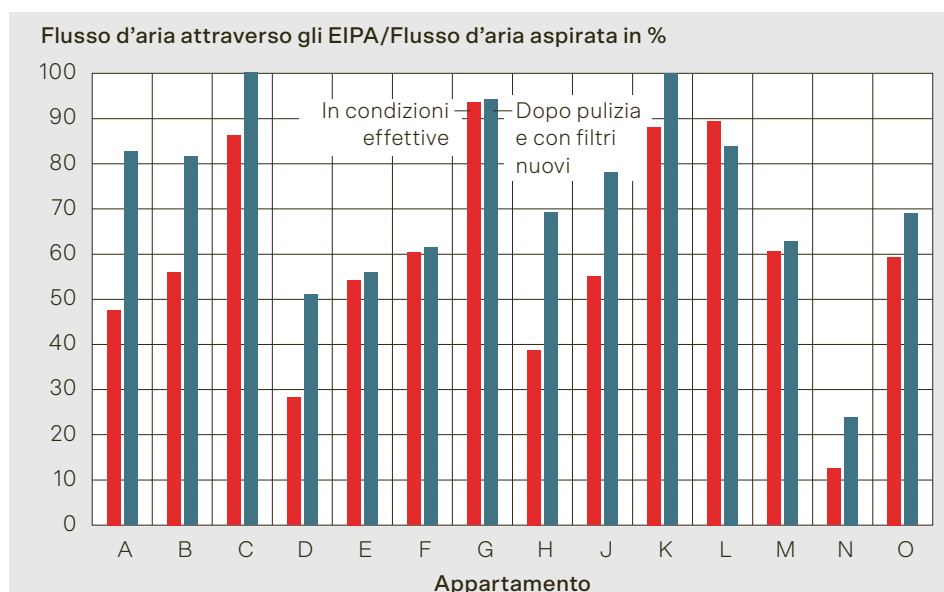


Figura 7.7: Rapporto tra il flusso d'aria attraverso gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria e il flusso d'aria aspirata in uno studio pratico [3], in condizioni effettive e dopo la pulizia.

## 7.7 La pratica

In uno studio pratico commissionato dalla Conferenza dei servizi cantonali dell'energia della Svizzera orientale [3], sono stati esaminati gli impianti d'aspirazione in 13 appartamenti di 5 diversi complessi residenziali. Nel processo sono stati sostituiti i filtri e sono stati puliti in totale 59 elementi dell'involucro di passaggio d'aria e 34 passaggi d'aria aspirata. Prima e dopo sono stati misurati i flussi d'aria.

Nel 30% degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria, i filtri sono stati sostituiti almeno una volta all'anno. Nella metà degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria, l'ultima sostituzione del filtro risale a circa due o tre anni prima e nel 20% degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria a quattro anni o più. Nell'ultimo gruppo vi erano anche elementi dell'involucro di passaggio d'aria in cui i filtri non erano mai stati sostituiti dopo la messa in funzione.

La figura 7.6 mostra in quale percentuale il flusso d'aria richiesto dalla norma è stato raggiunto dall'elemento dell'involucro di passaggio d'aria. Ciò significa che un valore pari o superiore al 100% soddisfa la norma. La norma prevede una tolleranza del 15%, di cui si è tenuto conto nel calcolo del grado di conformità.

In 26 camere era presente un solo elemento dell'involucro di passaggio d'aria. In questo caso, salvo un'eccezione, il requisito normativo non è stato soddisfatto. Prima della pulizia (condizioni effettive), il flusso d'aria esterna medio misurato era pari solo al 27% del valore normativo. In condizioni pulite, la media era ancora chiaramente troppo bassa, situandosi intorno al 41%.

La situazione è migliore per camere con due elementi dell'involucro di passaggio d'aria: In condizioni effettive, solo 4 camere su 15 non soddisfano il requisito. In condizioni pulite, solo due non soddisfano ancora. Ciò conferma che, con i prodotti oggi comunemente impiegati, sono solitamente necessari due elementi dell'involucro di passaggio d'aria per camera.

Nelle camere in cui la norma non è stata soddisfatta, la sporcizia ha ridotto di un terzo il flusso d'aria esterna. Tuttavia, il motivo non era sempre dovuto solo all'intasamento dei filtri: anche lo sporco delle griglie di protezione dagli agenti atmosferici e dagli insetti ha contribuito in modo significativo.

Queste e altre osservazioni dimostrano che la manutenzione degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria e dei passaggi d'aria aspirata richiede l'accesso a tutti i soggiorni e alle camere da letto. Soprattutto negli appartamenti in affitto, questo lavoro non può essere delegato agli inquilini. Anche negli appartamenti in proprietà per piani, solo una parte del lavoro può essere delegata ai proprietari. Ad esempio, non è realistico per una gran parte degli utenti rimuovere e installare professionalmente una griglia anti-insetti per la pulizia regolare.

A seconda della qualità dell'aria esterna, sono necessarie da uno a tre interventi di manutenzione all'anno, affinché gli elementi funzionino correttamente. Non è chiaro quanto gli inquilini si sentano disturbati dal frequente accesso alle camere da letto da parte di terzi.

La figura 7.7 mostra il rapporto tra il flusso d'aria attraverso l'elemento dell'involucro di passaggio d'aria e il flusso d'aria aspirata negli appartamenti esaminati.

Anche in questo caso, le misurazioni sono state effettuate in condizioni effettive e pulite. Dopo la pulizia, il valore medio del rapporto è salito da 0,59 a 0,73. Se non si prende in considerazione l'appartamento «N», particolarmente poco ermetico, il fattore tra aria aspirata e aria esterna (attraverso l'elemento dell'involucro di passaggio d'aria) in condizioni pulite è in media di 1,3. Ciò corrisponde al valore standard della SIA 382/5. In condizioni non pulite, il valore medio del fattore era di 1,6. Nei quattro appartamenti particolarmente ermetici, almeno l'85% dell'aria esterna fluiva attraverso l'elemento dell'involucro di passaggio d'aria (fattore < 1,2), in condizioni pulite che in quelle effettive. Valori di riferimento comparabili sono stati determinati anche in [2].



## 7.8 Letteratura

- [1] Dorer, Viktor; Pfeiffer, Andreas: ENABL, Energieeffiziente Abluftsysteme. Schlussbericht des gleichnamigen Forschungsprojekts. Empa, Dübendorf 2002
- [2] Hoffmann, Caroline; et al.: FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung – ist der Einsatz erfolgreich? Schlussbericht des BFE-Projekts. Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Muttenz/Hochschule Luzern, Horw, 2020
- [3] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via [www.endk.ch](http://www.endk.ch) → Dokumentation/Archiv → Studien

# Progettazione della ventilazione per singolo locale

## Punti di leva negli impianti con ventilazione per singolo locale

I seguenti requisiti contribuiscono in modo significativo alla realizzazione di impianti di alta qualità.

### Caratteristiche di prestazione di apparecchi di ventilazione per singolo locale

- La sensibilità del flusso d'aria (o sensibilità alle variazioni di pressione) è una caratteristica qualitativa decisiva per l'efficienza energetica e il funzionamento di tali apparecchi. Tale valore deve ammontare al massimo al 20 % (classe S2).
- Classe energetica A o superiore<sup>1</sup>
- Recupero di calore preferibilmente con uno scambiatore entalpico
- Nessuna batteria elettrica di riscaldamento, né come protezione dalla formazione di ghiaccio nel RC, né per il post-riscaldamento

### Note relative ai ventilatori push-pull

- Nel caso dei ventilatori push-pull, la direzione del flusso cambia ogni uno o due minuti. In linea di principio, valgono gli stessi requisiti previsti per gli altri apparecchi di ventilazione per singolo locale.
- I ventilatori push-pull devono sempre essere utilizzati in coppia con una regolazione in comune.
- Poiché l'aria viene convogliata in una sola direzione per metà del tempo, il flusso d'aria deve essere doppio rispetto agli apparecchi per l'esercizio continuo.
- La norma di test europea EN 13141-8:2015 valuta questi apparecchi in modo insufficiente. Pertanto, devono essere utilizzati i risultati dei test secondo il DIBT (Deutsches Institut für Bautechnik).
- Secondo la norma svizzera, ogni ventilatore deve essere dotato di due filtri, uno sul lato esterno e uno sul lato locale. Solo pochi ventilatori push-pull soddisfano questo requisito.

### Protezione dal rumore

- Per una corretta valutazione, è necessario specificare il livello di potenza sonora. Nelle camere da letto, il valore deve essere di circa 25 dB(A) per 30 m<sup>3</sup>/h di flusso d'aria. Gran parte degli apparecchi di ventilazione per singolo locale disponibili sul mercato attualmente non soddisfano tale requisito.
- Alcuni fornitori indicano il livello di pressione sonora a 1 o 3 metri di distanza. Ciò si riferisce a una misurazione all'aperto. In una camera, il livello di pressione sonora è superiore di 8 dB rispetto a una distanza di 1 metro, o di 17 dB rispetto a una distanza di 3 metri.
- Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale possono indebolire il fonoisolamento dal rumore esterno. Per una valutazione qualificata è necessario uno specialista in acustica (cfr. capitolo 7.6).

### Combinazione con impianti d'aspirazione

- Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale possono essere combinati con ventilatori dell'aria aspirata nel bagno e nel WC. Insieme alla normale infiltrazione, essi assicurano l'afflusso dell'aria di compensazione. In edifici particolarmente ermetici (come Minergie-P) e con elevati flussi d'aria aspirata (a partire da due bagni), possono essere necessarie misure per evitare una sottopressione eccessiva.
- I ventilatori dell'aria aspirata dovrebbero presentare un esercizio on/off regolato in funzione del fabbisogno.

<sup>1</sup> Nell'ambito delle prescrizioni energetiche, tale valore deve essere dichiarato dal fornitore.

### Igiene e manutenzione

Non solo la sostituzione dei filtri, ma anche la pulizia delle griglie dell'aria esterna, delle griglie anti-insetti, ecc. richiede una manutenzione regolare da parte di personale qualificato. L'esperienza dimostra che gli inquilini non sono in grado di effettuare una manutenzione professionale degli apparecchi di ventilazione per singolo locale. Si consiglia di stipulare contratti di manutenzione con almeno una visita di servizio all'anno. A tal fine, gli abitanti devono permettere l'accesso a ogni camera da letto.

## 8.1 Flussi d'aria e umidità dell'aria interna

Il flusso d'aria immessa e d'aria aspirata per locale è solitamente di 30 m<sup>3</sup>/h, come indicato nel capitolo 3.6. L'aria aspirata nel bagno, nella doccia e nel WC viene solitamente evacuata con classici ventilatori dell'aria aspirata. Per il dimensionamento dei flussi d'aria aspirata minimi, si rimanda al capitolo 7. Spesso, tuttavia, non sono necessari elementi dell'involucro di passaggio d'aria – questo aspetto è trattato nel capitolo 8.5. Analogamente ad altri sistemi, è necessario valutare in linea di principio se la protezione contro l'umidità in inverno e i requisiti per l'umidità dell'aria interna minima sono soddisfatti. Tuttavia, grazie alla flessibilità d'esercizio degli apparecchi di ventilazione per singolo locale, l'umidità dell'aria può essere influenzata in modo quasi illimitato, con o senza recupero di umidità. In questo modo, i limiti di umidità superiore e inferiore possono essere rispettati per un ampio spettro di situazioni di occupazione e produzione di

umidità. Tuttavia, ciò richiede che gli abitanti comprendano a sufficienza i meccanismi alla base dell'umidità dell'aria interna e siano ben istruiti. In caso di scarsa comprensione e comportamento scorretto, l'elevata flessibilità può essere controproducente. Un rischio significativo è che gli abitanti spengano permanentemente gli apparecchi perché li percepiscono come troppo rumorosi. Le misure più efficaci per la protezione contro l'umidità sono quindi apparecchi silenziosi e una buona istruzione.

## 8.2 Tipologie di apparecchio, indicatori, requisiti

Gli **apparecchi a esercizio continuo** (fig. 8.1) operano con flussi d'aria immessa e d'aria aspirata che rimangono costanti a un livello di esercizio selezionato. Il lato dell'aria immessa e quello dell'aria aspirata sono dotati di un proprio ventilatore e di un proprio filtro. Il calore viene recuperato tramite scambiatori di calore a piastre.

Figura 8.1: Apparecchio di ventilazione per singolo locale a esercizio continuo.

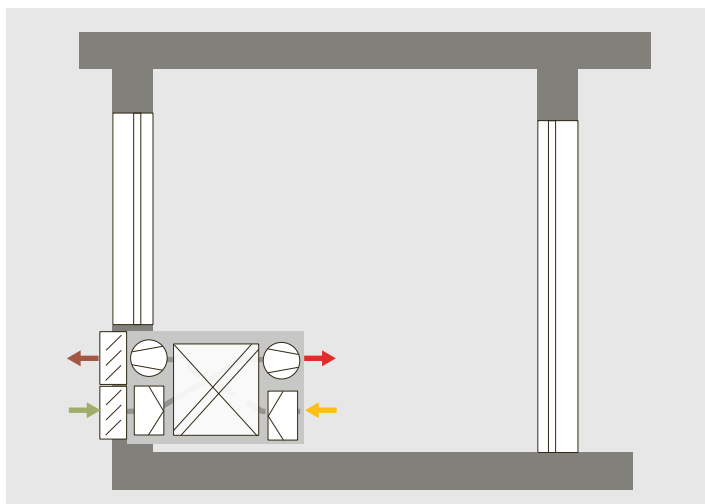
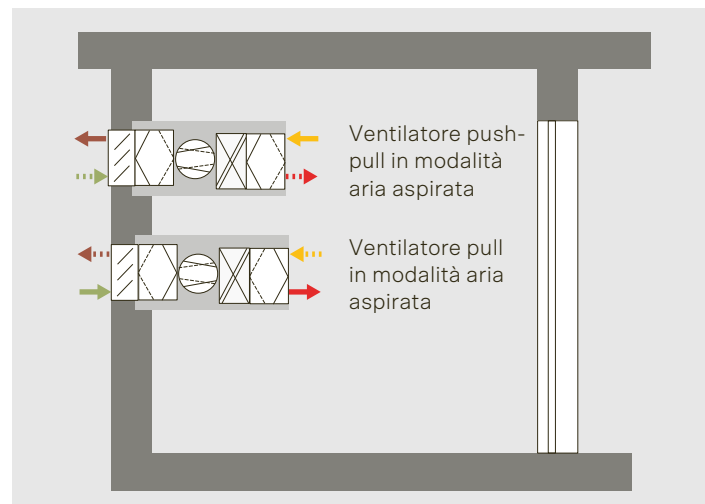


Figura 8.2: Per ventilare un locale i ventilatori push-pull vengono sempre impiegati in coppia.



Nel caso di **ventilatori push-pull**, noti anche come «ventilatori a pendolo», la direzione dell'aria cambia ciclicamente in un lasso di tempo compreso tra uno e due minuti. Il recupero di calore consiste in una massa di accumulo che viene caricata nella direzione del flusso dal locale verso l'esterno e scaricata nella direzione opposta. Per un corretto esercizio, i ventilatori push-pull devono sempre essere impiegati in coppia, con un apparecchio operante in modalità di aria immessa e l'altro in modalità di aria aspirata. La figura 8.2 mostra schematicamente un locale ventilato con una coppia di ventilatori di questo tipo. Nella maggior parte dei prodotti, ventilatori assiali che possono operare in entrambe le direzioni consentono di invertire la direzione del flusso. Sia gli apparecchi operanti in modalità continua che quelli operanti in modalità push-pull sono disponibili con e senza recupero dell'umidità.

### Sensibilità del flusso d'aria

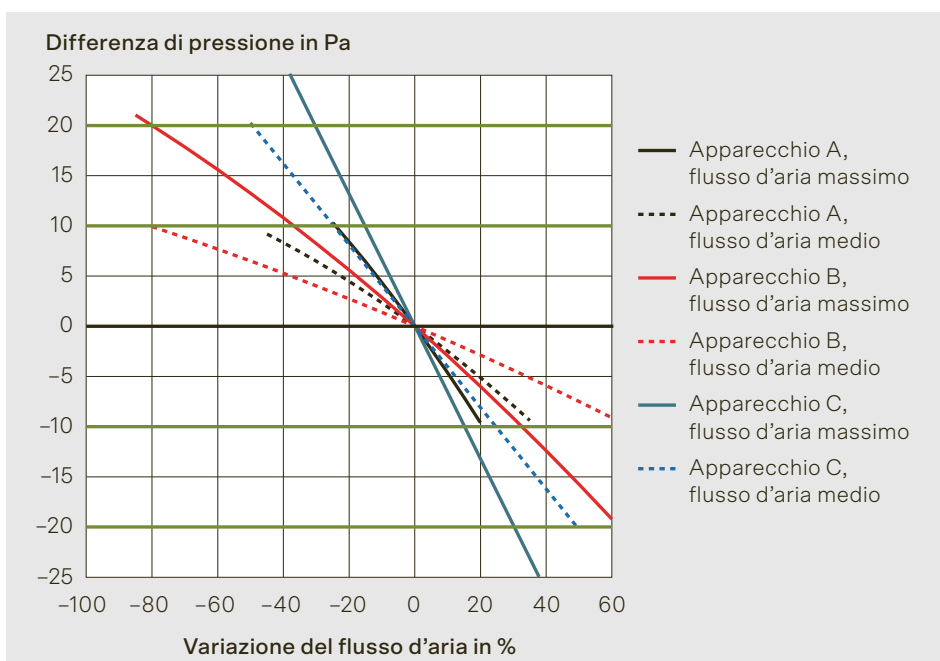
Poiché gli apparecchi di ventilazione per singolo locale di solito non vengono impiegati in una rete di condotte, i loro ventilatori hanno solo una bassa prevalenza. Da un lato, questo ha il vantaggio di una bassa potenza elettrica assorbita. D'altra parte, ciò significa che le variazioni di pressione esterne, come il vento e le forze ascensionali, ma anche la sporcizia, possono portare a notevoli variazioni nel flusso d'aria. Nelle norme si parla di «sensibilità del flusso d'aria» e nelle prescrizioni EcoDesign di «sensibilità alle variazioni di pressione». Secondo la norma di test EN 13141-8:2015 [1], la sensibilità del flusso d'aria viene determinata misurando la variazione del flusso d'aria a  $-20$  Pa di sottopressione e a  $+20$  Pa di sovrappressione (tra il lato interno e quello esterno).

La norma EN 13142:2021 [2] classifica la sensibilità del flusso d'aria secondo la tabella 8.1. Tuttavia, quando la norma di test

Tabella 8.1: Classificazione della sensibilità del flusso d'aria secondo la EN 13142:2021 [2].

Classe di sensibilità del flusso d'aria	Ammontare della differenza massima del flusso d'aria, rispetto al flusso d'aria massimo	
	a + 20 Pa	a -20 Pa
S1	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$
S2	$\leq 20\%$	$\leq 20\%$
S3	$\leq 30\%$	$\leq 30\%$
Non classificata	$> 30\%$	$> 30\%$

Figura 8.3: Sensibilità del flusso d'aria ottenuta dalle misurazioni effettuate su tre apparecchi push-pull nell'ambito del progetto EwWalt [3].



EN 13141-8 sarà rivista, è possibile che la classificazione si riferirà ad altre condizioni (eventualmente 10 Pa, misurati al flusso d'aria di riferimento). La figura 8.3 mostra i risultati delle misurazioni di tre ventilatori push-pull effettuate nell'ambito del progetto tedesco EwWalt [3]. Il ventilatore C, più stabile, raggiunge a malapena la classe S3. Il ventilatore B, che è quello più sensibile, raggiunge addirittura uno scarto dell'80%. Ciò significa che il flusso d'aria erogato scende a un quinto del valore originale con una sovrappressione di 20 Pa nell'edificio. Il ventilatore A non può essere classificato secondo la norma EN 13142. Tuttavia, al livello di esercizio medio solitamente impostato, il flusso d'aria cambia di un considerevole 40–50% con una differenza di pressione di 10 Pa. Questi dati mostrano che i ventilatori push-pull possono avere un'elevata sen-

sibilità del flusso d'aria. Il motivo risiede nei ventilatori assiali. Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale con esercizio continuo, invece, sono solitamente dotati di ventilatori centrifughi, che presentano una minore sensibilità del flusso d'aria. In tal caso solitamente si raggiungono le classi S2 e S3, ma vi sono anche apparecchi non classificati e alcuni di classe S1. In pratica, la sensibilità del flusso d'aria porta a un disequilibrio che indebolisce notevolmente i vantaggi del RC, si vedano anche i capitoli 8.6 e 9.4. La SIA 382/5 differenzia il requisito della sensibilità del flusso d'aria a seconda del campo di applicazione secondo la tabella 8.2.

#### Stima della variazione del flusso d'aria durante l'esercizio normale

Solitamente, gli apparecchi di ventilazione per singolo locale operano a circa il

Campo di applicazione	Classe richiesta
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Regione con forte vento o</li> <li>– collocazione dell'impianto a più di 20 m di altezza dal suolo (ad esempio in grattacieli) o</li> <li>– zona di ventilazione con altezza superiore a 6 m (ad esempio casa monofamiliare a tre piani)</li> </ul>	S1
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tutti gli altri casi con appartamenti con più di una facciata<sup>1)</sup> o</li> <li>– un'altezza della zona di ventilazione compresa tra 3 e 6 m</li> </ul>	≤ S2
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abitazioni con una sola facciata e al contempo un'altezza massima della zona di ventilazione di 3 m</li> </ul>	≤ S3

1) Il termine «facciata» è utilizzato nella SIA 382/5 per pareti esterne con diverse direzioni rispettivamente orientamenti.

Tabella 8.2: Requisiti per la sensibilità del flusso d'aria secondo la SIA 382/5.

#### Esempio di calcolo 8.1: Sensibilità del flusso d'aria nel caso di apparecchi di ventilazione per singolo locale

Un apparecchio di ventilazione per singolo locale a esercizio continuo ventila un locale in cui vige una sottopressione di 5 Pa. Il fornitore indica una sensibilità del flusso d'aria per il lato dell'aria immessa e dell'aria aspirata pari al 20%. A una differenza di pressione di 0 Pa, il flusso d'aria immessa e d'aria aspirata sarebbe di 30 m<sup>3</sup>/h ciascuno. A quanto ammontano i flussi d'aria a una sottopressione di 5 Pa?

Secondo la formula 8.1, la differenza a 5 Pa è pari a:

$$q_v = 0,20 \cdot \frac{5 \text{ Pa}}{10 \text{ Pa}} \cdot 30 \text{ m}^3/\text{h} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Il flusso d'aria immessa aumenta così di 3 m<sup>3</sup>/h, passando a 33 m<sup>3</sup>/h. Il flusso d'aria aspirata si riduce di 3 m<sup>3</sup>/h, passando a 27 m<sup>3</sup>/h. La differenza tra il flusso d'aria immessa e d'aria aspirata è quindi di 6 m<sup>3</sup>/h.

70% del flusso d'aria massimo in esercizio normale. A questa potenza di erogazione, la sensibilità del flusso d'aria a 10 Pa è circa la stessa di quella alla massima potenza di erogazione e a 20 Pa. Semplificando, si può ipotizzare che il flusso d'aria vari linearmente con la differenza di pressione. La variazione del flusso d'aria (in una direzione di flusso) in esercizio normale può quindi essere stimata come segue:

$$q_v = v \cdot \frac{\Delta p_n}{10 \text{ Pa}} \cdot q_{v,n} \quad (8.1)$$

Dove  $v$  è la sensibilità del flusso d'aria, al flusso d'aria massimo e a 20 Pa.  $\Delta p_n$  è la differenza di pressione in esercizio normale tra interno ed esterno e  $q_{v,n}$  è il flusso d'aria in esercizio normale.

#### Flusso d'aria effettivo

I ventilatori push-pull convogliano aria esterna nel locale solo per metà del loro tempo di esercizio. Inoltre, occorre tenere conto della fase di commutazione tra l'esercizio di aria immessa e di aria aspirata. A seconda della regolazione del ventilatore, il flusso d'aria è tipicamente ridotto del 5–10%, in casi particolari fino al 20%, rispetto all'esercizio continuo. Inoltre, la regolazione del ventilatore può causare uno disequilibrio – oltre alla sensibilità del flusso d'aria. Nella procedura di test della EN 13141-8:2015, l'influenza della commutazione del ventilatore non è rappresentata correttamente. Nel progetto EwWalt [3] è stata sviluppata una procedura migliore, la quale viene impie-

gata nel test tedesco secondo il DIBT. Questa procedura sarà probabilmente inclusa nella revisione della norma di test europea. Fino ad allora, si dovrebbero quindi utilizzare i dati di test secondo il DIBT.

#### Protezione dalla formazione di ghiaccio del RC

Una soluzione elegante per la protezione dalla formazione di ghiaccio del RC è il recupero di umidità. In alcuni apparecchi senza recupero di umidità, la regolazione spegne il ventilatore dell'aria immessa o entrambi i ventilatori quando la temperatura esterna scende al di sotto di un certo livello, ad esempio  $-3^\circ\text{C}$ . Ciò elimina il beneficio del RC a basse temperature esterne.

#### Filtro

Le norme svizzere prevedono gli stessi requisiti per i filtri di tutti gli apparecchi di ventilazione. Pertanto, gli apparecchi di ventilazione per singolo locale devono essere dotati di un filtro per l'aria immessa di classe ISO ePM1 50% (F7). Nel caso dei ventilatori push-pull, l'aria passa in modo alternato attraverso i filtri. Vi è quindi naturalmente da chiedersi se le particelle accumulate nel filtro vengano reimmesse nel locale. Sebbene non sono noti studi fondati in merito, si può ipotizzare che le particelle rimangano impigliate nel tessuto filtrante di classe ISO ePM1 50% e non si stacchino più alle normali velocità di flusso.

Figura 8.4: I ventilatori push-pull immettono ed aspirano l'aria in modo alternato. Al contempo filtrano la polvere e, a seconda del modello, possono anche recuperare calore e umidità. (Fonte: Stiebel Eltron)



Un altro aspetto è se un filtro sia sufficiente per i ventilatori push-pull e, in caso affermativo, dove debba essere collocato. La SIA 382/5 fornisce al paragrafo 5.3.6.4 la seguente risposta:

*«Poiché il recuperatore di calore e altre parti dell'apparecchio (per esempio il ventilatore) sono attraversati sia dall'aria aspirata che dall'aria immessa, bisogna assicurarsi che l'aria in entrambe le direzioni di flusso sia filtrata con almeno un filtro di classe ISO ePM10 50% (M5). L'aria immessa deve passare attraverso un filtro di classe almeno ISO ePM1 50% (F7) dopo l'ultima parte dell'impianto (in direzione del locale) che viene a contatto con l'aria aspirata»*

La disposizione con due filtri per ventilatore illustrata nella figura 8.2 è quindi conforme alla norma svizzera. Tuttavia, la maggior parte dei prodotti disponibili sul mercato non soddisfa tale requisito.

### Rumore

Come valore di riferimento, il livello di pressione sonora in una camera non deve superare i 25 dB(A). Le note sulla verifica conforme alla norma sono riportate nel capitolo 11. La tabella 8.3 mostra i valori di riferimento del livello di potenza

sonora consentito per varie dimensioni di locale. Diversi fornitori, tuttavia non indicano il livello di potenza sonora, ma il livello di pressione sonora a 1 m o 3 m di distanza. Tuttavia, queste informazioni non valgono per una camera, ma per il cosiddetto campo libero (camera infinitamente grande). Il livello di pressione sonora risultante in una camera è significativamente più alto. Le due colonne sul lato destro della tabella 8.3 forniscono valori di riferimento di quanto possano essere alti i livelli di pressione sonora a una distanza di 1 m o 3 m (nel caso di una misurazione in campo libero) in modo da non superare i 25 dB(A) nel locale reale. A causa dell'installazione nella facciata, gli apparecchi di ventilazione per singolo locale indeboliscono il fonoisolamento dal rumore esterno. L'indebolimento viene valutato in modo analogo a quello dell'elemento dell'involucro di passaggio d'aria nel capitolo 7.6. Anche il fonoisolamento ponderato relativo alla superficie assorbente ( $D_{n,e,w} + C_{tr}$ ) deve soddisfare gli stessi requisiti. Se in un locale sono installati due ventilatori push-pull, il valore ( $D_{n,e,w} + C_{tr}$ ) si riduce di 3 dB rispetto al singolo apparecchio.

### Esempio di calcolo 8.2: Livello di pressione sonora di apparecchi di ventilazione per singolo locale

In una camera da letto di 12 m<sup>2</sup> viene impiegato un apparecchio di ventilazione per singolo locale. Il fornitore specifica un livello di pressione sonora di 17 dB (A) a 3 m di distanza. Secondo la tabella 8.3, tuttavia, il livello di pressione sonora a una distanza di 3 m (per una misurazione in campo libero) può raggiungere un massimo di 8 dB (A). L'apparecchio è quindi troppo rumoroso di circa 9 dB. Oppure espresso diversamente: nelle camere da letto causerebbe un livello di pressione sonora di 34 dB (A).

Superficie del pavimento del locale <sup>1)</sup>	Livello di potenza sonora massimo $L_{w,A}$ <sup>2)</sup>	Livello di pressione sonora massimo $L_{pA}$ a una distanza <sup>2), 3)</sup>	
		di 1 m	di 3 m
fino a 10 m <sup>2</sup>	25 dB(A)	17 dB(A)	7 dB(A)
da >10 m <sup>2</sup> a 20 m <sup>2</sup>	26 dB(A)	18 dB(A)	8 dB(A)
> 20 m <sup>2</sup>	28 dB(A)	20 dB(A)	10 dB(A)

1) Con altezza del locale e arredamento tipici

2) Nel caso di due apparecchi in un locale, il livello di ciascun apparecchio deve essere di 3 dB inferiore

3) Nel caso di misurazione in campo libero o in un locale semi-riflettente

Tabella 8.3: Valori di riferimento per il livello sonoro massimo ammissibile di apparecchi di ventilazione per singolo locale.

### Caratteristiche prestazionali raccomandate e richieste

La tabella 8.4 mostra le caratteristiche prestazionali raccomandate per gli apparecchi di ventilazione per singolo locale. Le prescrizioni EcoDesign (stato a inizio del 2021) di regola non richiedono un'etichetta energetica per apparecchi di ventilazione per singolo locale. Il fornitore deve comunque dichiarare le caratteristiche elencate.

## 8.3 Impianti per l'esercizio continuo

### Varianti e forme miste

Se un intero appartamento viene ventilato esclusivamente secondo il principio a «singolo locale», anche il soggiorno necessita di un proprio apparecchio. Nella forma pura, anche i locali con aria aspirata, come bagno/WC, dovrebbero essere ventilati secondo il principio a singolo locale. Ciò potrebbe essere realizzato con l'installazione di un apparecchio di ventilazione o con una ventilazione tramite le finestre. Molto più tipica, tuttavia, è la combinazione con impianti d'aspirazione (vedi sotto).

Il principio a «singolo locale» si presta bene a forme miste con altri tipi di distribuzione dell'aria. In particolare, sono possibili:

- Negli appartamenti che sono principalmente ventilati secondo il principio a «cascata», il principio a «singolo locale» viene utilizzato solo per singole camere con tempi o requisiti di utilizzo particolari. Queste possono essere, ad esempio, camere di lavoro, locali hobby o camere per gli ospiti.
- Ovvio è la combinazione con il principio di «collegamento con porte aperte». In questo caso, le camere da letto sono dotate di apparecchi di ventilazione per singolo locale. Se durante il giorno le porte delle camere sono per la maggior parte aperte, si ottiene una buona qualità dell'aria interna in tutto l'appartamento. Se durante la notte le porte delle camere sono chiuse, la qualità dell'aria interna nelle camere da letto rimane buona. Nel soggiorno e nella sala da pranzo durante la notte è possibile rinunciare alla ventilazione meccanica senza rilevanti perdite di comfort.
- In genere, è possibile anche una combinazione con il principio di «collega-

Denominazione secondo il Regolamento (UE) 1254/2014 risp. EN 13142:2021		Valore raccomandato	Classe raccomandata dalla EN 13142
Consumo energetico specifico (tedesco <i>SEV</i> , inglese <i>SEC</i> ), classe di consumo energetico per clima europeo medio		$\leq -38 \text{ kW}/(\text{m}^2 \text{ a})$ A o A+	
Rapporto di temperatura		$\geq 70 \%$	$\leq \text{TRS } 3$
Potenza d'ingresso specifica (tedesco <i>SEL</i> , inglese <i>SPI</i> )		$\leq 0,19 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ risp. $\leq 684 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq \text{SPI } 2$
Tasso di perdita d'aria interno <sup>1)</sup>	a 20 Pa	$\leq 3,0 \%$	$\leq \text{U}2^{3)}$
	a 100 Pa	$\leq 8,5 \%$	
	con gas tracciante	$\leq 2,0 \%$	
Tasso di perdita d'aria esterno <sup>1)</sup>	a 50 Pa	$\leq 3,0 \%$	
	a 250 Pa	$\leq 8,5 \%$	
Tasso di miscelazione <sup>2)</sup> all'esterno/ miscelazione dell'aria esterna		$\leq 5,0 \%$	
Tasso di miscelazione all'interno/ miscelazione dell'aria interna		$\leq 5,0 \%$	

1) I metodi di verifica sono alternativi secondo la EN 13142:2021, vale a dire che viene dichiarato un solo valore. Il Regolamento (UE) 1254/2014 definisce il tasso di perdita d'aria interno a 100 Pa e quello esterno a 250 Pa.

2) Il tasso di miscelazione indica il cortocircuito tra l'aria espulsa e l'aria esterna o l'aria immessa e l'aria aspirata

3) Nella classificazione, tutti e quattro i tassi di perdita o di miscelazione vengono presi in considerazione e insieme attribuiti a una classe

Tabella 8.4: Caratteristiche di prestazione di apparecchi di ventilazione per singolo locale secondo il Regolamento (UE) 1253/2014 e EN 13142:2021, nonché valori e classi raccomandate.



mento con distribuzione attiva». Sono ipotizzabili casi in cui un apparecchio di ventilazione per singolo locale non può essere installato in una camera da letto, ma può essere installato nel soggiorno, nella sala da pranzo o nel corridoio. Ciò può essere il caso, ad esempio, se la camera da letto confina con un ambiente molto rumoroso, se l'aria esterna è fortemente contaminata o se l'installazione dell'apparecchio non è possibile per motivi costruttivi.

#### **Combinazione con impianti d'aspirazione**

La forma mista molto comune di apparecchi di ventilazione per singolo locale e impianti d'aspirazione combina i principi a «singolo locale» e a «cascata», spesso con l'aggiunta del «collegamento con porte aperte». La figura 8.5 illustra questo aspetto con l'esempio di un appartamento di 4½ locali in cui nelle camere sono installati apparecchi di ventilazione per singolo locale e nel bagno/WC o doccia/WC è installato un ventilatore per l'aria aspirata regolato in funzione del fabbisogno.

Lo schema a sinistra mostra un caso notturno con le porte delle camere chiuse e i ventilatori dell'aria aspirata spenti. Nella camera non occupata, l'apparecchio di ventilazione per singolo locale è spento.

Lo schema centrale mostra il caso diurno in cui una persona lavora nella camera con la porta chiusa e due persone si trovano nel soggiorno. Tutti e tre gli apparecchi di ventilazione per singolo locale sono accesi. Le porte delle due camere non occupate sono aperte. I ventilatori dell'aria aspirata sono spenti.

Lo schema di destra presenta una situazione simile a quella centrale, con la differenza che ora un ventilatore dell'aria aspirata è acceso perché una persona sta utilizzando il bagno.

Questi tre casi sono esemplari e non descrivono affatto tutte le combinazioni possibili. Nell'esempio, l'aria aspirata nel bagno/WC e nella doccia/WC viene gestita con un esercizio on/off in funzione

del fabbisogno. Note sull'esercizio combinato, in particolare sull'afflusso dell'aria di compensazione, sono riportate nel capitolo 8.5.

## **8.4 Impianti con ventilatori push-pull**

### **Singolo locale di collegamento**

La figura 8.2 mostra come due ventilatori push-pull vengono combinati per formare quasi un unico apparecchio di ventilazione per singolo locale. Ciascun ventilatore deve convogliare nell'abituale dimensionamento un flusso d'aria medio di 30 m<sup>3</sup>/h in entrambe le direzioni di flusso. La potenza elettrica assorbita per questo flusso d'aria è quindi pari alla potenza totale di entrambi i ventilatori. Inoltre, il livello sonoro nel locale è superiore di 3 dB rispetto al livello sonoro di un singolo ventilatore. Il fonoisolamento dal suono esterno ( $D_{n,e,w} + C_{tr}$ ) diminuisce di 3 dB rispetto a un singolo ventilatore.

### **Più locali di collegamento**

I ventilatori push-pull possono essere collegati per formare un gruppo di più locali. La figura 8.6 mostra un esempio di una possibile disposizione di due coppie di apparecchi in un appartamento di 4½ locali. Nell'intervallo A, i ventilatori delle camere 1 e 3 forniscono aria immessa. L'aria aspirata viene evacuata dalla camera 2 e dal soggiorno. Nell'intervallo B avviene il contrario. Nel caso di esercizio illustrato, i ventilatori dell'aria aspirata nel bagno/WC e nella doccia/WC sono spenti. Analogamente all'esempio della figura 8.5, sono possibili altri casi di esercizio con porte aperte, coppie di apparecchi spenti e ventilatori dell'aria aspirata accesi. Il caso illustrato corrisponde al dimensionamento per la notte con le porte della camera chiuse. Come per il dimensionamento di tutti i sistemi di ventilazione residenziale, è noto solo il numero di occupanti dell'appartamento, ma non in quali camere dormono una o due persone.

Nell'esempio si ipotizza quanto segue:

- Nelle camere da letto con due persone, il livello di CO<sub>2</sub> secondo la SIA 382/5 è al massimo di 1350 ppm.
- La perdita di carico dei passaggi d'aria di transito è di 3 Pa.
- I ventilatori presentano una sensibilità del flusso d'aria pari al 30 % (classe S3). Vengono operati al 70 % della velocità massima.
- Tutti i ventilatori operano allo stesso livello di esercizio.
- Nel soggiorno/sala da pranzo vige la pressione esterna (adattamento dovuto alla permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio).
- Nelle camere, la permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio è trascurabile a causa della piccola frazione di superficie esterna. In esercizio con aria immessa, la pressione nella camera è quindi più alta di 3 Pa rispetto all'esterno o al soggiorno/sala da pranzo. In esercizio con aria aspirata è inferiore di 3 Pa.

Sulla base di questi requisiti e ipotesi, a una differenza di pressione pari a 0 Pa, i ventilatori push-pull devono erogare i seguenti flussi d'aria:

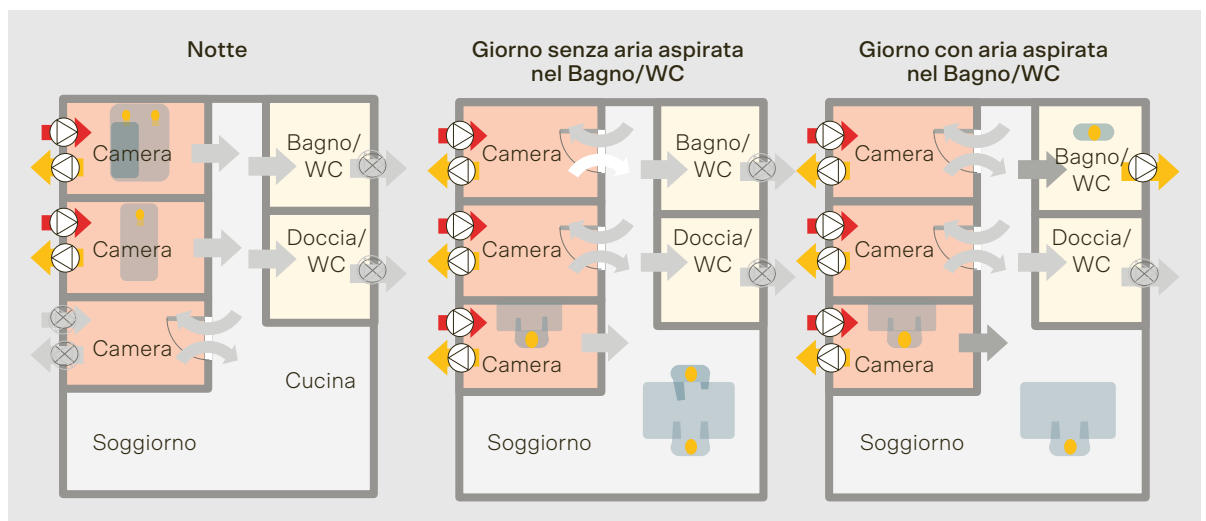
- Occupazione dell'appartamento con 3 persone: 41 m<sup>3</sup>/h
- Occupazione dell'appartamento con 4 persone: 44 m<sup>3</sup>/h

Ciò significa che il livello sonoro e la potenza elettrica assorbita devono essere determinati rispettivamente a 41 e 44 m<sup>3</sup>/h. Il flusso d'aria effettivamente erogato dai ventilatori push-pull nelle camere 1, 2 e 3 è inferiore di circa il 10 % a causa della sensibilità del flusso d'aria. I passaggi d'aria di transito sono dimensionati per una perdita di carico di 3 Pa a 37 e rispettivamente 40 m<sup>3</sup>/h. A tal fine, sotto la porta deve essere presente una fessura di almeno 8–9 mm. Poiché il getto d'aria soffia verso l'interno della camera per metà del tempo, è necessario valutare se ciò può provocare correnti d'aria nella zona di permanenza.

Per ottenere la stessa qualità dell'aria interna, il collegamento di più locali con porte chiuse richiede flussi d'aria più elevati durante la notte rispetto agli apparecchi di ventilazione per singolo locale con esercizio continuo (figura 8.5). Con un'occupazione di 3 persone è di circa il 50 %, con un'occupazione di 4 persone di circa il 20 % in più. Nell'esercizio diurno, con la maggior parte delle porte aperte e una regolazione in funzione del fabbisogno, risulta un flusso d'aria approssimativamente uguale. I passaggi d'aria di transito devono avere dimensioni maggiori nel caso del collegamento di più locali. La misura in cui il collegamento di più locali mostrato nell'esempio può essere realizzato con i ventilatori push-pull oggi disponibili sul mercato, rispettando le norme svizzere, è una questione aperta,

Figura 8.5: Esempi di modalità di esercizio in caso di combinazione di apparecchi di ventilazione per singolo locale a esercizio continuo e di ventilatori dell'aria aspirata nel bagno/doccia/WC.

■ Aria immessa  
■ Aria aspirata  
■ Aria di transito



in quanto devono al contempo essere soddisfatti i seguenti requisiti:

- Nel dimensionamento dei ventilatori push-pull da 40 a 44 m<sup>3</sup>/h, si deve rispettare il livello di pressione sonora di 25 dB(A).
- La sensibilità del flusso d'aria può raggiungere un massimo del 30 % (classe S3). Nella maggior parte dei casi è richiesta persino la classe S2.
- Ogni ventilatore push-pull deve essere dotato di due filtri.
- Gli apparecchi operano in coppia in tutti i casi di esercizio.

### 8.5 Note sull'abbinamento con impianti d'aspirazione

#### Modalità di esercizio dell'aria aspirata

Nel caso dell'aria aspirata, si pone la questione se il suo esercizio debba essere continuo o regolato on/off in funzione del fabbisogno. L'esercizio continuo ha il vantaggio di necessitare di flussi d'aria aspirata inferiori. Nell'esempio della figura 8.5, tuttavia, si verificherebbe comunque un forte disequilibrio nel caso di apparecchi di ventilazione per singolo locale. In questo modo risulta una temperatura dell'aria immessa costantemente più bassa. Anche la formazione di ghiaccio sul RC inizia già a temperature esterne più elevate rispetto all'esercizio bilanciato. In linea di principio, le restrizioni valgono anche per l'esercizio on/off regolato in funzione del fabbisogno. La diffe-

renza principale, tuttavia, è che l'aria aspirata è in funzione per un periodo di tempo significativamente più breve.

Un altro aspetto è il rendimento ridotto del RC quando l'aria aspirata è in funzione. A livello indicativo, si possono assumere i seguenti valori medi annui:

- Nel caso di esercizio on/off regolato in funzione del fabbisogno, il rendimento del RC si riduce di circa il 10 %.
- In esercizio continuo, il rendimento del RC si riduce di circa il 50 %.

Dettagli in merito si trovano al cap. 9.4.

#### Afflusso dell'aria di compensazione e passaggi d'aria di transito

L'aria di compensazione per l'aria aspirata di bagno, doccia, WC ed eventualmente altri locali deve essere immessa in modo che non si crei una sottopressione non consentita, anche in combinazione con apparecchi dell'aria aspirata. L'aria di compensazione per la cappa d'aspirazione non viene trattata in questa sezione; note in merito si trovano al capitolo 10.1. Il calcolo esatto delle condizioni di pressione e di flusso nell'esercizio combinato di apparecchi di ventilazione per singolo locale e ventilatori dell'aria aspirata, tenendo conto dell'infiltrazione, sarebbe complesso e dovrebbe essere eseguito in modo iterativo. Pertanto, si raccomanda la seguente procedura. Si tratta di verificare se a una determinata sottopressione risulta il flusso d'aria di compensa-

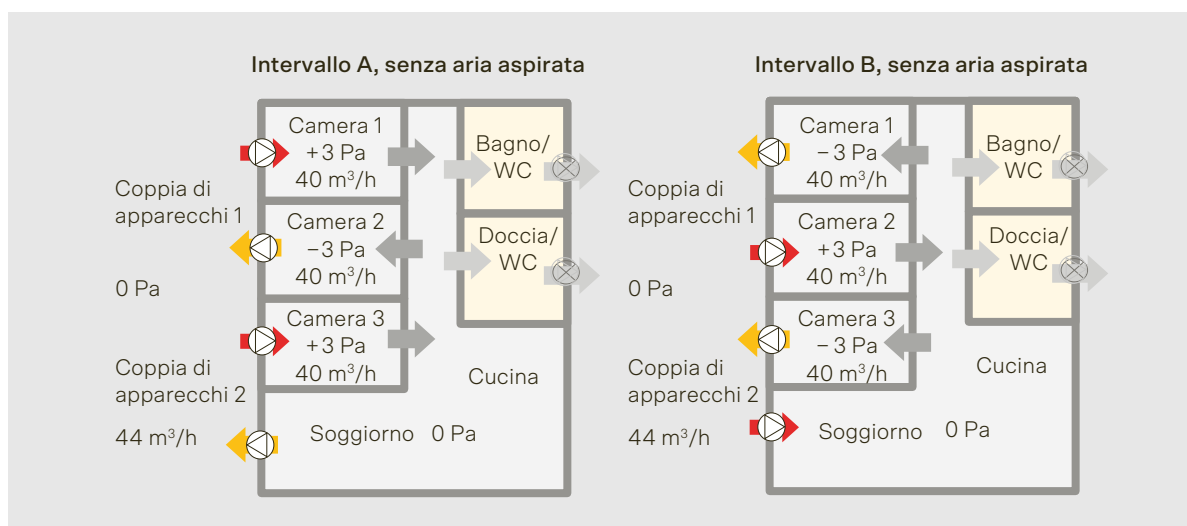


Figura 8.6: Collegamento di più locali con ventilatori push-pull – di seguito un esempio di due coppie di apparecchi in un appartamento di 4 1/2-locali, dimensionamento per l'occupazione con quattro persone.

- Aria immessa
- Aria aspirata
- Aria di transito

### Esempio di calcolo 8.3: Verifica di un flusso d'aria di compensazione sufficiente per l'abbinamento di apparecchi di ventilazione per singolo locale con impianti d'aspirazione

L'appartamento della figura 8.5 è dotato di tre apparecchi di ventilazione per singolo locale, che in esercizio normale convogliano 30 m<sup>3</sup>/h di aria immessa e di aria aspirata. La sensibilità del flusso d'aria è pari al 15%. I ventilatori dell'aria aspirata del bagno/WC e della doccia/WC, regolati in funzione del fabbisogno, operano a singolo livello con un flusso d'aria di 50 m<sup>3</sup>/h ciascuno.

L'appartamento ha una superficie netta di 80 m<sup>2</sup> e la tenuta all'aria dell'involucro dell'edificio corrisponde al valore mirato per i nuovi edifici. I passaggi d'aria di transito vengono realizzati con fessure sotto le porte. La verifica si basa sulle sottopressioni raccomandate di 8 Pa e 15 Pa. È possibile garantire il flusso d'aria di compensazione richiesto? La tabella 8.5 mostra la verifica passo per passo. Le ipotesi dell'esempio sono conservative: appartamento relativamente piccolo; bassa tenuta all'aria dell'involucro dell'edificio; solo tre apparecchi di ventilazione per singolo locale per due ventilatori dell'aria aspirata; sensibilità del flusso d'aria relativamente buona. Ciononostante, le sottopressioni raccomandate possono essere rispettate. Nel caso standard vi è addirittura una riserva; la sottopressione effettiva dovrebbe aggirarsi intorno ai 5 Pa.

Tuttavia, dall'esempio si può anche concludere che sarebbero necessarie misure nel caso di una sensibilità del flusso d'aria molto bassa (classe S1). Ciò non significa però che si debba scegliere la classe S3 o addirittura una classe peggiore. Ciò, infatti, peggiorerebbe inutilmente l'efficienza energetica dell'intero impianto (vedi capitolo 9.4). Sarebbero necessarie misure anche nel caso in cui la tenuta all'aria dell'involucro dell'edificio sia molto bassa, come è tipico per gli edifici Minergie-P.

Passo	Nota, descrizione	Caso standard	Caso peggiore
1	<b>Flusso d'aria di compensazione necessario</b>	50 m <sup>3</sup> /h	100 m <sup>3</sup> /h
2	<b>Sottopressione massima consentita</b>	8 Pa	15 Pa
3	<b>Infiltrazione attraverso l'involucro dell'edificio</b> Dalla figura 7.2 risultano 35 m <sup>3</sup> /h a 4 Pa.	46 m <sup>3</sup> /h	68 m <sup>3</sup> /h
4	<b>Disequilibrio degli apparecchi di ventilazione per singolo locale</b> La differenza tra il flusso d'aria immessa e il flusso d'aria aspirata viene calcolata secondo la formula 8.1. Ipotesi: la perdita di carico dei passaggi d'aria di transito è trascurabile. La sottopressione nei locali di installazione corrisponde quindi alla sottopressione del passo 2.	22 m <sup>3</sup> /h	41 m <sup>3</sup> /h
5	<b>Controllo dei passaggi d'aria di transito</b> L'aria di transito viene distribuita su tre porte. Flusso d'aria attraverso i passaggi d'aria di transito: Perdita di carico con una fessura alta 7 mm (figura 3.19): L'ipotesi del passo 4 è quindi consentita.	7 m <sup>3</sup> /h ca. 0,15 Pa	14 m <sup>3</sup> /h ca. 0,5 Pa
6	<b>Controllo</b> Somma dell'aria di compensazione Somma dell'aria di compensazione ≥ flusso d'aria di compensazione necessario	68 m <sup>3</sup> /h sì	109 m <sup>3</sup> /h sì
7	<b>Misure</b> Non sono necessarie misure per aumentare il flusso d'aria di compensazione.		

Tabella 8.5: Verifica di un flusso d'aria di compensazione sufficientemente elevato nel caso di combinazione di apparecchi di ventilazione per singolo locale con impianti d'aspirazione.

zione minimo necessario. Ciò avviene in sette passi:

1. Il **flusso d'aria di compensazione necessario** viene determinato.

- Caso standard: esercizio del ventilatore dell'aria aspirata più grande in esercizio normale
- Caso più sfavorevole: esercizio di tutti i ventilatori dell'aria aspirata al livello massimo

2. La **sottopressione massima consentita** nell'appartamento viene determinata. I seguenti valori sono raccomandati:

- Caso standard: 8 Pa
- Caso peggiore: 15 Pa<sup>1</sup>

3. L'**infiltrazione attraverso l'involucro dell'edificio** viene determinata in base al capitolo 7.2. A una sottopressione di 8 Pa, l'infiltrazione è superiore di un fattore 1,3 rispetto alla figura 7.2. A una sottopressione di 15 Pa, il fattore è pari a 1,9.

4. L'aria di compensazione che affluisce attraverso gli **apparecchi di ventilazione per singolo locale a causa del disequilibrio** viene stimata. In tal caso viene presa in considerazione la sensibilità del flusso d'aria in condizioni di esercizio normale (vedi capitolo 8.2). Per la sotto-

pressione nei locali d'installazione degli apparecchi di ventilazione per singolo locale, si tiene conto delle perdite di carico dei passaggi d'aria di transito. Ciò richiede ipotesi realistiche.

5. I **passaggi d'aria di transito** vengono controllati o dimensionati. Se le ipotesi del passo 4 differiscono dal controllo o dal dimensionamento di oltre 1 Pa, occorre ritornare al passo 4.

6. Segue il **controllo** se la somma dei flussi d'aria di compensazione dei passi 3 e 4 è almeno pari al flusso d'aria di compensazione del passo 1.

7. Se il controllo al passo 6 è negativo, occorre definire **misure** per aumentare il flusso d'aria di compensazione. Ciò può essere raggiunto, ad esempio, modificando la regolazione del ventilatore degli apparecchi di ventilazione per singolo locale. Quando i ventilatori dell'aria aspirata nel bagno/WC sono in esercizio, i ventilatori dell'aria aspirata degli apparecchi di ventilazione per singolo locale possono venire spenti e/o i ventilatori dell'aria immessa possono venire impostati al livello più alto. È importante notare che il livello sonoro varia, il che può essere fastidioso, in particolare di notte. Inoltre, possono venire impiegati EIPA che si aprono solo quando viene acceso un ventilatore dell'aria aspirata.

<sup>1</sup> A causa della forza di apertura di porte o finestre, la sottopressione deve essere al massimo di 20 Pa

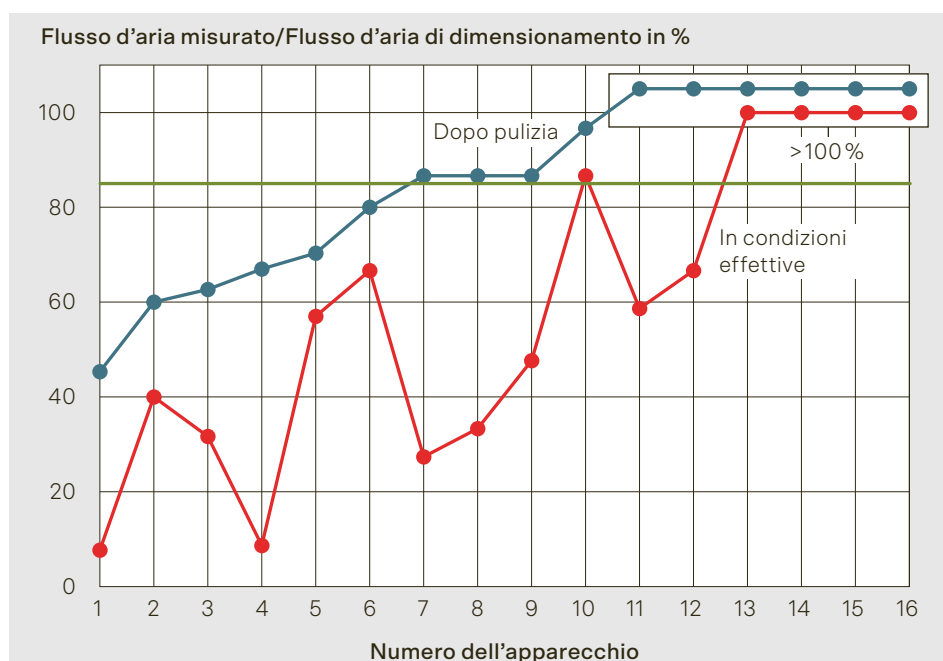


Figura 8.7: Flusso d'aria immessa di apparecchi di ventilazione per singolo locale in condizioni effettive e dopo la pulizia; viene illustrato il rapporto con i valori nominali della norma svizzera. I dati sono tratti da un test pratico [4]. I numeri degli apparecchi sono ordinati in funzione del flusso d'aria misurato. L'ordine non è lo stesso della figura 8.8.

### Focolari nell'abitazione

Le sottopressioni consigliate sono troppo elevate per consentire l'esercizio di un focolare nell'abitazione quando gli impianti d'aspirazione sono in funzione. Nel caso di un focolare nell'abitazione, è necessario adottare misure per evitare che l'esercizio del focolare e del ventilatore dell'aria aspirata avvengano simultaneamente.

### 8.6 La pratica

Per conto della Conferenza dei servizi cantonali dell'energia della Svizzera orientale, in un test pratico [4], sono stati esaminati 16 apparecchi di ventilazione per singolo locale in 9 appartamenti di 5 case plurifamiliari. Tutti gli appartamenti erano dotati di impianti d'aspirazione nel bagno/WC. Non sono stati rilevati ventilatori push-pull.

I flussi d'aria immessa e d'aria aspirata sono stati misurati nelle condizioni effet-

Figura 8.8: Confronto tra il disequilibrio misurato degli apparecchi di ventilazione per singolo locale in condizioni effettive e dopo la pulizia; dati provenienti dal test pratico. Definizione del disequilibrio secondo il capitolo 9.4.

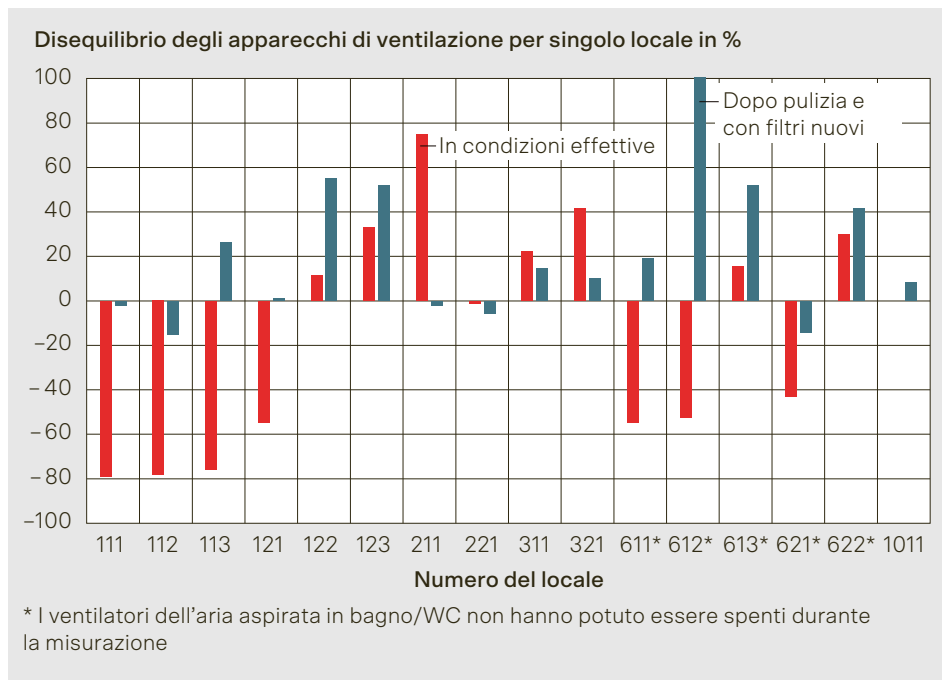


Tabella 8.6: Ordine di grandezza dei rapporti di temperatura e del rendimento netto annuo del RC degli apparecchi di ventilazione per singolo appartamento analizzati nelle misurazioni sul campo.

Fattore d'incidenza	Condizioni degli apparecchi analizzati	
	Condizioni effettive	Dopo la pulizia e la sostituzione del filtro
Disequilibrio medio	40 %	20 %
Rapporto di temperatura secondo le indicazioni del produttore (valori su banco prova in condizioni a nuovo)	70 ... 80 %	70 ... 80 %
Riduzione del rapporto di temperatura a causa del disequilibrio dovuto alla sporcizia	17 ... 23 %	6 ... 10 %
Riduzione del rapporto di temperatura dovuta alla combinazione con impianti d'aspirazione	ca. 5 %	ca. 5 %
Riduzione del rapporto di temperatura dovuta alla protezione dalla formazione di ghiaccio del RC (per la stazione climatica di Zurigo MeteoSvizzera) <sup>1)</sup>	0 ... 5 %	0 ... 5 %
<b>Rendimento netto annuo del RC</b>	<b>ca. 40 ... 50 %</b>	<b>ca. 55 ... 65 %</b>

1) In località alpine come Davos, la protezione dalla formazione di ghiaccio può ridurre il rendimento del RC di ben il 35%.

tive. In seguito, gli apparecchi sono stati puliti e i filtri sono stati sostituiti da filtri nuovi e puliti. In tali condizioni, i flussi d'aria sono stati nuovamente misurati. Nell'ambito dello studio sono state valutate visivamente le condizioni igieniche degli apparecchi. Inoltre, è stato chiesto agli abitanti quando è stato effettuato l'ultimo cambio del filtro.

Tutti gli apparecchi di ventilazione per singolo locale erano dotati di filtri per l'aria esterna di classe ISO ePM1 50 % (F7). I filtri dell'aria aspirata erano di classe Coarse (G2 o G3). Nel caso di 15 apparecchi, i filtri sono stati sostituiti da 0,5 a 1 anno prima dello studio. In un apparecchio, i filtri erano stati sostituiti 1,5 anni prima. Secondo l'ispezione visiva, le condizioni igieniche di tutti gli apparecchi erano buone. È presumibile che in termini di filtri e igiene gli apparecchi esaminati risultino migliori rispetto alla media svizzera. La spiegazione di ciò risiede nel fatto che, ad eccezione di un appartamento, ovunque era presente un contratto di manutenzione.

La figura 8.7 mostra il rapporto tra i flussi d'aria immessa misurati in relazione ai requisiti della SIA 2023, allora in vigore. Inoltre, è indicata la tolleranza secondo la SIA 2023 (deviazione ammessa dal valore nominale: 15%).

Nelle condizioni effettive, il 70 % degli apparecchi presentava flussi d'aria inferiori di oltre il 15 % rispetto ai requisiti. Dopo la pulizia, erano il 40 %. Prima della pulizia, il flusso d'aria era in media inferiore del 50 % o di 9 m<sup>3</sup>/h rispetto a dopo la pulizia. Ciò vale per gli apparecchi con un flusso d'aria prima della pulizia inferiore all'85 % del valore nominale. La figura 8.8 mostra il disequilibrio prima e dopo la pulizia. Il valore medio nella situazione esistente era del 42 % (tra lo 0 % e il 79 %) e del 21 % dopo la pulizia (tra il 2 % e il 55 %, escluso il n. 612). Nella metà dei casi, la pulizia ha ridotto significativamente il disequilibrio. Tuttavia, in cinque casi la pulizia ha aumentato il disequilibrio. In quattro casi (n. 123, 612, 613 e 622) gli apparecchi erano in esercizio volutamente con flussi d'aria

immessa e d'aria aspirata disuguali, per ridurre il livello sonoro.

Nei n. da 611 a 622, gli impianti d'aspirazione del bagno/WC (esercizio continuo non disattivabile) hanno influenzato il disequilibrio. Nel n. 612, il ventilatore dell'aria aspirata ha causato una sottopressione così forte che, dopo la pulizia, aria esterna affluiva attraverso il lato dell'aria aspirata dell'apparecchio di ventilazione per singolo locale.

I disequilibri riscontrati non hanno nulla a che vedere con un'eventuale pressione del vento. La causa principale era la sporcizia e i filtri intasati, nonostante le buone condizioni igieniche degli apparecchi. Poiché la manutenzione è spesso meno rigorosa che negli apparecchi di questo studio, nella pratica occorre aspettarsi disequilibri maggiori. Si presume inoltre che la messa in funzione non sia stata ideale e che gli effetti dell'invecchiamento abbiano inciso. Inoltre, il disequilibrio è influenzato dalle caratteristiche del sistema e, in alcuni casi, è stato anche intenzionalmente previsto. Con il disequilibrio riscontrato nello studio sul campo, il rendimento netto annuo del RC è quello indicato nella tabella 8.6. Le basi di ciò sono riportate nel capitolo 9.4.

Sulla base di questo studio, si stima che il rendimento netto del RC per gli apparecchi di ventilazione per singolo locale nell'Altopiano svizzero sia di circa il 50 %. In ubicazioni alpine, il rendimento può scendere al 30 %, con una protezione dalla formazione di ghiaccio sfavorevole. Nonostante la discrepanza con i valori di test, va comunque detto che gli apparecchi di ventilazione per singolo locale dimezzano le perdite di calore per ventilazione.

## 8.7 Letteratura

- [1] EN 13142:2021 Lüftung von Gebäuden – Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen – Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen
- [2] EN 13141-8:2015 Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen – Teil 8: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft und Ablufteinheiten ohne Kanalanschluss (einschliesslich Wärmerückgewinnung)
- [3] Röder, Tim; Mathis, Paul; Müller, Dirk: EwWalt – Energetische Bewertung der dezentralen kontrollierten Wohnraumlüftung in alternierender Betriebsweise. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2019 ISBN 978-3-7388-0333-4
- [4] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via [www.endk.ch](http://www.endk.ch) → Dokumentation/Archiv → Studien



# Componenti, apparecchi, fabbisogno energetico

## 9.1 Igiene e filtrazione

### Pulizia

Impianti e apparecchi di ventilazione devono essere facili da controllare e pulire. Gli apparecchi devono essere puliti regolarmente all'interno e all'esterno con un panno asciutto o umido. Il RC dovrebbe poter essere estratto da personale qualificato, in caso di necessità. Tutti gli altri componenti dovrebbero essere facilmente accessibili.

### Classi di filtro

Dal 2016, i filtri dell'aria sono classificati secondo la norma ISO 16890 [1]. In pratica, spesso si trovano ancora le vecchie denominazioni secondo la EN 779 [2]. La tabella 9.1 mostra quali nuove classi sono correlate alle vecchie; essa indica inoltre i requisiti della SIA 382/5.

### Fattore di contaminazione del filtro

I filtri sporchi ostacolano il flusso d'aria. Per mantenere il flusso d'aria richiesto, occorre quindi aumentare la velocità del ventilatore.

In conformità alla EN 13142:2021 [3], Appendice D, il fattore di contaminazione del filtro è definito come segue:

$$f_{fc} = \frac{q_{v,ref}}{q_{v,fc}} \quad (9.1)$$

Dove

$q_{v,ref}$  Flusso d'aria di riferimento in m<sup>3</sup>/h

$q_{v,fc}$  Flusso d'aria convogliato in m<sup>3</sup>/h, a una perdita di carico del filtro corrispondente a 1,5 volte la perdita di carico quando il filtro è nuovo

La tabella 9.2 fornisce valori indicativi per il fattore di contaminazione del filtro di vari tipi di apparecchi e impianti. I fattori qui indicati devono essere presi in considerazione nel dimensionamento dell'apparecchio di ventilazione, perché i flussi d'aria e gli indici energetici dichiarati dai fornitori si riferiscono sempre all'apparecchio nuovo con filtri puliti. In realtà, però, un apparecchio lavora con filtri «mediamente sporchi» nel corso di un anno.

Tabella 9.1: Classi di filtro e loro applicazione.

Tipo di polvere	Classe di filtro secondo		Osservazione e requisiti secondo la SIA 382/5
	ISO 16890	EN 779	
Polvere grossolana	ISO Coarse > 30 %	G2	Non adatto per gli apparecchi di ventilazione (trattiene solo polvere molto grossolana)
	ISO Coarse > 45 %	G3	Non adatto per gli apparecchi di ventilazione (trattiene solo polvere molto grossolana)
	ISO Coarse > 60 %	G4	Raccomandazione come classe di filtro minima per l'aria aspirata in apparecchi con scambiatori di calore a piastre
Polvere medio-fine	ISO ePM10 ≥ 50 %	M5	Secondo la SIA 382/5: – Livello minimo per l'aria aspirata in apparecchi con scambiatore di calore a rotore – Livello minimo per gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria con aria esterna pulita e buona accessibilità (vedi capitolo 7.6) – Filtro esterno per ventilatori push-pull (vedi capitolo 8.2)
	ISO ePM2,5 ≥ 50 %	M6	
Polvere fine	ISO ePM1 ≥ 50 %	F7	Secondo la SIA 382/5: – Livello minimo per l'aria immessa di tutti gli apparecchi con convogliamento meccanico dell'aria – Filtro standard per gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria – Filtro lato locale per ventilatori push-pull (vedi capitolo 8.2)
	ISO ePM1 ≥ 70 %	F8	
	ISO ePM1 ≥ 80 %	F9	Raccomandato in caso di elevato inquinamento dell'aria esterna con polveri fini o per requisiti molto elevati di qualità dell'aria interna

### Filtri sui passaggi d'aria aspirata

Alcuni fornitori offrono passaggi d'aria aspirata con filtri. Il loro scopo è quello di evitare che le condotte dell'aria aspirata si sporchino rapidamente. Se tali filtri sono dimensionati correttamente e sostituiti regolarmente, possono essere utili. Tuttavia, poiché l'impegno di manutenzione aumenta notevolmente (ad esempio, quattro filtri sui passaggi d'ASP, oltre al filtro nell'apparecchio), vi è il rischio che la manutenzione venga trascurata. Inoltre, questi filtri hanno talvolta una superficie troppo piccola e quindi una vita utile breve. Pertanto, i filtri nei passaggi d'ASP devono essere utilizzati solo se espressamente richiesti dagli utenti.

### Sostituzione del filtro

I filtri dovrebbero essere sostituiti al più tardi dopo un anno. Se l'aria esterna a monte del filtro non può essere riscaldata di almeno 2–3 K (umidità relativa al filtro sempre inferiore all'80%), il filtro dell'aria esterna deve essere sostituito almeno due volte all'anno. I filtri di ricambio devono essere conservati nella confezione originale e protetti da polvere e umidità. Durante la sostituzione dei filtri è necessario indossare guanti monouso e una mascherina anti-polvere. I filtri rimossi devono essere immediatamente imballati in sacchetti di plastica ermetici e smaltiti secondo le indicazioni del fornitore.

#### I filtri sono prodotti monouso

Succede spesso che i filtri vengano lavati o «puliti» con l'aspirapolvere. Un simile trattamento distrugge il mezzo filtrante. Pertanto: smaltire i filtri dopo un solo utilizzo.

Tabella 9.2: Valori di riferimento per il fattore di contaminazione del filtro di vari tipi di impianti e apparecchi.

Tipo di impianto o tipo di apparecchio	Valore di riferimento per il fattore di contaminazione del filtro $f_{rc}$ per impianti/apparecchi con	
	IMM e ASP	Solo ASP
Impianto per più appartamenti	1,05	1,10
Impianto per singolo appartamento	1,10	1,20
Apparecchio di ventilazione per singolo locale	1,20	Ventilatore assiale 1,30 Ventilatore radiale 1,10
Ventilatori push-pull	1,30	–

In molti apparecchi, i filtri sono dimensionati (troppo) piccoli, tanto da richiedere un cambio del filtro da 3 a 4 volte l'anno. Ciò vale soprattutto per gli apparecchi di ventilazione per singolo locale e per i passaggi d'aria di transito.

## 9.2 Convogliamento dell'aria

La **potenza specifica del ventilatore** *SFP* (Specific Fan Power) indica il rapporto tra la potenza elettrica assorbita da un ventilatore e il flusso d'aria convogliato. Il valore *SFP* vale per singoli ventilatori e viene utilizzato per gli apparecchi di ventilazione per più appartamenti. I requisiti sono riportati nella SIA 382/1.

La **potenza specifica dell'apparecchio** *SPI* (Specific Power Input) indica il rapporto tra la potenza elettrica totale assorbita di un apparecchio di ventilazione (ventilatori, azionamenti ausiliari e regolazione) e il flusso d'aria medio dell'aria immessa e dell'aria aspirata. Esso non comprende il consumo energetico della protezione dalla formazione di ghiaccio così come l'eventuale post-riscaldamento. Per gli apparecchi con pompa di calore integrata, il valore *SPI* viene determinato a pompa di calore spenta.

$$SPI = 2 \cdot \frac{P_E}{q_{v11} + q_{v22}} \quad (9.2)$$

Dove

*SPI* Potenza specifica dell'apparecchio in  $W/(m^3/h)$

$P_E$  Potenza elettrica assorbita in  $W$

$q_{v11}$  Flusso d'aria aspirata in  $m^3/h$

$q_{v22}$  Flusso d'aria immessa in  $m^3/h$

Nel caso di apparecchi per la sola aria aspirata o per la sola aria immessa vale  $q_{v11} = q_{v22}$ . *SFP* e *SPI* sono talvolta indicati nell'unità  $W/(m^3/s)$ . In questo caso, i va-

lori sono 3600 volte più grandi rispetto all'unità qui utilizzata  $W/(m^3/h)$ .

Il valore *SPI* dipende dalla qualità degli apparecchi di ventilazione (efficienza dei ventilatori, perdite di carico interne, filtri) e dal sistema di distribuzione. La tabella 9.3 fornisce valori di riferimento per le perdite di carico della distribuzione dell'aria. Nel caso di ventilazioni meccaniche controllate, le perdite di carico si riferiscono al lato dell'aria esterna/impressa e, nel caso di impianti d'aspirazione, al lato dell'aria aspirata/espulsa.

La tabella 9.4 mostra i valori di riferimento per il valore *SPI* di vari apparecchi di ventilazione e tipi di impianto. Ciò presuppone filtri puliti secondo la tabella 9.1 e una corretta impostazione dell'impianto. Per stimare lo stato operativo tipico di un impianto, i valori di riferimento per

il valore *SPI* vengono moltiplicati per il fattore di contaminazione del filtro.

### 9.3 Recupero di calore e di umidità

#### Tipi di costruzione

Nel caso di **scambiatori di calore a piastre** lo scambio di calore avviene tramite superfici di separazione tra l'aria immessa e l'aria aspirata, costituite da piastre parallele di metallo o di plastica. Nel caso dei **rotori**, l'aria aspirata passa attraverso gli strati di un disco rotante. Nel flusso dell'aria aspirata, la massa di accumulo del rotore si riscalda. Grazie alla rotazione continua, la massa calda di accumulo raggiunge il lato dell'aria esterna, dove riscalda l'aria immessa.

Tabella 9.3: Valori di riferimento per la perdita di carico di ventilazioni meccaniche controllate e impianti d'aspirazione.

Tabella 9.4: Valori di riferimento per la potenza specifica dell'apparecchio *SPI* di diversi apparecchi di ventilazione e tipi di impianto.

Categoria	Descrizione	Perdita di carico della distribuzione dell'aria in Pa	
		Ventilazione meccanica controllata	Impianto d'aspirazione
Perdite di carico ridotte	Perdita di carico di base per impianto per singolo appartamento con condotte corte, ad esempio una distribuzione dell'aria nell'appartamento secondo il principio «di collegamento» con condotte principali corte	50	30
Perdite di carico medie	Perdite di carico di base di impianti per singolo appartamento «medi», ad esempio una distribuzione dell'aria nell'appartamento secondo il principio «a cascata» con condotte principali di media lunghezza	70	50
Perdite di carico elevate	Perdita di carico di base per impianti per più appartamenti e impianti per singolo appartamento con condotte lunghe, ad esempio a causa di un posizionamento sfavorevole degli apparecchi di ventilazione	100	70
Supplemento	Supplementi per ogni componente opzionale <sup>1)</sup>	30	30

1) Tra i componenti opzionali vi sono:

- Preriscaldamento dell'aria esterna con scambiatore di calore aria-terreno o batteria di riscaldamento
- Post-riscaldatore
- Regolatore del flusso d'aria
- Unità di ventilazione
- Cassetta filtro supplementare all'esterno dell'apparecchio di ventilazione
- Filtri sui passaggi d'aria aspirata o d'aria immessa
- Pompa di calore sull'aria aspirata

Categoria secondo la tabella 9.3	<i>SPI</i> in $W/(m^3/h)$		
	Ventilazione meccanica controllata	Impianto d'aspirazione	Apparecchio di vent. per singolo locale
Impianto con			
- Perdite di carico ridotte	0,22	0,10	0,20
- Perdite di carico medie	0,25	0,12	
- Perdite di carico elevate	0,30	0,15	
Supplemento per ogni componente opzionale	0,03	0,03	-

Lo stesso principio fisico come nel caso del rotore viene utilizzato anche per i **ri-generatori statici**, con la differenza che la massa di accumulo non si muove. A cambiare è invece la direzione del flusso d'aria. In grandi apparecchi, ciò si ottiene commutando per mezzo di clappe dell'aria. Nel caso di apparecchi molto piccoli, i cosiddetti ventilatori push-pull, vengono impiegati ventilatori commutabili. Gli **scambiatori entalpici** trasferiscono sia il calore sensibile che l'umidità. Nel processo non avviene alcuna condensazione, ma un trasporto per assorbimento o diffusione. A tale scopo, le superfici dei rotori sono rivestite in modo speciale. Nel caso degli scambiatori di calore a piastre si utilizzano membrane che consentono il solo passaggio di molecole d'acqua, ma non di grandi molecole come gli idrocarburi volatili (VOC).

**Grandezze di riferimento**

Il **rapporto di temperatura** descrive il rapporto tra l'aumento della temperatura sul lato dell'aria immessa e la differenza di temperatura tra l'aria aspirata e l'aria esterna, secondo la formula:

$$\eta_{\theta, su} = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \tag{9.3}$$

Dove

- $\theta_{11}$  Temperatura dell'aria aspirata all'ingresso dell'apparecchio in °C
- $\theta_{21}$  Temperatura dell'aria esterna all'ingresso dell'apparecchio in °C
- $\theta_{22}$  Temperatura dell'aria immessa all'uscita dell'apparecchio in °C

Le correzioni dovute a perdite e flussi di calore indesiderati sono trattate nei capitoli 9.6 e 9.7.

Quando viene specificato il rapporto di temperatura, occorre dichiarare in quali

condizioni si applica il valore o come è stato misurato. Determinanti sono le masse dei flussi d'aria e un'eventuale condensazione.

Di solito, il rapporto di temperatura è indicato a un rapporto di masse di flusso pari a 1, cioè a parità di massa di flusso d'aria immessa e d'aria aspirata. Va notato che per la caratterizzazione di un RC sono determinanti le masse di flusso e non i flussi d'aria volumetrici. Se come base si utilizzano i flussi d'aria volumetrici, per la conversione è necessario conoscere la densità dell'aria. Il trasferimento d'umidità è definito in modo analogo al trasferimento di calore sensibile. Il rapporto di umidità viene calcolato con

$$\eta_{X, su} = \frac{X_{22} - X_{21}}{X_{11} - X_{21}} \tag{9.4}$$

Dove

- $x_{11}$  Umidità assoluta dell'aria aspirata all'ingresso dell'apparecchio g/kg
- $x_{21}$  Umidità assoluta dell'aria esterna all'ingresso dell'apparecchio in g/kg
- $x_{22}$  Umidità assoluta dell'aria immessa all'uscita dell'apparecchio in g/kg

La tabella 9.5 mostra i valori di riferimento per i componenti del RC in apparecchi di ventilazione di piccole e medie dimensioni.

**Prevenzione dalla formazione di ghiaccio negli scambiatori entalpici**

In uno scambiatore entalpico, la formazione di ghiaccio deve essere assolutamente evitata, poiché essa può causare malfunzionamenti o addirittura danni. La formula 9.5 può venire utilizzata per stimare il rapporto di umidità minimo richiesto per evitare la formazione di ghiaccio negli scambiatori entalpici. Tale funzione empirica si basa sulle seguenti ipotesi:

Tabella 9.5: Valori di riferimento per i rapporti di temperatura e umidità degli scambiatori di calore ed entalpia negli impianti di ventilazione di piccole e medie dimensioni.

Tipo di costruzione	Rapporto di temperatura	Rapporto di umidità
Scambiatore di calore a piastre, senza recupero di umidità	0,75 ... 0,90	-
Scambiatore entalpico a piastre	0,70 ... 0,80	0,60 ... 0,70
Rotore, senza recupero di umidità	0,75 ... 0,85	-
Scambiatore entalpico a rotore	0,75 ... 0,85	0,70 ... 0,90

- L'umidità dell'aria aspirata corrisponde all'umidità interna massima consentita secondo la SIA 180:2014 (vedi anche il capitolo 2.4, in particolare la figura 2.1).
  - Temperatura dell'aria aspirata pari a 20 °C
  - Umidità relativa dell'aria esterna pari al 90 %
- Con queste ipotesi, il risultato del calcolo è conservativo.

$$\eta_{x,min} = \frac{2,25 \cdot \eta_{\theta,su} - 1,25 - 0,067 \cdot (1 - \eta_{\theta,su}) \cdot \theta_{EST,min}}{(9.5)}$$

Dove:

- $\eta_{x,min}$  Rapporto di umidità minimo necessario
- $\eta_{\theta,su}$  Rapporto di temperatura

$\theta_{EST,min}$  Temperatura minima dell'aria esterna come valore medio giornaliero in °C

**Conversione per masse di flusso diverse**

In condizioni di esercizio reali, le masse di flusso d'aria spesso differiscono notevolmente dalle indicazioni dei fornitori. La tabella 9.6 mostra l'apparato di formule per la conversione da una condizione A (con un rapporto di temperatura noto) a una condizione B con altre masse di flusso. Le formule presentano il seguente intervallo di validità:

- Componenti tipici del RC in apparecchi di ventilazione odierni di piccole e medie dimensioni

**Esempio di calcolo 9.1: Temperatura di congelamento scambiatore entalpico a piastre**

Per uno scambiatore entalpico a piastre, il rapporto di temperatura è pari al 75% e il rapporto di umidità è pari al 65%. Se si trasforma la formula 9.5, è possibile determinare la temperatura dell'aria esterna minima consentita:

$$\theta_{EST,min} = -15 \cdot \frac{1,25 - 2,25 \cdot 0,75 + 0,65}{(1 - 0,75)} \approx -13 \text{ °C}$$

Per l'impiego nell'Altopiano svizzero il rischio di formazione di ghiaccio è minimo.

Passo e osservazione	Formule
Rapporto di massa di flusso allo stato A	$R_A = q_{m2,A} / q_{m1,A}$
Rapporto di temperatura allo stato A	$\eta_{\theta,su,A}$ secondo la formula 9.3
NTU allo stato A	$NTU_A = \frac{\eta_{\theta,A}}{1 - \eta_{\theta,A}}$ per $R_A = 1$ $NTU_A = \frac{1}{1 - R_A} \ln \frac{1 - R_A \cdot \eta_{\theta,A}}{1 - \eta_{\theta,A}}$ per $R_A \neq 1$
NTU allo stato B	$NTU_B = NTU_A \cdot \left(\frac{q_{m1,B}}{q_{m1,A}}\right)^n \cdot \left(\frac{q_{m2,B}}{q_{m2,A}}\right)^{n-1}$
Rapporto di massa di flusso allo stato B	$R_B = q_{m2,B} / q_{m1,B}$
Rapporto di temperatura allo stato B	$\eta_{\theta,su,B} = \frac{NTU_B}{1 + NTU_B}$ per $R_B = 1$ $\eta_{\theta,su,B} = \frac{1 - e^{-NTU_B \cdot (R_B - 1)}}{1 - R_B \cdot e^{-NTU_B \cdot (R_B - 1)}}$ per $R_B \neq 1$
<b>Legenda dei simboli della formula</b>	<b>Legenda degli indici</b>
$n$ Esponente per la variazione della trasmissione termica	1 Lato aria aspirata
NTU Number of transfer units	2 Lato aria immessa
$q_m$ Massa di flusso	A Stato A (con rapporto di temperatura conosciuto)
$R$ Rapporto di massa di flusso	B Stato B (con rapporto di temperatura voluto)
$\eta_{\theta,su}$ Rapporto di temperatura	

Tabella 9.6: Formule per la conversione del rapporto di temperatura di scambiatori di calore aria-aria ad altre masse di flusso (per il campo di validità, vedi testo).

- La capacità termica specifica delle masse di flusso d'aria immessa e d'aria aspirata è identica, quindi non vi è condensazione.
- Il RC si comporta in buona approssimazione come un puro scambiatore di calore in controcorrente.
- A un rapporto della massa di flusso pari a 1 il rapporto di temperatura è compreso tra 0,65 e 0,85.
- Il rapporto della massa di flusso è compreso tra 0,65 e 1,50.

**L'indice  $NTU$**  (Number of Transfer Units) è una cifra senza dimensioni nel campo del trasferimento di calore. La definizione e le applicazioni sono descritte, ad esempio, nell'Atlante termico VDI [10], capitolo C1. Più alto è l'indice  $NTU$ , più l'indice di recupero di calore è vicino a 1. L'esponente  $n$  nella formula per l'indice  $NTU$  allo stato B è tipicamente pari a 0,35 per gli scambiatori di calore a piastre e pari a 0,18 per i rotori.

## 9.4 Incidenza del disequilibrio

Un rapporto della massa di flusso diverso da 1 viene denominato disequilibrio. Il disequilibrio peggiora il bilancio energetico di un sistema di ventilazione. Le possibili ragioni di un disequilibrio sono:

- Differenze di pressione tra l'interno e l'esterno dovute al vento o alle forze ascensionali
- Riduzione del flusso d'aria immessa come protezione dalla formazione di ghiaccio per il RC
- Filtro sporco
- Sporczia nell'apparecchio o nella distribuzione dell'aria (ad esempio la griglia anti-insetti)
- Strategia operativa voluta, ad esempio per ridurre il livello di potenza sonora
- Combinazione con impianti d'aspirazione, in particolare con ventilatori per l'aria aspirata nel bagno, nella doccia e nel WC

### Esempio di calcolo 9.2: Rapporto di temperatura in condizioni di esercizio reali

Durante il collaudo di un impianto, viene verificato se uno scambiatore di calore a piastre soddisfa i dati di prestazione secondo le indicazioni del produttore. In questo caso vengono misurati i seguenti valori:

- Aria aspirata 21,7°C, 30% di umidità relativa, flusso d'aria 1200 m<sup>3</sup>/h
- Aria esterna + 2,5°C, 80% di umidità relativa
- Aria immessa 18,0°C, 27% di umidità relativa, flusso d'aria 1050 m<sup>3</sup>/h
- Pressione dell'aria pari a 960 mbar

Per l'aria aspirata viene calcolata una densità di 1,13 kg/m<sup>3</sup> e per l'aria esterna di 1,21 kg/m<sup>3</sup>.

Il fornitore dichiara un rapporto di temp. dell'80% alle seguenti condizioni:

- Aria aspirata 20°C
- Aria esterna + 7°C
- Flusso d'aria immessa 1500 m<sup>3</sup>/h, a una densità di 1,20 kg/m<sup>3</sup>
- Rapporto di massa di flusso pari a 1

La tabella riassume la conversione della misurazione (stato A) alle condizioni specificate dal fornitore (stato B). Per l'esponente  $n$  è stato scelto 0,35.

Secondo la conversione, il rapporto di temperatura effettivo è di circa 6 punti percentuali inferiore al valore dichiarato dal fornitore. Pertanto, il collaudo del RC dipende dalle tolleranze concordate e dall'incertezza di misurazione.

Descrizione	Simbolo	Unità	Misurazione di collaudo (A)	Condizioni dichiarate (B)
Massa di flusso d'aria immessa	$q_{m2}$	kg/s	0,334	0,500
Massa di flusso d'aria aspirata	$q_{m1}$	kg/s	0,376	0,500
Rapporto massa di flusso	$R$	–	0,887	1,000
Indice $NTU$	$NTU$	–	3,43	2,92
Rapporto di temperatura	$\eta_{\theta,A}$	–	80,7%	74,5%

L'indice di disequilibrio  $k_{dis}$  viene definito come:

$$k_{dis} = (q_{m,2} - q_{m,1}) / \max(q_{m,2}; q_{m,1}) \quad (9.6)$$

dove  $q_{m,2}$  è la massa di flusso d'aria immessa e  $q_{m,1}$  è la massa di flusso d'aria aspirata.

Valori positivi indicano un'eccedenza d'aria immessa o una sovrappressione nel locale, mentre valori negativi indicano un'eccedenza d'aria aspirata o una sottopressione. Il disequilibrio che riduce il rendimento del RC di un certo fattore viene chiamato fattore di disequilibri  $f_{dis}$ .

**Nota:** se tutti i flussi d'aria sono specificati per le stesse condizioni dell'aria interna, i rapporti di flusso volumetrico corrispondono anche ai rapporti della massa di flusso.

#### Stima del valore medio annuale

Nel caso di condizioni note, il rapporto di temperatura può essere convertito come nell'esempio di calcolo 9.2. Quando si considerano interi impianti ed edifi-

ci, tuttavia, si aggiunge l'influenza dell'infiltrazione e dell'esfiltrazione. Un calcolo esatto, ad esempio con cadenza oraria, è difficilmente realizzabile perché influenze come la pressione del vento e le condizioni di contaminazione non possono essere determinate con esattezza. Poiché il disequilibrio dipende fortemente dalla sensibilità del flusso d'aria, la norma EN 13142:2021 suggerisce la seguente stima per il valore medio annuo del fattore di disequilibrio:

$$f_{dis} = 1 \quad \text{per } v \leq 0,02 \quad (9.7)$$

$$f_{dis} = [1 - (v - 0,02)]^{0,4} \quad \text{per } v > 0,02$$

Dove  $v$  è la sensibilità del flusso d'aria secondo 8.2.

#### Apparecchi con RC, combinati con impianto d'aspirazione

Un disequilibrio sistematico si verifica nel caso di apparecchi di ventilazione per singolo locale che sono in esercizio contemporaneamente a ventilatori dell'aria aspirata nel bagno o nel WC.

#### Esempio di calcolo 9.3: Fattore di disequilibrio

In un appartamento di 3½ locali ci sono tre apparecchi di ventilazione per singolo locale con una sensibilità del flusso d'aria di classe S2. Ciascuna di queste unità opera con un flusso d'aria costante di 30 m<sup>3</sup>/h. Nel bagno è installato un ventilatore dell'aria aspirata con un flusso d'aria di 50 m<sup>3</sup>/h. La permeabilità all'aria dell'involucro dell'edificio raggiunge il valore mirato della SIA 180. A quanto ammonta il fattore di disequilibrio?

A ventilatore dell'aria aspirata acceso, il rapporto tra la massa di flusso del ventilatore dell'aria aspirata e la massa di flusso di riferimento degli apparecchi di ventilazione per singolo locale è il seguente 50 (m<sup>3</sup>/h)/90 (m<sup>3</sup>/h) = 0,56.

Con la formula 9.8 viene calcolato il fattore di disequilibrio  $f_{dis} = 1 - 0,78 \cdot 0,56 + 0,3 \cdot (0,56)^2 = 0,66$

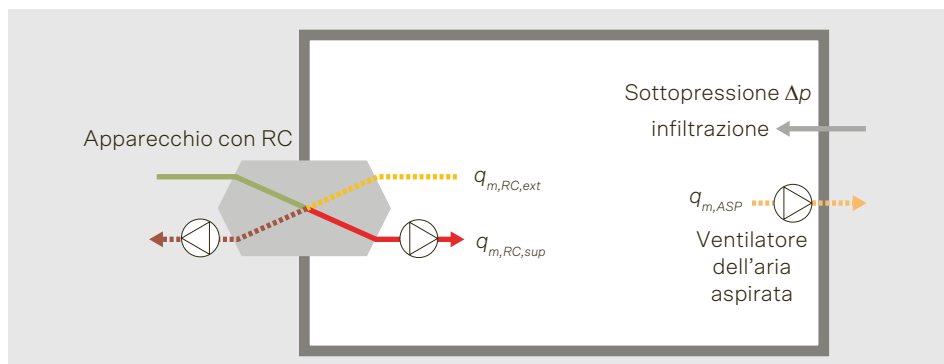


Figura 9.1: Disequilibrio nel caso della combinazione di un apparecchio con RC con un ventilatore dell'aria aspirata.



La sottopressione creata dai ventilatori dell'aria aspirata provoca infiltrazioni. Sia l'infiltrazione che il flusso d'aria convogliato al ventilatore dell'aria aspirata non possono venire utilizzati dal RC. La figura 9.1 illustra questa situazione. Per il calcolo del fabbisogno energetico annuo, occorre distinguere tra le fasi di esercizio con il ventilatore dell'aria aspirata acceso e quelle con il ventilatore spento. In base alle formule della tabella 9.6 e alla permeabilità all'aria tipica degli edifici odierni, il fattore di disequilibrio può essere stimato con la formula 9.8. In tal caso valgono le seguenti condizioni quadro:

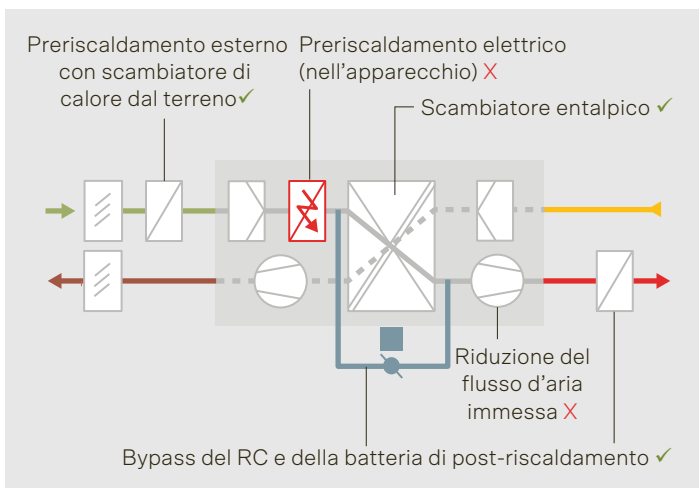
- Il rapporto di temperatura a un rapporto della massa di flusso pari a 1 è compreso fra 0,50 e 0,90.
- Il rapporto tra la massa di flusso del ventilatore dell'aria aspirata e la massa di flusso di riferimento dell'apparecchio con RC è compreso tra 0 e 1.

$$f_{dis} = 1 - 0,78 \cdot \frac{q_{m,ASP}}{q_{m,RC,ref}} + 0,3 \cdot \left( \frac{q_{m,ASP}}{q_{m,RC,ref}} \right)^2 \quad (9.8)$$

Dove  $q_{m,ASP}$  è la massa di flusso del ventilatore dell'aria aspirata e  $q_{m,RC,ref}$  è la massa di flusso dell'apparecchio con RC in esercizio bilanciato.

Le note sulla valutazione della sottopressione sono riportate nel capitolo 8.5.

Figura 9.2: Varianti comuni per la protezione dalla formazione di ghiaccio del RC, con valutazione (segno di spunta verde per idoneo, x rossa per non raccomandato o non consentito).



## 9.5 Protezione dalla formazione di ghiaccio e disattivazione del RC

### Protezione dalla formazione di ghiaccio

La figura 9.2 mostra schematicamente le misure comuni per la protezione dalla formazione di ghiaccio di un RC e ne fornisce una valutazione.

A seconda dell'efficienza relativa all'umidità, uno **scambiatore entalpico** offre una buona protezione dalla formazione di ghiaccio (cfr. capitolo 9.3) e allo stesso tempo aumenta l'umidità interna.

Il preriscaldamento esterno con uno **scambiatore di calore dal terreno** (vedi capitolo 6.7) riduce leggermente il fabbisogno energetico dell'impianto. Un ulteriore vantaggio è il pre-raffrescamento in estate. Tra gli svantaggi vi sono l'onere costruttivo e l'investimento elevato.

Con un **bypass del RC**, la temperatura dell'aria immessa diminuisce durante l'attivazione della protezione dalla formazione di ghiaccio, il che può causare problemi di comfort. Pertanto, di solito è necessario un post-riscaldamento. Poiché le batterie di riscaldamento elettriche spesso non sono consentite e nemmeno consigliate, il post-riscaldatore deve essere alimentato dall'impianto di riscaldamento. Per motivi di costo, questa variante viene presa in considerazione soprattutto negli impianti per più appartamenti. Molti apparecchi di ventilazione residenziale offrono una **riduzione del flusso d'aria immessa** come misura standard per la protezione dalla formazione di ghiaccio. Quando essa viene attivata, nell'appartamento si crea una sottopressione. In questo caso l'aria affluisce per infiltrazione, il che può compromettere il comfort e, in casi estremi, può provocare rumore (aria che «fischia»). La disattivazione completa del ventilatore dell'aria immessa non è consentita secondo le norme svizzere. Tuttavia, se la sottopressione non supera i 5 Pa, la SIA 382/5 consente una riduzione del flusso d'aria immessa. In genere, tale requisito può venire soddisfatto se il flusso d'aria immessa viene ridotto di non più



del 30%. Nel caso di un focolare in appartamento, invece, non è consentito alcun disequilibrio.

Nel caso di un rapporto di temperatura dell'80% (rapporto della massa di flusso = 1), la riduzione del 30% del flusso d'aria immessa è adatta per la protezione dalla formazione di ghiaccio solo fino a una temperatura esterna di circa  $-5^{\circ}\text{C}$ . A temperature di dimensionamento inferiori, questa misura deve quindi essere combinata con un'ulteriore variante. Ad esempio, può venire preso in considerazione uno scambiatore entalpico il cui rapporto di umidità (ad un rapporto della massa di flusso = 1) non è sufficiente a garantire da solo la protezione dalla formazione di ghiaccio.

Diversi fornitori offrono un **preriscaldamento elettrico** integrato direttamente nell'apparecchio. Esso può causare un elevato consumo energetico e porta a picchi di potenza elettrica elevati a basse temperature esterne (vedi capitolo 9.8). Secondo la SIA 382/5, non sono ammessi preriscaldamenti elettrici con solo uno o due livelli di esercizio. È possibile, an-

che se non consigliato, un preriscaldamento elettrico a potenza modulabile, regolato in funzione del fabbisogno.

La EN 13142:2021, allegato F, contiene valori di riferimento e modelli di calcolo per determinare il fabbisogno energetico della protezione dalla formazione di ghiaccio. Presso la Scuola Universitaria Professionale di Lucerna (HSLU) è stato sviluppato un modello generale che può essere applicato a tutte le stazioni climatiche [4]. La tabella 9.7 fornisce valori di riferimento per il fabbisogno aggiuntivo e ridotto di energia o potenza termica ed elettrica per le stazioni climatiche di Zurigo MeteoSvizzera e Davos. I valori positivi indicano che, rispetto a un RC ideale (che non necessita di una protezione dalla formazione di ghiaccio), il fabbisogno è maggiore. A tale proposito, valgono le seguenti ipotesi:

- Attivazione della protezione dalla formazione di ghiaccio al di sotto di  $-2^{\circ}\text{C}$
- Rapporto di temperatura di circa 85%

Tabella 9.7:  
Fabbisogno annuo di energia e potenza alla temperatura di dimensionamento per diverse varianti di protezione contro la formazione di ghiaccio del RC con un flusso d'aria pari a  $1\text{ m}^3/\text{h}$  per le stazioni climatiche di Zurigo MeteoSvizzera e Davos.

Variante della protezione dalla formazione di ghiaccio	Tipo di fabbisogno	Fabbisogno di energia e potenza per un flusso d'aria di $1\text{ m}^3/\text{h}$ per la stazione climatica			
		Zurigo SMA ( $-10^{\circ}\text{C}$ )		Davos ( $-20^{\circ}\text{C}$ )	
		Termico	Elettrico	Termico	Elettrico
Preriscaldatore elettrico monostadio <sup>1)</sup>	Energia in kWh/a Potenza in W	-0,51 -0,6	2,1 3,7	-3,0 -1,1	ca. 16 7,2
Preriscaldatore elettrico a variazione continua	Energia in kWh/a Potenza in W	-0,11 -0,4	0,56 2,6	-0,43 -0,8	3,5 5,2
Riduzione (max. 30%) del flusso d'aria immessa, a variazione continua, combinata con il recupero di umidità <sup>2)</sup>	Energia in kWh/a Potenza in W	0,50 3,6 $\eta_x \geq 0,50^{3)}$	-0,05 -0,1	3,0 4,2 $\eta_x \geq 0,80^{3)}$	-0,19 -0,1
Bypass, a variazione continua	Energia in kWh/a Potenza in W	0,89 6,5	0,19 0,02	6,1 11,4	0,19 0,02
Preriscaldamento tramite scambiatore di calore terreno-salamoia	Energia in kWh/a Potenza in W	-0,24 -0,4	0,38 0,2	-0,90 -0,8	0,38 0,2
Preriscaldamento tramite scambiatore di calore terreno-aria	Energia in kWh/a Potenza in W	-0,58 -0,4	0,19 0,02	-1,68 -0,8	0,19 0,02
Scambiatore entalpico con limite di congelamento inferiore alla temperatura di dimensionamento <sup>2)</sup>	Energia in kWh/a Potenza in W	0 0 $\eta_x \geq 0,65^{3)}$	0 0	0 0 $\eta_x \geq 0,85^{3)}$	0 0

1) Solo a scopo di confronto, non consentito secondo la SIA 382/5

2) Nei confronti, va notato che il rapporto di temperatura degli scambiatori entalpici in caso di dimensionamento identico, è tipicamente inferiore di circa 5 punti percentuali rispetto a quello degli scambiatori di calore senza recupero di umidità

3) Nel caso di umidità dell'aria interna massima consentita secondo il cap. 2.4, è necessario il rapporto di umidità specificato.

### Disattivazione del recupero di calore in estate

Il regolamento (UE) 1253/2014 [5] richiede un «bypass del RC» in estate, affinché la ventilazione possa essere utilizzata per il raffrescamento notturno. Le soluzioni più comuni sono:

- Bypass (in apparecchi con scambiatori di calore a piastre)
- Disattivazione del rotore
- Riduzione del flusso d'aria immessa, o spegnimento del ventilatore dell'aria immessa

Anche in questo caso sussistono gli stessi vantaggi e svantaggi come per la protezione dalla formazione di ghiaccio. Le prime due varianti non presentano problemi e sono quindi consigliate. L'ultima soluzione può causare problemi anche in estate.

## 9.6 Perdite e tassi di trasmissione

Per motivi igienici ed energetici, le perdite sono indesiderate.

Le **perdite interne** descrivono il trasferimento di aria aspirata all'aria immessa e il trasferimento di aria esterna all'aria espulsa. Oltre all'ermeticità della costruzione, la disposizione dei ventilatori gioca un ruolo determinante. Il trasferimento di aria aspirata è problematico dal punto di vista igienico e inganna per un rapporto di temperatura troppo favorevole. Ciò viene corretto nel calcolo del fabbisogno energetico (vedi capitolo 9.8). Un certo trasferimento di aria esterna è consapevolmente preso in considerazione, soprattutto nel caso dei rotori. L'influenza energetica è in tal caso già inclusa nel rapporto di temperatura, per cui non è necessaria alcuna correzione.

Nel caso dei rotori, esiste anche la cosiddetta «co-rotazione». Essa si riferisce al flusso d'aria che viene trasferito dal volume d'aria racchiuso nel rotore quando passa attraverso il piano di separazione tra l'aria aspirata e l'aria immessa. Per garantire che questo trasferimento avvenga solo dall'aria esterna all'aria espul-

sa, a volte vengono utilizzate le cosiddette zone di spurgo, soprattutto in grandi apparecchi di ventilazione. Al momento della verifica dell'apparecchio, la co-rotazione è inclusa nelle perdite interne.

Le **perdite esterne** si riferiscono alla quantità di aria che passa attraverso l'involucro dell'apparecchio verso l'ambiente o dall'ambiente verso l'interno dell'apparecchio.

Nel caso di apparecchi di ventilazione per singolo locale, a causa della ridotta distanza tra il passaggio d'aria esterna e il passaggio d'aria espulsa, può generarsi un cortocircuito del flusso, che nella norma viene chiamato **miscelazione esterna**. Analogamente, è possibile una **miscelazione interna** tra l'aria immessa e l'aria aspirata.

Quando si valutano e classificano gli apparecchi secondo la EN 13142, si considerano tutte le perdite e le trasmissioni elencate. A seconda del tipo di apparecchio, vengono applicate le procedure di prova A, B e C (tabella 9.8), i quali tuttavia non possono essere confrontati tra loro direttamente. Per tutte le procedure, la classe 1 corrisponde alla valutazione migliore e la classe 3 alla valutazione peggiore. Per gli apparecchi che presentano perdite particolarmente elevate, esiste anche la categoria «non classificato». I regolamenti di Eco-Design richiedono che le perdite siano elencate nella dichiarazione del prodotto. La tabella 9.8 mostra i valori di riferimento per i tassi di perdita degli apparecchi di ventilazione che corrispondono alle due classi migliori della EN 13142. Si raccomanda di scegliere apparecchi in cui i valori dichiarati non superano quelli della tabella.

### Riduzione del rendimento di un RC

In conformità alla EN 13142:2021, la tabella 9.9 definisce i fattori di perdita utilizzati per il calcolo energetico.

**Nota:** a differenza della EN 13142, l'influenza del disequilibrio nel modello di calcolo è trattata separatamente in questo libro (vedi capitolo 9.4).

### Aumento del flusso d'aria

Le perdite riportano parte dell'aria aspirata all'interno dell'edificio. Per ottenere la stessa qualità dell'aria immessa di un apparecchio senza perdite, il flusso d'aria deve quindi essere aumentato di un fattore  $f_{ik,v}$ . Esso viene stimato con:

$$f_{ik,v} = 1 + o + w + y + 0,5 \cdot z \quad (9.9)$$

I simboli delle formule sono definiti nella legenda della tabella 9.9.

## 9.7 Isolamento termico della distribuzione dell'aria

La figura 6.5 mostra esempi di collocazione energeticamente favorevole e sfavorevole di apparecchi di ventilazione e di condotte principali. Sia flussi di calore da locali riscaldati a flussi d'aria fredda, che quelli da flussi d'aria calda a locali freddi causano perdite energetiche.

L'isolamento termico delle condotte dell'aria deve essere realizzato in conformità con l'aiuto all'esecuzione EN-105 del MoPEC 2014 «Impianti di ventilazione» [6]. Ciò corrisponde al diagramma nella figura 9.3 se contemporaneamente sono soddisfatte le seguenti condizioni:

- Condotte dell'aria rotonde con un diametro massimo di 160 mm
- Flusso d'aria in esercizio normale massimo di 220 m<sup>3</sup>/h
- Apparecchio di ventilazione con RC (scambiatore di calore a piastre o rotore) ma senza PdC sull'aria aspirata.

In tutti gli altri casi, gli spessori d'isolamento valgono per una lunghezza delle condotte di 8 m.

Gli spessori dell'isolamento valgono per una conducibilità termica  $\lambda$  compresa tra 0,03 e 0,05 W/(m·K). Per valori  $\lambda$  inferiori a 0,03 W/(m·K), lo spessore dell'isolamento può essere adeguato in modo che la perdita di calore corrisponda alla situazione per gli spessori d'isolamento con  $\lambda = 0,04$  W/(m·K).

Tipo di perdita e procedura	Ammontare della perdita
Perdita esterna	2 – 7 %
Perdita interna	
– Procedura A: test statico	2 – 7 %
– Procedura B: test con gas tracciante, metodo a camera	1 – 3 %
– Procedura C: test con gas tracciante, metodo a canale	0,5 – 2 %
Miscelazione esterna (solo per apparecchi senza colleg. al canale)	2 – 5 %
Miscelazione interna (solo per apparecchi senza colleg. al canale)	2 – 5 %

Tabella 9.8: Valori di riferimento per le perdite di apparecchi di ventilazione residenziale.

Motivo della correzione	Formule per gli apparecchi		
Perdita interna	Tutti gli apparecchi	$f_{ik,1} = 1$	per $w \leq 0,02$
		$f_{ik,1} = 1 - 0,7 \cdot (w - 0,02)$	per $w > 0,02$
Miscelazione esterna	senza collegamento al canale	$f_{ik,2} = 1$	per $o \leq 0,02$
		$f_{ik,2} = 1 - (o - 0,02)$	per $o > 0,02$
	con collegamento al canale <sup>1)</sup>	$f_{ik,2} = 1$	
Miscelazione interna	senza collegamento al canale	$f_{ik,3} = 1$	per $y \leq 0,02$
		$f_{ik,3} = 1 - (y - 0,02)$	per $y > 0,02$
	con collegamento al canale <sup>1)</sup>	$f_{ik,3} = 1$	
Perdita esterna	tutti gli apparecchi <sup>2)</sup>	$f_{ik,4} = 1$	per $z \leq 0,03$
		$f_{ik,4} = 1 - 0,5 \cdot (z - 0,03)$	per $z > 0,03$
Fattore di perdita termica	tutti gli apparecchi	$f_{ik,th} = f_{ik,1} \cdot f_{ik,2} \cdot f_{ik,3} \cdot f_{ik,4}$	

1) Dipende dal posizionamento dei passaggi d'aria. In impianti tipici non vi è alcuna miscelazione.

2) Valore stimato, che differisce dalla EN 13142

Tabella 9.9: Determinazione dei fattori di perdita in conformità alla EN 13142. o Miscelazione esterna, valore relativo riferito al flusso d'aria di riferimento  $w$  Perdita interna, valore relativo riferito al flusso d'aria di riferimento  $y$  Miscelazione interna, valore relativo riferito al flusso d'aria di riferimento  $z$  Perdita esterna, valore relativo riferito al flusso d'aria di riferimento

Analogamente, per valori  $\lambda$  superiori a  $0,05 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , lo spessore dell'isolamento deve essere aumentato in modo che la perdita di calore corrisponda alla situazione per gli spessori d'isolamento con  $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ .

Il rischio di condensa deve essere valutato indipendentemente da questi requisiti. Eventualmente, sono necessari spessori d'isolamento maggiori e un materiale isolante impermeabile alla diffusione del vapore.

Le curve nella figura 9.3 vengono applicate come segue:

- La curva «5 K» è consigliata per **condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa** in locali chiusi al di fuori dell'involucro dell'edificio isolato (ad esempio, locali tecnici o scantinati).
- La curva «10 K» vale per **condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata** al di fuori dell'involucro termico dell'edificio in locali chiusi di piani interrati (ad esempio locali tecnici, cantine) e per condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata all'interno dell'involucro termico dell'edificio con preriscaldamento permanente dell'aria (ad esempio scambiatore di calore dal terreno) a monte del RC.
- La curva «15 K» vale per le **condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata** al di fuori dell'involucro termico dell'edificio (eccezione: locali al piano interrato, vedi

sopra), così come alle **condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa** all'interno dell'involucro termico dell'edificio per gli impianti senza preriscaldamento permanente dell'aria prima del RC.

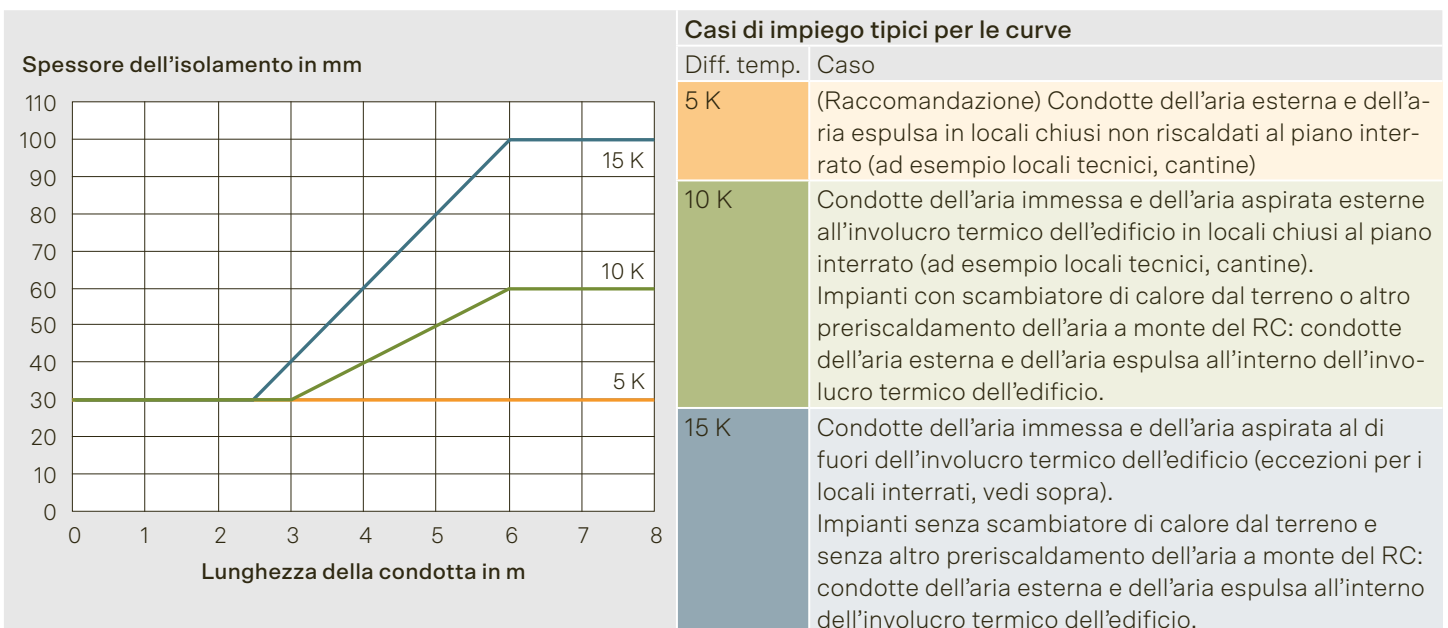
La riduzione del rendimento del RC dovuta alle perdite di calore della distribuzione dell'aria viene qui definita come fattore di perdita di calore  $f_{ls}$ . Esso viene calcolato come segue

$$f_{ls} = e^{-\frac{U_{lin} \cdot L_{tot} \cdot 3600}{\rho \cdot c_p \cdot q_v}} \quad (9.10)$$

Dove

- $e$  numero di Eulero (2,71828)
- $U_{lin}$  coefficiente di trasmissione termica lineare della condotta isolata in  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
- $L_{tot}$  somma delle lunghezze di condotta isolata in m
- $\rho$  densità dell'aria in  $\text{kg}/\text{m}^3$
- $c_p$  capacità termica specifica dell'aria in  $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- $q_v$  flusso d'aria in  $\text{m}^3/\text{h}$

Figura 9.3: Spessore minimo dell'isolamento di condotte dell'aria per diverse differenze di temperatura in funzione della lunghezza della condotta secondo EN-105 [6], validità delle curve vedi testo.



#### Casi di impiego tipici per le curve

Diff. temp.	Caso
5 K	(Raccomandazione) Condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa in locali chiusi non riscaldati al piano interrato (ad esempio locali tecnici, cantine)
10 K	Condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata esterne all'involucro termico dell'edificio in locali chiusi al piano interrato (ad esempio locali tecnici, cantine). Impianti con scambiatore di calore dal terreno o altro preriscaldamento dell'aria a monte del RC: condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa all'interno dell'involucro termico dell'edificio.
15 K	Condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata al di fuori dell'involucro termico dell'edificio (eccezioni per i locali interrati, vedi sopra). Impianti senza scambiatore di calore dal terreno e senza altro preriscaldamento dell'aria a monte del RC: condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa all'interno dell'involucro termico dell'edificio.

La figura 9.4 mostra il fattore  $f_{Is}$  quale funzione della somma delle lunghezze delle condotte isolate per diversi diametri di condotta e flussi d'aria. Gli spessori d'isolamento corrispondono ai requisiti del formulario EN-105 secondo la figura 9.3, curva «15 K». La conducibilità termica considerata equivale a  $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ .

## 9.8 Fabbisogno energetico annuo di impianti di ventilazione

Il fabbisogno energetico annuo di un impianto di ventilazione è composto

- dal fabbisogno di energia elettrica per il trasporto d'aria,
- dalle perdite di calore per ventilazione che devono essere coperte dal riscaldamento dei locali, e
- dal fabbisogno energetico per la protezione dalla formazione di ghiaccio.

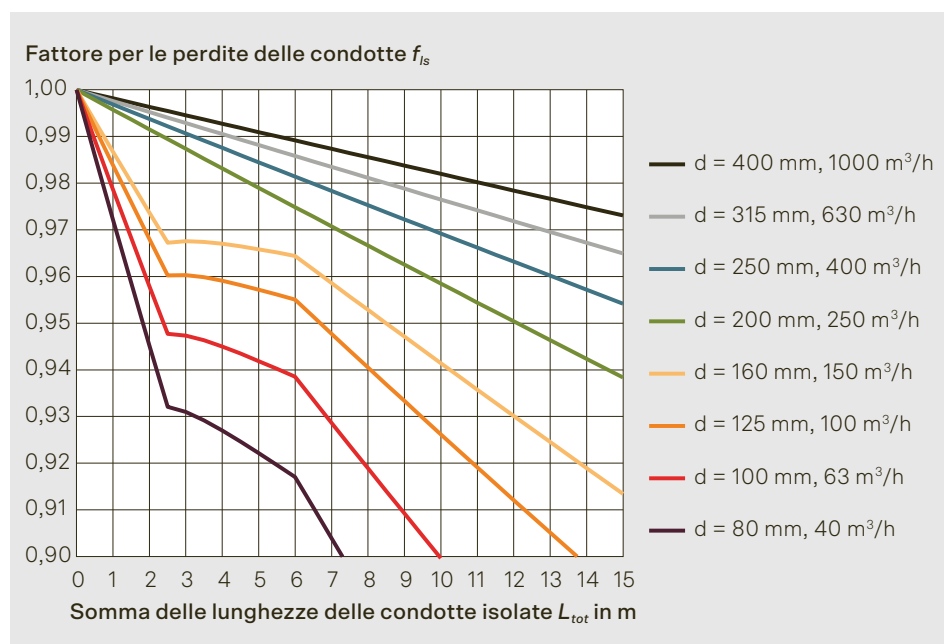


Figura 9.4: Fattore  $f_{Is}$  per le perdite di calore delle condotte dell'aria per spessori di isolamento secondo EN-105 [6].

$$E_{th,v} = t_h \cdot \Delta T_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{q_{v,n}}{3600} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{Ik,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot (1 - f_{dis} \cdot f_{Is} \cdot f_{Ik,th} \cdot \eta_{\theta,su}) \quad (9.13)$$

Dove

$t_h$  Durata del periodo di riscaldamento secondo la tabella 9.10 in h/a

$\Delta T_h$  Differenza media di temperatura tra l'interno e l'esterno durante il periodo di riscaldamento, meno il guadagno di temperatura dovuto ai guadagni termici secondo la tabella 9.10 in K

$\rho$  Densità dell'aria in  $\text{kg}/\text{m}^3$

$c_p$  Capacità termica specifica dell'aria in  $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$

$q_{v,n}$  Flusso d'aria in esercizio normale in  $\text{m}^3/\text{h}$

$f_{CTRL}$  Fattore per il controllo/regolazione secondo la tabella 9.11

$f_{dis}$  Fattore di disequilibrio secondo la formula 9.7

$f_{Is}$  Fattore per le perdite termiche secondo la formula 9.7

$f_{Ik,v}$  Fattore per l'aumento del flusso d'aria dovuto alle perdite secondo il capitolo 9.6

$f_{Ik,th}$  Fattore di perdita termica secondo la tabella 9.9

$v$  Sensibilità del flusso d'aria secondo il capitolo 8.3

$\eta_{\theta,su}$  Rapporto di temperatura secondo la formula 9.3

I seguenti modelli si basano sul metodo di calcolo del Regolamento (UE) 1253/2014 e EN 13142:2021.

### Trasporto d'aria

Nel caso di impianti per più appartamenti, il fabbisogno di energia elettrica può essere calcolato secondo la SIA 382/1. Nel caso di impianti per singolo appartamento e di impianti di ventilazione per singolo locale, può venire utilizzata l'equazione 9.11.

$$E_{el,v} = t_a \cdot q_{v,n} \cdot f_{CTRL}^{(x)} \cdot f_{fc} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot \frac{SPI}{1000} \quad (9.11)$$

Dove

$E_{el,v}$  Fabbisogno di energia elettrica annuo per il trasporto d'aria in kWh/a

$t_a$  Ore di esercizio annue dell'impianto di ventilazione in h/a

$q_{v,n}$  Flusso d'aria in eserc. norm. in m<sup>3</sup>/h

$x$  Esponente per la curva di rendimento del trasporto d'aria

$f_{CTRL}$  Fattore per il controllo/regolazione, vedi tabella 9.11

$f_{fc}$  Fattore di contaminazione del filtro secondo la tabella 9.2

$f_{lk,v}$  Fattore per l'aumento del flusso d'aria dovuto alle perdite, secondo il capitolo 9.6

$v$  Sensibilità al flusso d'aria secondo il capitolo 8.2

$SPI$  Potenza elettrica assorbita specifica dell'impianto di ventilazione in W/(m<sup>3</sup>·h), secondo il capitolo 9.2

L'esponente  $x$  descrive la caratteristica della curva di rendimento di un trasporto d'aria a carico parziale. Secondo la EN 13142:2021, valgono i seguenti valori:

– On/Off a velocità costante:  $x = 1$

- Due velocità fisse:  $x = 1,2$
- Tre o più velocità fisse:  $x = 1,5$
- A velocità variabile:  $x = 2$

### Perdite termiche per ventilazione

Per il calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento secondo la SIA 380/1, si utilizza il rendimento termico risultante dell'impianto secondo la formula 9.12 (per la legenda vedi formula 9.13).

$$\eta_{\theta,su,res} = f_{dis} \cdot f_{ls} \cdot f_{lk,th} \cdot \eta_{\theta,su} \quad (9.12)$$

Se non viene effettuato il calcolo secondo la SIA 380/1, le perdite di calore per ventilazione possono venire stimate con la formula 9.13.

Nella EN 13142 e nella bozza di revisione del Regolamento (UE) 1253/2014 (stato 1.3.2021), viene calcolato un rapporto di temperatura  $\eta_5$ . Se si utilizza questo valore al posto di  $\eta_{\theta,su}$ , valgono le equazioni 9.14 e 9.15 al posto delle equazioni 9.12 e 9.13.

### Controllo/regolazione

La tabella 9.11 mostra i fattori di controllo/regolazione. I valori per gli impianti per singolo appartamento si basano sulla bozza di revisione del Regolamento (UE) 1253/2014, stato 1.3.2021. I valori relativi agli apparecchi di ventilazione per singolo locale e ai ventilatori per l'aria aspirata sono stime proprie.

### Ventilazione libera

Oltre alla ventilazione meccanica, negli appartamenti ha luogo sempre anche una ventilazione libera. Essa comprende l'apertura di porte e finestre e le infiltrazioni non legate al sistema di ventilazio-

$$\eta_{\theta,su,res} = f_{ls} \cdot f_{lk,4} \cdot \eta_5 \quad (9.14)$$

$$E_{th,v} = t_h \cdot \Delta T_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{q_{v,n}}{3600} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot (1 - f_{ls} \cdot f_{lk,4} \cdot \eta_5) \quad (9.15)$$

Dove

$\eta_5$  Rapporto di temperatura corretto secondo la EN 13142:2019, tabella 2

$f_{lk,4}$  Fattore per le perdite esterne secondo la tabella 9.9

ne. Valori di riferimento approssimativi per la stagione di riscaldamento sono:

- Impianti con aria immessa e aria aspirata: 0,10 m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> di superficie di riferimento energetico
- Impianto d'aspirazione con elementi dell'involucro di passaggio d'aria: 0,05 m<sup>3</sup>/h per m<sup>2</sup> di superficie di riferimento energetico

#### Fabbisogno di energia per la protezione dalla formazione di ghiaccio

Il fabbisogno di energia termica per la protezione dalla formazione di ghiaccio di un RC viene calcolato come segue:

$$E_{defr,th} = q_{v,n} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot f_{defr,th} \quad (9.16)$$

Il fabbisogno di energia elettrica per la protezione dalla formazione di ghiaccio di un RC viene calcolato come segue:

$$E_{defr,el} = q_{v,n} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot f_{defr,el} \quad (9.17)$$

Dove

- $q_{v,n}$  Flusso d'aria in esercizio normale in m<sup>3</sup>/h
- $f_{CTRL}$  Fattore per il controllo/regolazione secondo la tabella 9.11
- $f_{lk,v}$  Fattore per l'aumento del flusso d'aria dovuto alle perdite secondo il cap. 9.6
- $f_{defr,el}$  Fabbisogno di energia elettrica specifico per la protezione dalla formazione di ghiaccio secondo la tabella 9.7 in W/(m<sup>3</sup>/h)

Denominazione	Simbolo	Unità	Clima		
			Freddo <sup>1)</sup>	Medio <sup>2)</sup>	Caldo <sup>3)</sup>
Durata del periodo di riscaldamento	$t_h$	h/a	6552	5112	4392
Differenza di temperatura media tra interno ed esterno, meno aumento di temperatura per i guadagni termici	$\Delta T_h$	K	14,5	9,5	5,0

1) Clima europeo freddo, corrispondente al clima alpino a circa 1500 m s.l.m.  
 2) Clima europeo medio, corrispondente all'incirca all'Altopiano svizzero  
 3) Clima europeo caldo, corrisponde all'incirca al Ticino meridionale

Tabella 9.10: Valori standard per  $t_h$  e  $\Delta T_h$  secondo il Regolamento (UE) 1253/2014 [5].

Tipo di controllo/regolazione	Valori $f_{CTRL}$ per il controllo/regolazione di		
	Impianto per singolo appartamento <sup>1)</sup>	Apparecchio per singolo locale <sup>2)</sup>	Aria aspirata di bagno/WC <sup>3)</sup>
Nessuno (esercizio continuo)	1,00	1,00	1,00
Manuale	0,75	0,75	0,20
Regolazione in funzione del tempo	0,70	0,70	0,15
Regolazione in funzione del fabbisogno con sensore nell'aria aspirata	0,70	–	–
Regolazione in funzione del fabbisogno con sensore nella zona di transito	0,65	–	–
Regolazione in funzione del fabbisogno con sensore in tutti i locali dell'aria aspirata	0,60	–	0,10
Regolazione in funzione del fabbisogno con sensore in tutti i locali dell'aria immessa	0,50	0,50	–

1) Ventilazione meccanica controllata o impianto d'aspirazione con elementi dell'involucro di passaggio d'aria  
 2) Apparecchio con aria immessa e aria aspirata, collocato in un locale dell'aria immessa  
 3) Ventilatore singolo per un locale dell'ASP, calcolato come esercizio a 1 stadio (esponente  $x = 1$ )

Tabella 9.11: Valori  $f_{CTRL}$  per diversi impianti di ventilazione.



### Confronto tra i sistemi di ventilazione residenziale

Il confronto che segue comprende le tipologie fondamentali di sistemi di ventilazione residenziale trattate nei capitoli da 6 a 8. Oltre a un impianto ottimale, viene definito un impianto sfavorevole per ogni caso. Una descrizione approssimativa è riportata nella tabella 9.12. Ulteriori ipotesi e definizioni, nonché i risultati intermedi e finali del calcolo, sono riassunti nella tabella 9.13. A tale proposito vengono utilizzati valori di riferimento tipici degli apparecchi. Il confronto si basa sulle seguenti ipotesi:

- Clima medio secondo la tabella 9.10
- Appartamento di 4½ locali con 140 m<sup>2</sup> di superficie di riferimento energetico

- Bagno/WC senza finestra più doccia/WC senza finestra
- Riscaldamento con pompa di calore, coefficiente di lavoro annuo pari a 4,0

Il confronto mostra che una ventilazione meccanica controllata ottimale presenta il fabbisogno energetico annuo più basso. È inoltre evidente che per tutti i sistemi il fabbisogno energetico varia di un fattore da 2 a 3 tra un impianto ottimale e uno sfavorevole. Nel caso di un impianto sfavorevole, tutti i sistemi meccanici ottengono risultati significativamente

Var.	Descrizione
<b>A</b>	<b>Ventilazione tramite le finestre più ventilatori per l'aria aspirata</b>
	Ventilazione manuale tramite le finestre nelle camere e nel soggiorno. Il ricambio d'aria di 0,7 m <sup>3</sup> /h per m <sup>2</sup> di superficie di riferimento energetico corrisponde al valore standard della SIA 380/1. Ventilatori per l'aria aspirata in bagno/WC e doccia/WC, regolati in funzione del fabbisogno on/off.
<b>B</b>	<b>Ventilazione meccanica controllata, impianto per singolo appartamento</b>
B1	<b>Impianto ottimale</b> Distribuzione dell'aria secondo il principio «a cascata» (niente aria immessa nel soggiorno); RC con scambiatore entalpico; regolazione in funzione del fabbisogno con sensore nella zona di transito; collocazione dell'apparecchio secondo la tabella 6.2, variante A; perdita di carico media.
B2	<b>Impianto sfavorevole</b> Aria immessa in tutte le camere e nel soggiorno, RC senza recupero di umidità; protezione dalla formazione di ghiaccio del RC mediante preriscaldamento elettrico a regolazione continua; comando con interruttore manuale; collocazione dell'apparecchio secondo la tabella 6.2, variante C; elevata perdita di carico e filtri supplementari sui passaggi d'aria aspirata.
<b>C</b>	<b>Impianto d'aspirazione con elementi dell'involucro di passaggio d'aria</b>
C1	<b>Impianto ottimale</b> Elementi dell'involucro di passaggio d'aria in ogni camera (escluso il soggiorno); regolazione in funzione del fabbisogno con sensori di umidità in tutti i locali dell'aria aspirata; perdita di carico media.
C2	<b>Impianto sfavorevole</b> Elementi dell'involucro di passaggio d'aria in ogni camera e nel soggiorno; esercizio continuo monostadio; perdita di carico elevata.
<b>D</b>	<b>Apparecchi di ventilazione per singolo locale più ventilatori per l'aria aspirata</b>
D1	<b>Impianto ottimale</b> Apparecchio di ventilazione per singolo locale in ogni camera, incluso il soggiorno; RC con recupero di umidità, regolazione in funzione del fabbisogno per ogni locale; ventilatori per l'aria aspirata in bagno/WC e doccia/WC, regolati in funzione del fabbisogno on/off.
D2	<b>Impianto sfavorevole</b> Apparecchio di ventilazione per singolo locale in ogni camera, incluso il soggiorno; RC senza recupero di umidità, protezione dalla formazione di ghiaccio del RC tramite spegnimento degli apparecchi a -5 °C; accensione e spegnimento manuale di tutti gli apparecchi e dei ventilatori per l'aria aspirata nel bagno/WC e nella doccia/WC.

Tabella 9.12: Breve descrizione dei sistemi di ventilazione per il confronto dei sistemi.



Tabella 9.13: Confronto tra sistemi di ventilazione residenziale per un appartamento di 4½ locali. Per la descrizione dei sistemi vedi tabella 9.12.

Denominazione	Fonte	Simbolo	Unità	Variante						
				Vent. finestra	Ventilazione meccanica controllata		Imp. d'asp. con EIPA		Sing. loc. + vent. dell'aria aspirata	
					A	B1	B2	C1	C2	D1
<b>Dimensionamento dei flussi d'aria</b>										
Impianto principale: esercizio normale	6, 7, 8	$q_{v,n}$	m <sup>3</sup> /h	98	90	120	120	150	120	120
per ogni vent. dell'aria aspirata aggiuntivo	7	$q_{v,ASP}$	m <sup>3</sup> /h	50					50	30
<b>Apparecchio di ventilazione</b>										
Rapporto di temperatura	9.3	$\eta_{a,su}$			0,80	0,85			0,80	0,70
Perdite interne	9.6	$w$			0,01	0,04			0,05	0,08
Perdite esterne	9.6	$z$			0,02	0,05	0,03	0,03	0,05	0,08
Miscelazione interna	9.6	$y$							0,02	0,05
Miscelazione esterna	9.6	$o$							0,05	0,05
Fattore di perdita risultante	9.6	$f_{lk,res}$			1,00	0,98	1,00	1,00	0,95	0,89
Fattore di contaminazione del filtro	9.1	$f_{fc}$			1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2
Sensibilità del flusso d'aria	9.4	$v$			0,05	0,05	0,10	0,20	0,20	0,35
Fattore di disequilibrio	9.4	$f_{dis}$			0,99	0,99			0,92	0,85
Potenza specifica del ventilatore	9.2	$SPI$	W/(m <sup>3</sup> /h)		0,25	0,33	0,12	0,15	0,20	0,20
<b>Ventilatori dell'aria aspirata</b>										
Tempo di esercizio per ventilatore	7	$t_d$	h/d	2					2	12
Potenza specifica del ventilatore	9.2	$SPI$	W/(m <sup>3</sup> /h)	0,12					0,12	0,12
<b>Energia elettrica per il convogliamento dell'aria</b>										
Impianto principale	9.8	$E_{el,v,1}$	kWh/a	0	96	234	58	264	79	203
Ventilatore dell'aria aspirata	9.8	$E_{el,v,2}$	kWh/a	11	0	0	0	0	10	51
<b>Energia termica per l'impianto principale</b>										
Tempo di esercizio in inverno	9.8	$t_h$	h/a	5112	5112	5112	5112	5112	4260	0
Lunghezza delle condotte isolate	9.7	$L$	m		1,5	13,5				
Diametro interno	9.7	$d_i$	mm		125	160				
Fattore per le perdite di distribuzione	9.7	$f_{ls}$			0,98	0,91				
Energia termica per l'impianto principale	9.8	$E_{th,v,1}$	kWh/a	1552	222	387	1215	2653	300	0
<b>Esercizio misto con il ventilatore dell'aria aspirata</b>										
Fattore di disequilibrio	9.4	$f_{dis,2}$							0,62	0,70
Energia termica per l'esercizio misto	9.8	$E_{th,v,2}$	kWh/a						177	2994
Ventilazione libera, in funzione della SRE		$q_{nat}$	(m <sup>3</sup> /h)/m <sup>2</sup>		0,10	0,10	0,05	0,05	0,09	0,03
Energia termica per la ventilazione libera	9.8	$E_{th,v,nat}$	kWh/a		222	222	111	111	203	55
<b>Protezione dalla formazione di ghiaccio del RC</b>										
Energia elettrica	9.8	$E_{derf,el}$	kWh/a		0	55			0	0
Energia termica	9.8	$E_{derf,th}$	kWh/a		0	-11			0	115
<b>Fabbisogno energetico totale</b>										
Energia elettrica per la vent. in estate		$E_{el,v,So}$	kWh/a	5	40	98	24	110	37	106
Energia elettrica per la vent. in inverno		$E_{el,v,Wi}$	kWh/a	7	56	192	34	154	52	149
Energia termica per la ventilazione		$E_{th,v,tot}$	kWh/a	1552	444	598	1326	2764	680	3164
Fabbisogno di energia elettrica per la pompa di calore		$E_{el,PdC}$	kWh/a	388	111	150	332	6691	170	791
<b>Energia elettrica per la vent. e la PdC</b>		$E_{el,tot}$	<b>kWh/a</b>	<b>399</b>	<b>207</b>	<b>439</b>	<b>390</b>	<b>955</b>	<b>259</b>	<b>1046</b>

peggiori rispetto a una ventilazione tramite le finestre.

La figura 9.5 mostra lo stesso confronto tra i sistemi, dove però non viene confrontato il consumo assoluto di energia, ma il consumo specifico per m<sup>2</sup> di superficie di riferimento energetico. Questi valori possono approssimativamente venire applicati anche ad altre dimensioni di appartamento e a case monofamiliari.

La figura 9.6 mostra il fabbisogno di potenza specifico degli stessi sistemi di ventilazione in condizioni di dimensionamento. In tal caso valgono le seguenti ipotesi:

- Temperatura esterna pari a -10°C
- Temperatura interna pari a + 20°C
- Coefficiente di prestazione della pompa di calore: 3,0

Figura 9.5: Fabbisogno annuo specifico di energia elettrica (relativo alla SRE) per vari sistemi di ventilazione nell'Altopiano svizzero, riscaldamento con pompa di calore (CLA 4.0); per le condizioni quadro vedi testo. ■ Ventilazione libera ■ Riscaldamento dell'aria immessa ■ Protezione dalla formazione di ghiaccio ■ Convogliamento dell'aria in inverno ■ Convogliamento dell'aria in estate

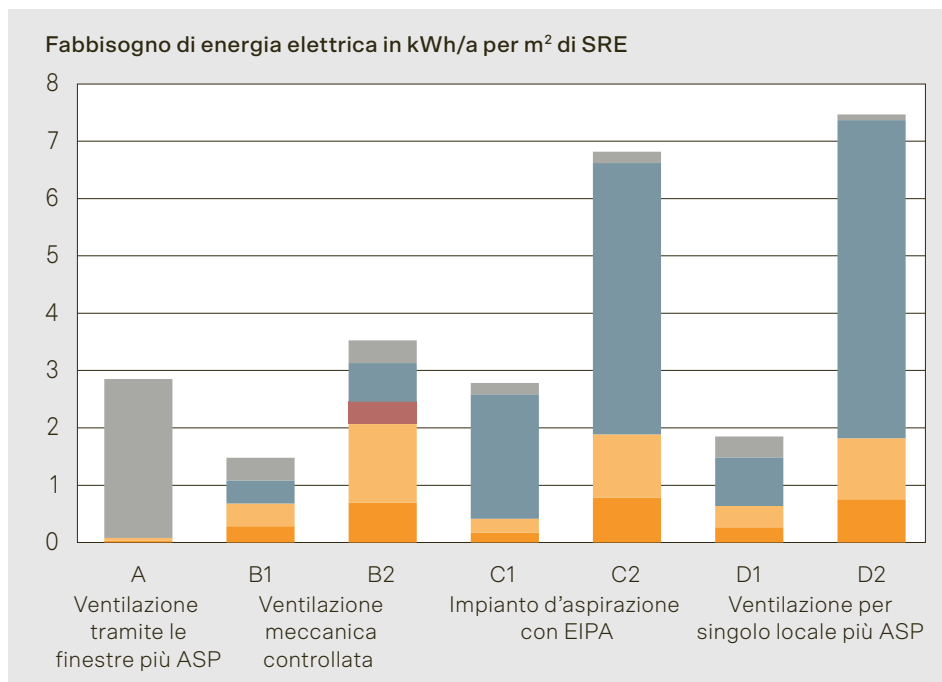
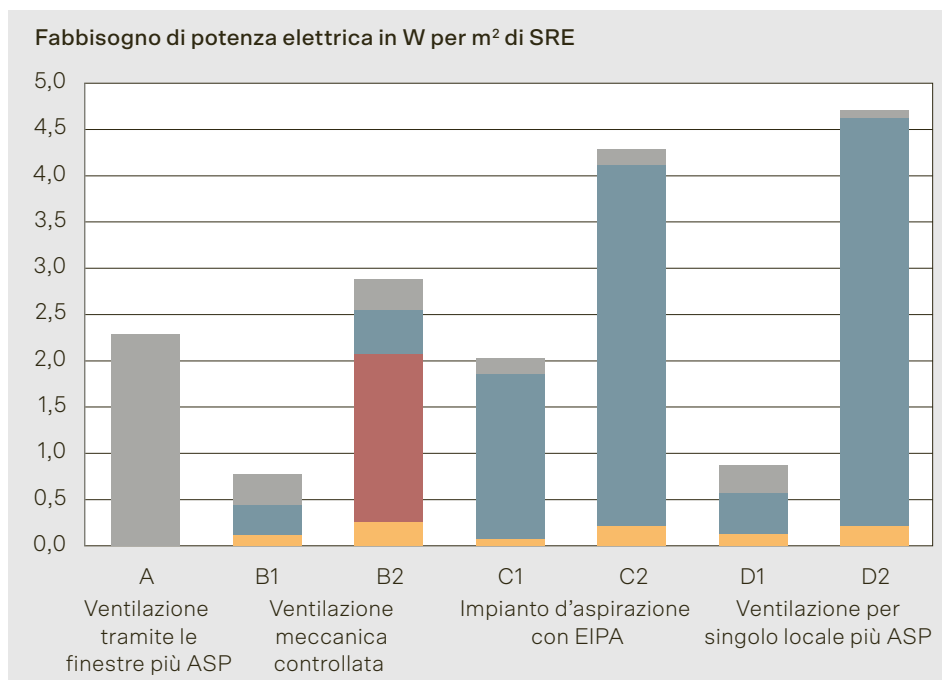


Figura 9.6: Fabbisogno specifico di potenza elettrica (relativa alla SRE) per diversi sistemi di ventilazione a -10°C di temperatura esterna, riscaldamento con pompa di calore (coefficiente di prestazione, COP, 3,0). ■ Ventilazione libera ■ Riscaldamento dell'aria immessa ■ Protezione dalla formazione di ghiaccio ■ Convogliamento dell'aria



Poiché la potenza elettrica di picco assume un'importanza sempre maggiore in termini di politica energetica, questo confronto è interessante almeno quanto quello del fabbisogno energetico annuale. In questo caso, la differenza tra una ventilazione meccanica controllata ottimale e una sfavorevole diventa ancora più marcata. In particolare, la protezione dalla formazione di ghiaccio per il RC con il preriscaldamento elettrico ha un forte impatto.

I risultati del confronto dipendono in modo significativo dal coefficiente di lavoro ipotizzato per la pompa di calore. La tabella 9.14 mostra quanto dovrebbe essere alto il coefficiente di lavoro della pompa di calore affinché un sistema di ventilazione meccanica residenziale abbia le stesse prestazioni della variante A con ventilazione tramite le finestre in termini di fabbisogno di energia e di potenza durante la stagione di riscaldamento. Ciò è il caso se l'impianto viene gestito in modo energeticamente efficiente, cioè se viene spento in estate o acceso solo per un breve periodo (indipendentemente dalle problematiche legate al comfort e all'umidità).

La tabella 9.14 mostra i punti di forza di una ventilazione meccanica controllata concepita in modo ottimale: in termini energetici ottiene risultati migliori rispetto alle migliori pompe di calore disponibili. Quanto più basse sono le temperature esterne, tanto più alto è il vantaggio. Tuttavia, si può anche notare che una ventilazione meccanica controllata sfavorevole risulta già modesta rispetto all'attuale tecnologia delle pompe di calore.

Interessanti dal punto di vista energetico sono anche apparecchi di ventilazione per singolo locale ottimali dotati di scambiatori entalpici. Impianti sfavorevoli con tali apparecchi, invece, ottengono risultati scarsi. Nel bilancio energetico annuale, l'esercizio continuo dei ventilatori dell'aria aspirata ha un peso preponderante. A basse temperature esterne, ciò è dovuto alla protezione dalla formazione di ghiaccio. In questo confronto tra i sistemi, tuttavia, è importante tenere presente che tutti i sistemi meccanici migliorano il comfort rispetto alla ventilazione manuale tramite le finestre, anche al di fuori della stagione di riscaldamento.

## 9.9 Eco-Design e classificazione energetica

I regolamenti europei in materia di Eco-Design [5] [7] richiedono che gli apparecchi di ventilazione residenziale siano dotati di un'etichetta energetica (figura 9.7). Tale requisito è stato adottato nell'Ordinanza svizzera sull'efficienza energetica (OEEne) [8]. Inoltre, sia le disposizioni svizzere che quelle europee richiedono un'adeguata informazione sul prodotto.

Il fornitore deve rendere accessibili al pubblico l'etichetta energetica e le informazioni sul prodotto su internet. Tuttavia, ciò vale solo per apparecchi con un flusso d'aria nominale massimo di 250 m<sup>3</sup>/h. Nella lingua ufficiale, e quindi anche nella dichiarazione obbligatoria, questi apparecchi vengono definiti «unità di ventilazione residenziale».

Tabella 9.14: Coefficiente di lavoro di una pompa di calore necessario nella stagione di riscaldamento per ottenere lo stesso fabbisogno di energia e potenza con sistemi di ventilazione come con una ventilazione tramite le finestre.

Caso	Coefficiente di lavoro di una pompa di calore necessario per un fabbisogno di energia o potenza pari a quello della variante A di ventilazione tramite le finestre					
	Ventilazione meccanica controllata		Impianto d'aspirazione con elementi dell'involucro di passaggio d'aria		Apparecchio di ventilazione per singolo locale più ventilatori dell'aria aspirata	
	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Valore medio durante la stagione di riscaldamento	22	5,2	8,3	< 0	11	< 0
A -10 °C di temperatura esterna	65	2,2	23	< 0	72	< 0

Per gli apparecchi con un flusso d'aria compreso tra 250 e 1000 m<sup>3</sup>/h, i fornitori sono liberi di dichiarare l'apparecchio come unità di ventilazione residenziale o non residenziale. Gli apparecchi con un flusso d'aria superiore a 1000 m<sup>3</sup>/h devono sempre essere dichiarati come unità di ventilazione non residenziale.

La designazione ufficiale di un prodotto come «unità di ventilazione residenziale» o «unità di ventilazione non residenziale» non dipende quindi dal luogo d'impiego. Ciò che è decisivo è il flusso d'aria, e per la classe da 250 a 1000 m<sup>3</sup>/h la designazione è semplicemente a discrezione dei fornitori. Ciò significa, ad esempio, che: Nel caso di impianti per più appartamenti, è possibile impiegare anche unità di ventilazione non residenziale, oppure, in piccoli uffici, unità di ventilazione residenziale.

L'efficienza energetica, il cosiddetto SEC (Seasonal Energy Consumption), è intesa come il consumo aggiuntivo rispetto alla ventilazione tramite le finestre. Per gli apparecchi con RC, il SEC è quindi negativo. Apparecchi moderni con RC raggiungono solitamente la classe A o A+. Apparecchi per la sola aria aspirata con regolazione in funzione del

fabbisogno raggiungono di solito la classe B o C.

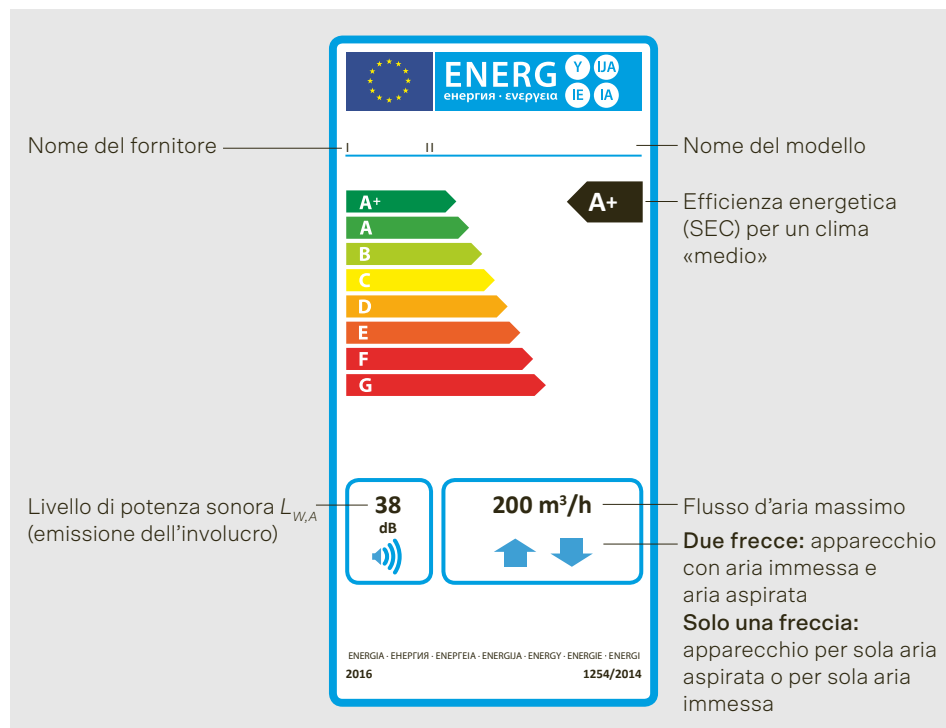


Figura 9.7: Etichetta energetica per gli apparecchi di ventilazione residenziale, stato 2021. (Fonte: Regolamento delegato (UE) 1254/2104 [7])

Il modello di calcolo per la valutazione dell'efficienza energetica è paragonabile alla procedura del capitolo 9.8. Tuttavia, vi sono delle differenze, in particolare per quanto riguarda il dispendio energetico per la protezione dalla formazione di ghiaccio del RC. Questo è stato eccessivamente semplificato nell'etichetta energetica. Ciò può portare un apparecchio con una protezione dalla formazione di ghiaccio energeticamente discutibile a raggiungere comunque la classe A+.

Al momento della stampa, i requisiti di Eco-Design per le unità di ventilazione residenziale erano in fase di revisione. A tale proposito, erano previste le seguenti modifiche principali:

- Nel calcolo dell'efficienza energetica dovranno essere prese in considerazione le perdite e la sensibilità del flusso d'aria.
- È previsto un bonus per il recupero di umidità.
- La protezione dalla formazione di ghiaccio del RC dovrà essere considerata in modo differenziato.
- Il controllo/regolazione dovrà essere considerato in modo differenziato.
- In futuro, la migliore classe energetica sarà A (invece di A+).

## 9.10 Note sugli apparecchi multifunzionali

Gli apparecchi multifunzionali sono dotati di una pompa di calore che sfrutta il calore dell'aria aspirata. Ciò può avvenire al posto di un RC o in aggiunta ad esso. A seconda del tipo di costruzione, il calore generato dalla pompa di calore viene utilizzato per produrre acqua calda, riscaldare l'aria immessa e/o di appoggio al riscaldamento. In alcuni apparecchi, la pompa di calore può operare in modo reversibile, consentendo di raffreddare l'aria immessa o un sistema con distribuzione ad acqua.

Se un dispositivo multifunzionale abbia o meno senso dal punto di vista energetico, la risposta deve essere data nell'ambito del concetto energetico. Ad esempio, una pompa di calore sull'aria aspirata

con un coefficiente di lavoro di appena 3 ha poco senso se l'edificio dispone di una pompa di calore con sonde geotermiche in grado di fornire lo stesso calore con un coefficiente di lavoro pari a 4. Se si prevede un leggero raffreddamento, una pompa di calore reversibile sull'aria aspirata può eventualmente rappresentare un'alternativa economica ed efficiente dal punto di vista energetico rispetto a un climatizzatore split. Nel caso d'impiego di apparecchi multifunzionali in edifici residenziali, occorre considerare i seguenti punti:

- Sbrinamento: una pompa di calore sull'aria aspirata può ghiacciarsi e deve quindi essere dotata di una funzione di sbrinamento. Durante la fase di sbrinamento, il rapporto della massa di flusso tra aria immessa e aria aspirata non deve essere modificato. Lo spegnimento del ventilatore dell'aria immessa creerebbe una sottopressione inaccettabile in edifici ermetici.
- Definizione dei dati di prestazione: La potenza termica e il coefficiente di lavoro degli apparecchi multifunzionali possono essere definiti in diversi modi. Alcuni fornitori considerano gli apparecchi come una scatola nera e includono anche la potenza termica del RC nel coefficiente di lavoro. Tuttavia, esistono anche definizioni in cui i dati di prestazione del RC e della pompa di calore sono indicati separatamente. Per i calcoli del fabbisogno energetico e le verifiche secondo gli standard e le prescrizioni svizzere, è necessaria la seconda variante. Le varie definizioni e le relative procedure di prova sono contenute nella norma EN 16573 [9].

## 9.11 Letteratura

- [1] ISO 16890-1:2016 Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungssystem basierend auf Feinstaub
- [2] EN 779:2012 Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik – Bestimmung der Filterleistung

- [3] EN 13142:2021 Lüftung von Gebäuden – Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen – Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen
- [4] Huber, Heinrich; Liniger, Michael: Standardlüftungssysteme, Berechnungs- und Nachweisverfahren für Standardlüftungssysteme in Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2018. (sviluppati su mandato di SvizzeraEnergia, UFE, Berna)
- [5] Regolamento (UE) N. 1253/2014 della commissione del 7 luglio 2014, recante attuazione della direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda le specifiche per la progettazione ecocompatibile delle unità di ventilazione
- [6] Aiuto all'esecuzione EN-105 Impianti di ventilazione, Edizione dicembre 2018. Download via [www.endk.ch](http://www.endk.ch) → Esperti → Aiuti all'esecuzione
- [7] Regolamento delegato (UE) N. 1254/2014 della commissione dell'11 luglio 2014 che integra la direttiva 2010/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda l'etichettatura indicante il consumo di energia delle unità di ventilazione residenziali
- [8] Ordinanza svizzera concernente le esigenze per l'efficienza energetica di impianti, veicoli e apparecchi prodotti in serie (Ordinanza sull'efficienza energetica, OEEne) del 1° novembre 2017 (Stato 1° gennaio 2022). RS 730.02. Download via <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/765/it>
- [9] EN 16573:2017 Lüftung von Gebäuden – Leistungsprüfung von Bauteilen für Wohnbauten – Multifunktionale Zu-/Abluft-Lüftungseinheiten für Einzelwohnungen, einschliesslich Wärmepumpen
- [10] Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) (Hrsg.): VDI-Wärmeatlas. 12., bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer, Berlin u. a., 2019

## Utilizzi e impianti speciali

### 10.1 Ventilazione della zona di cottura

La ventilazione della zona di cottura è un elemento del concetto di ventilazione. L'obiettivo è quello di raccogliere e neutralizzare i vapori di cottura nel modo più diretto e completo possibile.

La SIA 382/5 richiede una ventilazione intensiva che può essere attivata e disattivata dall'utente. La scheda tecnica «Ventilazione del piano di cottura» di SvizzeraEnergia [1] fornisce una panoramica sulle forme di costruzione di cappe d'aspirazione, sulle tecniche di filtrazione, sui dispositivi per l'aria di compensazione, sulle etichette energetiche e sulla letteratura di approfondimento.

#### Cappa d'aspirazione ad aria di ricircolo

Come illustrato nella figura 10.1, le cappe d'aspirazione ad aria di ricircolo (in breve cappe a ricircolo) aspirano i vapori di cottura, separano le particelle di grasso nel filtro antigrasso e trattengono gli odori nel filtro antiodore. In seguito, reimmettono l'aria purificata nella cucina. Come filtri antiodore, vengono utilizzati filtri a carbone attivo, concepiti come prodotti monouso o come elementi rigenerabili. A seconda del prodotto, l'intervallo di manutenzione varia da pochi mesi a diversi anni, con una frequenza tipica di

tre-sei mesi. Nel caso dei filtri rigenerabili, l'effetto diminuisce nel tempo, cosicché devono essere sostituiti ogni tre anni circa. Inoltre, sono disponibili cappe con filtri al plasma e filtri a ionizzazione, di solito combinati con un filtro a carbone attivo. Anche i filtri al plasma e a ionizzazione richiedono manutenzione e devono essere sostituiti dopo tre-cinque anni. Poiché gli odori non possono essere completamente filtrati, le cappe ad aria di ricircolo impediscono la diffusione degli odori in misura minore rispetto alle cappe ad aria espulsa (vedi sotto). Pertanto, in caso di esigenze elevate, è necessario chiarire se gli utenti accettano una cappa ad aria di ricircolo.

#### Cappa d'aspirazione ad aria espulsa

La cappa d'aspirazione ad aria espulsa (in breve cappa ad espulsione) cattura i vapori di cottura e li conduce direttamente verso l'esterno. In linea di princi-

#### Attenzione umidità!

Le cappe d'aspirazione ad aria di ricircolo non rimuovono l'umidità. Pertanto, esse devono essere impiegate solo in combinazione con una ventilazione residenziale meccanica che rimuove l'umidità durante tutto l'anno. Le cappe d'aspirazione a ricircolo non sono consigliate nel caso di fornelli a gas.

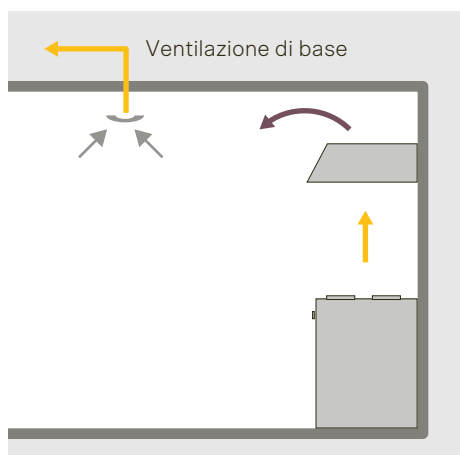


Figura 10.1: Cappa d'aspirazione ad aria di ricircolo combinata con una ventilazione di base.

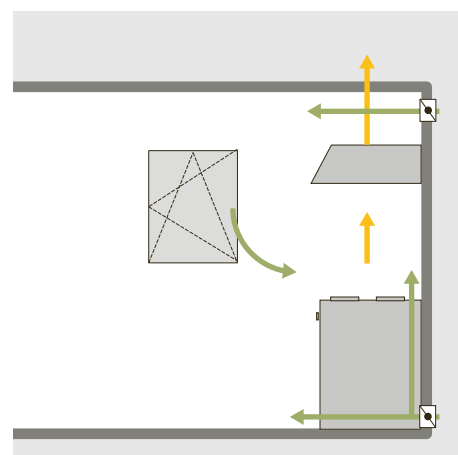


Figura 10.2: Cappa d'aspirazione ad aria espulsa-con varianti per l'afflusso d'aria di compensazione (schema).

pio, l'aria espulsa dovrebbe essere convogliata a tetto. Eccezioni, ad esempio con aria espulsa in facciata, possono essere tollerate solo se nessuno viene disturbato dagli odori. Nella condotta dell'aria espulsa viene sempre installata una clappa di ritegno. Tuttavia, un passaggio d'aria espulsa può indebolire l'ermeticità dell'involucro dell'edificio e inoltre formare un ponte termico. Per risolvere questo problema, sono disponibili passaggi d'aria espulsa ermetici all'aria e isolati termicamente.

L'aria di compensazione deve essere fornita in modo da non creare una sottopressione inammissibile nell'appartamento. Indicazioni sulle abitazioni con focolare sono riportate nel capitolo 10.2. Per le abitazioni senza focolare, si raccomanda di dimensionare il flusso d'aria di compensazione a una sottopressione massima di 12 Pa. Negli edifici a elevato rischio di radon, tuttavia, occorre evitare la sottopressione. La figura 10.2 indica diverse varianti, che vengono trattate nei seguenti capitoli.

#### Afflusso dell'aria di compensazione attraverso elementi dell'involucro di passaggio d'aria o cassette a muro

Nel caso di cappe ad aria espulsa, per le aperture dell'aria di compensazione è

#### Esempio di calcolo 10.1: Aria aspirata dalla cucina, protezione dal rumore e fisica della costruzione

In una cucina è prevista l'installazione di una cappa ad espulsione con un flusso d'aria di 600 m<sup>3</sup>/h – come influisce un EIPA sulla protezione dal rumore e sulla fisica della costruzione?

Per garantire che la perdita di carico della griglia di protezione dalle intemperie non superi i circa 12 Pa richiesti con un tale flusso d'aria (senza ulteriori componenti dell'afflusso d'aria di compensazione), secondo il capitolo 7.2 occorre impiegare in parallelo due griglie di protezione dalle intemperie rotonde con un diametro nominale di 250 mm ciascuna (sezione libera del 70 %, valore Zeta 4,0 riferito alla sezione libera). Tuttavia, sezioni trasversali così grandi indebolirebbero in modo inammissibile la protezione dal rumore dell'involucro dell'edificio e sarebbero problematiche anche dal punto di vista della fisica della costruzione (ponti termici, ermeticità all'aria).

possibile utilizzare speciali cassette a muro, oltre ai classici componenti di ventilazione. Il dimensionamento avviene fondamentalmente allo stesso modo come per gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria, secondo il capitolo 7.2. L'esempio di calcolo 10.1 mostra che classici elementi dell'involucro di passaggio d'aria e componenti di ventilazione sono adatti al massimo per l'alimentazione dell'aria di compensazione di piccole cappe ad aria espulsa (fino a circa 300 m<sup>3</sup>/h), se si vuole evitare di eccedere la sottopressione consentita di 12 Pa. Nel caso di cappe d'aspirazione di dimensioni maggiori, gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria richiesti indeboliscono eccessivamente il fonoisolamento e creano ponti termici indesiderati. Eventualmente, si possono prendere in considerazione componenti speciali dei fornitori di cappe ad aria espulsa. Quando la cappa d'aspirazione è spenta, gli elementi di compensazione devono essere chiusi con clappe automatiche, le quali, secondo la SIA 382/5, punto 5.3.2.13, devono soddisfare i seguenti requisiti:

$$q_{v,l} \leq 10,46 \cdot A_f \cdot \Delta p^{0,57} \quad (10.1)$$

Dove

$q_{v,l}$  Flusso d'aria di perdita a clappa chiusa in m<sup>3</sup>/h

$A_f$  Superficie di flusso incidente dell'elemento di compensazione in m<sup>2</sup>

$\Delta p$  pressione differenziale sull'elemento di compensazione in Pa

#### Compensazione attraverso finestre aperte

Il dispositivo di compensazione più semplice ed economico è la finestra della cucina. È tuttavia necessario disporre di una finestra che possa essere aperta anche in caso di vento e pioggia, ad esempio sotto un balcone.

L'ampiezza di apertura minima necessaria di una finestra a battente o a bilico può essere stimata con:

$$s \geq 0,03 \cdot \frac{q_v}{b+h} \cdot \Delta p_{lim}^{-0,5} \quad (10.2)$$



Dove

- $s$  Ampiezza di apertura minima necessaria dell'anta della finestra in cm
- $q_v$  flusso d'aria della cappa ad espulsione in  $\text{m}^3/\text{h}$
- $b$  larghezza dell'anta della finestra in m
- $h$  altezza dell'anta della finestra in m
- $\Delta p_{lim}$  sottopressione consentita nell'abitazione in Pa

Dall'esempio di calcolo 10.3 si può concludere che l'anta di una finestra a ribalta è adatta come apertura di compensazione anche per le cappe ad espulsione di grandi dimensioni. La questione è se la compensazione influisce sul comfort termico.

Quando la cappa ad espulsione è in funzione, in cucina vi è tipicamente un eccesso di calore. Inoltre, le persone sono spesso attive e distratte e la situazione dura solo per un breve periodo. In generale, si può ipotizzare che, fino a un flusso d'aria di  $500 \text{ m}^3/\text{h}$ , non dovrebbero esserci problemi di correnti d'aria. Tuttavia, vale: quanto minore è il flusso d'aria di una cappa, tanto minore è il rischio che si generi un problema di comfort.

Nella vita quotidiana, occorre ipotizzare che gli utenti dimentichino occasionalmente di aprire la finestra quando cucinano. Per questo motivo, la cappa ad espulsione viene spesso monitorata con un interruttore di contatto sulla finestra. Un'altra variante, sebbene più costosa, è quella di dotare un'anta della finestra di un azionamento automatico.

#### Collegamento della cappa d'aspirazione alla ventilazione meccanica controllata

Da decenni in Scandinavia, le cappe d'aspirazione vengono collegate alla ventilazione meccanica controllata. Tuttavia, vengono impiegate solo piccole cappe d'aspirazione con un flusso d'aria da 100 a  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  al massimo, che vantano un'ottima efficienza di aspirazione. Secondo la direttiva antincendio AICAA 25-15 [3], cifra 4.2.2, in Svizzera, questa

soluzione è consentita. A tal fine, una serranda di chiusura collaudata deve spegnere la cappa d'aspirazione se la temperatura dell'aria aspirata della cucina sale oltre gli  $85^\circ\text{C}$ . La regolazione della cappa ad aria aspirata, dell'apparecchio di ventilazione e delle serrande deve venire necessariamente coordinata. Affinché la ventilazione meccanica controllata non debba venire assurdamente sovradimensionata, il flusso d'aria della cappa d'aspirazione non deve superare i  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Durante l'esercizio di cottura, l'apparecchio di ventilazione opera con un flusso d'aria da  $300$  a  $400 \text{ m}^3/\text{h}$ . Nei locali con aria aspirata, il flusso d'aria aspirata può venire ridotto di un massimo del 70%. In corrispondenza dei passaggi d'aria di transito potrebbero manifestarsi perdite di pressione e velocità elevate e l'impianto potrebbe provocare un forte rumore, particolarmente fastidioso nelle camere. Per ovviare a questi problemi, è possibile impiegare una clappa di commutazione sul lato dell'aria immessa, la quale, durante l'esercizio di cottura fornisce gran parte dell'aria immessa direttamente alla cucina o alla zona di transito.

#### Esempio di calcolo 10.2: Flusso d'aria di perdita di un elemento di compensazione per cappe ad espulsione

Un elemento di compensazione ha una superficie di flusso incidente di  $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$  ( $0,04 \text{ m}^2$ ). Cercato è il flusso d'aria di perdita massimo ammissibile a una pressione differenziale di  $5 \text{ Pa}$ . Secondo la formula 10.1 esso ammonta a:

$$q_{v,l} \leq 10,46 \cdot 0,04 \text{ m}^2 \cdot (5 \text{ Pa})^{0,57} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

#### Esempio di calcolo 10.3: Ampiezza di apertura necessaria di una finestra per cappe ad espulsione

Una cappa ad espulsione convoglia  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ . Come apertura dell'aria di compensazione, un'anta a ribalta di  $1,2 \text{ m}$  di altezza e  $0,6 \text{ m}$  di larghezza viene aperta. Poiché è presente un focolare dipendente dall'aria interna, la sottopressione non deve superare i  $4 \text{ Pa}$ . Quanto deve essere ampia l'apertura dell'anta della finestra? Secondo la formula 10.2, l'ampiezza di apertura necessaria ammonta a:

$$s \geq 0,03 \cdot \frac{600}{1,2 + 0,6} \cdot 4^{-0,5} = 5,0 \text{ cm}$$

Se con questo concetto l'apparecchio di ventilazione si sporchi notevolmente è oggetto di discussioni controverse. Secondo le fonti scandinave non sono noti problemi particolari. Anche la maggior parte dei costruttori e gestori di impianti svizzeri non è a conoscenza di un imbrattamento fuori dalla norma. Tuttavia, vi sono singoli casi in cui sono stati segnalati depositi di grasso. Per prevenire questo rischio, la SIA 382/5 richiede un'efficienza di separazione del grasso della cappa GFEhood di almeno classe B secondo il Regolamento delegato (UE) n. 65/2014 [5].

#### Cosa succede se la compensazione viene dimenticata?

Se le finestre rimangono chiuse e non ci sono altri dispositivi di compensazione, negli appartamenti con cappe ad espulsione si sviluppano sottopressioni da pochi a qualche decina di Pascal. I valori di picco osservati si aggirano intorno ai 200 Pa. Sottopressioni di 50 Pa o più possono causare elevate forze di apertura su porte e finestre (eventualmente un rischio per la sicurezza) e influire negativamente sugli impianti di ventilazione meccanica. A seconda dell'ermeticità interna, a partire da una sottopressione di circa 10 Pa è possibile inoltre la trasmissione degli odori tra gli appartamenti.

Tabella 10.1:  
Confronto qualitativo tra le varianti di ventilazione del piano cottura.  
+ Comparativamente buono;  
∅ Nessun vantaggio o Svantaggio particolare;  
- Comparativamente sfavorevole

#### Cappa combinata ad aria di ricircolo/ ad aria espulsa

Esistono sul mercato cappe d'aspirazione che in esercizio alternano tra la modalità ad aria di ricircolo e quella ad aria espulsa. In questo modo vengono combinati i vantaggi di entrambe le varianti.

#### Ventilazione intensiva tramite le finestre

Secondo la SIA 382/5, è possibile rinunciare alla cappa d'aspirazione solo se la cucina può essere separata da una porta dal resto dell'appartamento, compreso il corridoio, e le emissioni della zona di cottura possono essere efficacemente rimosse da una ventilazione tramite le finestre. Inoltre, alcuni regolamenti edilizi cantonali e comunali stabiliscono l'impiego o l'eventuale rinuncia a una cappa d'aspirazione.

#### Confronto tra varianti di ventilazioni della zona di cottura

La tabella 10.1 mette a confronto quattro varianti di ventilazione della zona di cottura. I criteri di energia e umidità interna vengono discussi nella seguente sezione.

#### Energia e umidità

Nel caso di cappe a ricircolo, il calore e l'umidità del processo di cottura rimangono nell'appartamento, mentre nel caso di cappe ad espulsione, entrambi vengo-

Criterio	Cappa d'aspirazione ad aria di ricircolo	Cappa d'aspirazione ad aria espulsa	Connessione alla ventilazione meccanica controllata	Ventilazione intensiva tramite le finestre
Rimozione degli odori di cottura	∅	+	+	-
Mantenimento dell'ermeticità dell'involucro dell'edificio	+	-	+	+
Rischio di sottopressione	+	-	∅	+
Rischio di corrente d'aria	∅ fino a + <sup>1)</sup>	- fino a ∅ <sup>2)</sup>	+	-
Semplicità di implementazione	+	∅	-	+
Aria di compensazione filtrata (ad esempio per le persone allergiche ai pollini)	∅ fino a + <sup>3)</sup>	-	+	-
Fonoisolamento	∅	+	- fino a + <sup>4)</sup>	- fino a + <sup>5)</sup>
Sostituzione dei filtri	-	∅	∅	+
Investimento	∅	-	-	+

1) Dipende da come è ricondotta l'aria di ricircolo

2) Dipende dal flusso d'aria di compensazione

3) Dipende dal sistema di ventilazione residenziale

4) Livello sonoro basso in cucina, ma livello sonoro elevato nelle camere quando si cucina

5) A seconda del rumore esterno

no in gran parte rimossi. Per questo motivo, le due varianti principali, cappa a ricircolo e cappa ad espulsione, devono venire considerate per quanto concerne la protezione termica estiva, la protezione contro l'umidità e la valutazione dell'umidità dell'aria interna minima. Tuttavia, poiché le norme non forniscono valori standard per questo aspetto, è possibile solo una valutazione qualitativa.

Spesso si sostiene che con le cappe ad espulsione viene disperso molto calore. Tuttavia, una cappa con una buona efficienza d'estrazione richiede una portata d'aria massima di 400 m<sup>3</sup>/h. Con 20 minuti di esercizio a pieno carico al giorno, ciò comporta perdite termiche per ventilazione nell'Altopiano svizzero comprese tra 150 e 200 kWh. Ciò corrisponde al 2–3% del fabbisogno termico per il riscaldamento di un nuovo edificio residenziale. Per una casa con riscaldamento a pompa di calore, si tratta di circa 50 kWh di elettricità all'anno.

Il consumo annuo di elettricità per il ventilatore e l'illuminazione può essere stimato approssimativamente in base all'etichetta energetica. Per la classe energetica A+ è di circa 20 kWh, per la classe energetica D è di circa 100 kWh. Un'ulteriore indicazione utile sull'etichetta energetica è la classificazione del grado di separazione dei grassi.

## 10.2 Focolari nelle abitazioni

Un focolare è indipendente dall'aria interna solo se:

- l'aria di combustione viene alimentata esclusivamente tramite una condotta proveniente direttamente dall'esterno e
- nel locale di installazione non possono fuoriuscire quantitativi pericolosi di gas di scarico.

I focolari indipendenti dall'aria interna devono disporre di un certificato di test rilasciato da un centro di test riconosciuto. In assenza di tale certificato, sono considerati dipendenti dall'aria interna. Da stufe a legna e a pellet, nel caso di sottopressione, possono fluire nel locale gas di combustione, in particolare il tos-

sico monossido di carbonio (CO). Le potenziali perdite avvengono attraverso lo sportello della camera di combustione, lo sportello del contenitore della cenere, le aperture di pulizia e la canna fumaria. La sola alimentazione separata dell'aria di combustione non rende queste stufe indipendenti dall'aria interna. Ciononostante, condotte per l'aria di combustione sono sempre utili, a condizione che siano dimensionate correttamente dai costruttori e dai fornitori di stufe.

Installazioni di ventilazione di qualsiasi tipo (cappe d'aspirazione della cucina, impianti d'aspirazione semplice, aspirapolveri centralizzati, ecc.) non devono provocare una sottopressione che interferisca con il funzionamento del focolare. La tabella 10.2 indica le sottopressioni ammesse per i focolari dipendenti e per quelli indipendenti dall'aria interna.

Una sottopressione inammissibile deve essere evitata mediante regolazione e/o monitoraggio. Le misure possibili sono:

- Blocco delle installazioni d'aspirazione tramite interruttori di contatto a finestra
- Interruttori di questo tipo si trovano spesso sotto la denominazione di «contatto reed»
- Installazioni di compensazione che si aprono e si chiudono con azionamenti elettrici (ad es. azionamenti per finestre)
- Cappa d'aspirazione con monitoraggio integrato della pressione
- Monitoraggio della sottopressione sul focolare
- Nel caso di ventilazioni meccaniche controllate: apparecchi con regolazione del flusso d'aria costante e monitoraggio integrato dei malfunzionamenti

Tabella 10.2: Sottopressione consentita nel caso di focolari.

Tipo di focolare	Sottopressione massima consentita nel locale
Dipendente dall'aria interna (tutti i caminetti, le stufe a legna e a pellet senza certificato di test, anche con condotta dell'aria di combustione)	4 Pa
Indipendente dall'aria interna (solo unità con certificato di test)	circa 10 Pa <sup>1)</sup>

1) Il valore esatto è riportato nel certificato di test.

Se nell'abitazione è presente un focolare, non è consentito impiegare un apparecchio di ventilazione che, per la protezione dalla formazione di ghiaccio del RC, riduce il flusso d'aria immessa o addirittura spegne il ventilatore dell'aria immessa (vedi anche il capitolo 9.5).

### 10.3 Condizionamento degli scantinati

La scheda tecnica «Condizionamento degli scantinati in edifici residenziali» di SvizzeraEnergia [3] presenta con chiarezza il problema e le possibili soluzioni. Fornisce inoltre riferimenti a ulteriore letteratura. Nel presente capitolo, vengono ripresi le basi e i dati dalla scheda tecnica.

Oggigiorno gli scantinati vengono utilizzati come ripostiglio, ad esempio per mobili, libri, ecc. e come locali hobby. Occorre quindi evitare un'elevata umidità dell'aria interna e la formazione di muffe. Negli scantinati il problema si manifesta soprattutto in estate. L'elevata umidità assoluta dell'aria esterna porta a un'umidità relativa molto elevata sulle pareti degli scantinati, aumentando il rischio di formazione di muffe.

#### Scantinato completamente isolato termicamente

In edifici nuovi con pareti e pavimenti dello scantinato completamente isolati termicamente, non vi è un rischio significativo di formazione di muffe. Dal punto di vista delle norme e delle prescrizioni energetiche, questi locali sono considerati riscaldati, anche se non viene installata alcuna emissione di calore. In tali

scantinati la temperatura interna non scende quasi mai al di sotto dei 20 °C, anche in inverno.

Tuttavia, a causa degli odori emessi dai materiali e del carico di umidità (lavanderia), questi locali dovrebbero essere ventilati attivamente. Poiché i tempi di utilizzo sono brevi e diversi da quelli degli appartamenti, è sensato ventilare i locali dello scantinato

separatamente e non collegarli all'impianto di ventilazione residenziale. Nello scantinato di grandi case plurifamiliari, tuttavia, può essere opportuno installare

una ventilazione semplice con RC. Poiché il livello sonoro è meno importante rispetto alla zona abitativa, per piccoli immobili o singoli locali (ad esempio locali hobby) possono essere presi in considerazione anche apparecchi di ventilazione per singolo locale, ventilatori dell'aria aspirata con elementi dell'involucro di passaggio d'aria o ventilazione automatica tramite le finestre a basso costo. Ciò presuppone, tuttavia, che sia possibile implementare un'adeguata presa d'aria esterna.

**A causa della problematica dell'umidità, gli scantinati di edifici nuovi dovrebbero essere collocati interamente all'interno dell'involucro termico dell'edificio.**

#### Scantinati non isolati termicamente o solo in parte

Secondo le prescrizioni energetiche, i locali non isolati o solo parzialmente non possono venire riscaldati né collegati a una ventilazione residenziale con RC. Ciò vale anche per gli scantinati. La scheda tecnica «Condizionamento degli scantinati

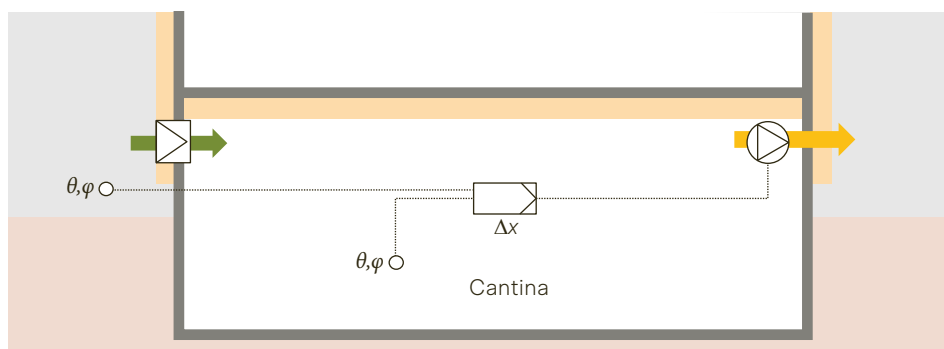


Figura 10.3: Ventilazione di una cantina non isolata termicamente, regolata in funzione dell'umidità.

nati in edifici residenziali» mette a confronto quattro diverse varianti per quanto riguarda il rischio di formazione di muffe e il consumo energetico.

La prima variante è una ventilazione naturale. L'affermazione non sorprendente è che in questo modo il rischio di muffa non è scongiurato. Ciò corrisponde anche alle esperienze in scantinati con muffe, ventilati via pozzo luce.

Come seconda variante, viene studiato il riscaldamento dello scantinato con un radiatore elettrico mobile. L'idea di fondo è la seguente: una temperatura dell'aria interna più alta abbassa l'umidità relativa dell'aria interna e quindi il rischio di formazione di muffe. Sebbene un riscaldamento installato in modo permanente in uno scantinato di questo tipo non sia consentito dalle prescrizioni energetiche, una stufa elettrica mobile si colloca in una zona grigia. Il risultato: nonostante l'elevato consumo di elettricità, sussiste comunque un rischio di formazione di muffe.

Nella terza variante, viene utilizzato un deumidificatore. In questo modo si elimina il rischio di formazione di muffe.

Come quarta variante viene studiata la ventilazione meccanica regolata in funzione dell'umidità. Essa rappresenta la soluzione migliore in termini di rischio di

formazione di muffe e di basso consumo energetico. Il fattore decisivo è la strategia di regolazione: se l'umidità assoluta dell'aria esterna è inferiore a quella dell'aria dello scantinato, il ventilatore viene acceso. In caso contrario, il ventilatore viene spento. Tale esercizio richiede la misurazione della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria esterna e dell'aria dello scantinato. Inoltre, la regolazione deve essere in grado di determinare l'umidità assoluta. Ciò vale soprattutto per l'esercizio da aprile a ottobre. Nella stagione fredda, l'esercizio del ventilatore può essere limitato da un'umidità relativa minima dell'aria dello scantinato (ad esempio 30% di umidità relativa).

La figura 10.3 mostra questa soluzione in modo schematico. Oltre a ventilatori dell'aria aspirata, è possibile impiegare anche ventilatori dell'aria immessa o apparecchi di ventilazione con aria immessa e aria aspirata; vedi anche le note sul radon al capitolo 10.5.

La figura 10.4 mostra il fabbisogno elettrico specifico (riferito a 1 m<sup>2</sup> di superficie dello scantinato) delle quattro varianti elencate e indica se la variante presenta un rischio di formazione di muffe. La barra di intervallo per il fabbisogno elettrico si riferisce a diversi livelli di isolamento e al clima locale. Le affermazioni valgono

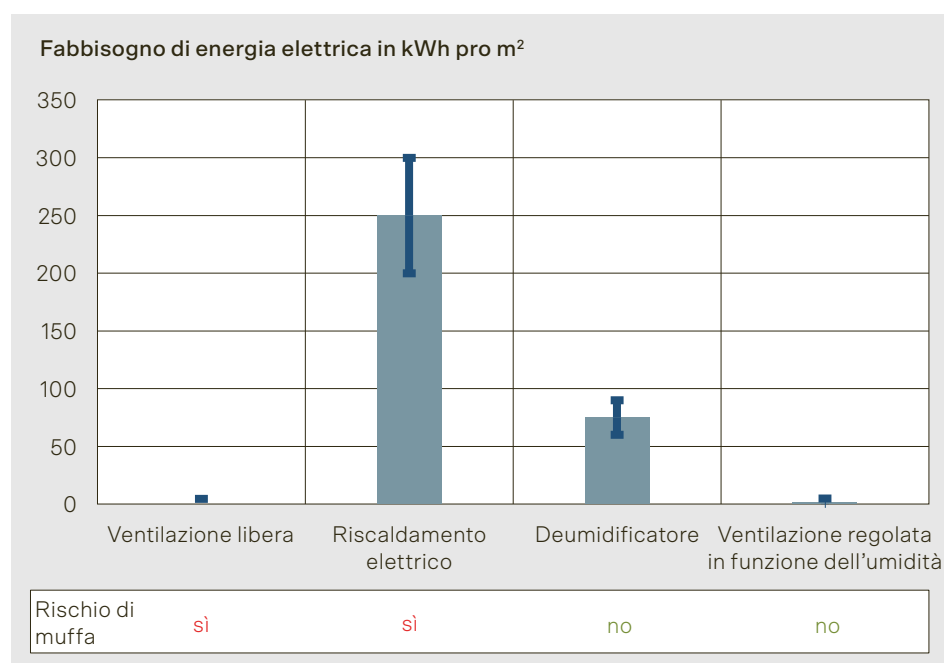


Figura 10.4: Fabbisogno specifico di energia elettrica (relativo ad 1 m<sup>2</sup> di superficie del pavimento) per il condizionamento di scantinati non, o solo parzialmente isolati termicamente, compresa la valutazione del rischio di formazione di muffe. Per la descrizione delle varianti vedi testo.

per le ipotesi definite nella scheda tecnica «Condizionamento degli scantinati in edifici residenziali». Sarebbe eccessivo elencare i dettagli in questo contesto, ma le ipotesi possono essere considerate tipiche per gran parte degli scantinati di case plurifamiliari esistenti. Nei singoli casi, tuttavia, è consigliato un accertamento con un fisico della costruzione.

#### 10.4 Riscaldamento ad aria

I riscaldamenti ad aria sono impianti in cui la temperatura dell'aria immessa in inverno è volutamente più alta della temperatura interna, in modo da coprire tutto o parte del carico di riscaldamento dei locali approvvigionati. In questo modo si abbinano le funzioni di rinnovo dell'aria e di riscaldamento dei locali. I vantaggi, gli svantaggi e i limiti d'impiego di questi impianti sono descritti nel capitolo 4.3. I riscaldamenti ad aria sono comuni nelle case passive di piccole dimensioni, dove viene rispettata la condizione di fornire al massimo  $10 \text{ W/m}^2$  tramite l'aria. L'aria immessa viene spesso riscaldata in cosiddetti apparecchi multifunzionali, che riscaldano anche l'acqua calda sanitaria. Affinché il bilancio energetico a basse temperature esterne possa funzionare, è solitamente necessario preriscaldare l'aria esterna tramite uno scambiatore di

calore terra-aria dimensionato generosamente. E nel caso in cui il riscaldamento debba operare in condizioni di dimensionamento, molti apparecchi multifunzionali dispongono di un inserto elettrico per la produzione di acqua calda.

I punti critici dei riscaldamenti ad aria sono le perdite termiche delle condotte dell'aria immessa e le perdite d'aria. Essi possono compromettere in modo significativo il funzionamento e, in casi estremi, portare alla non idoneità di un impianto. La figura 10.5 illustra dove il calore può fuoriuscire. Nel caso di una distribuzione dell'aria nel piano interrato non riscaldato, perdite del 10% e oltre sono realistiche. Anche all'interno della zona riscaldata, l'emissione di calore di una condotta dell'aria spesso non è sensata. Ad esempio, può accadere che una condotta dell'aria in un vano verticale riscaldi involontariamente la casa vicina o che il calore disperso venga distribuito in modo indefinito nella propria abitazione. A tale proposito, le condotte dell'aria calda in soletta sono molto delicate. Nel caso di condotte non isolate in calcestruzzo, l'aria immessa può raffreddarsi di 5–10 K entro pochi metri. In casi estremi, ciò significa che un locale adiacente al vano verticale si surriscalda e il locale più distante non raggiunge la tem-

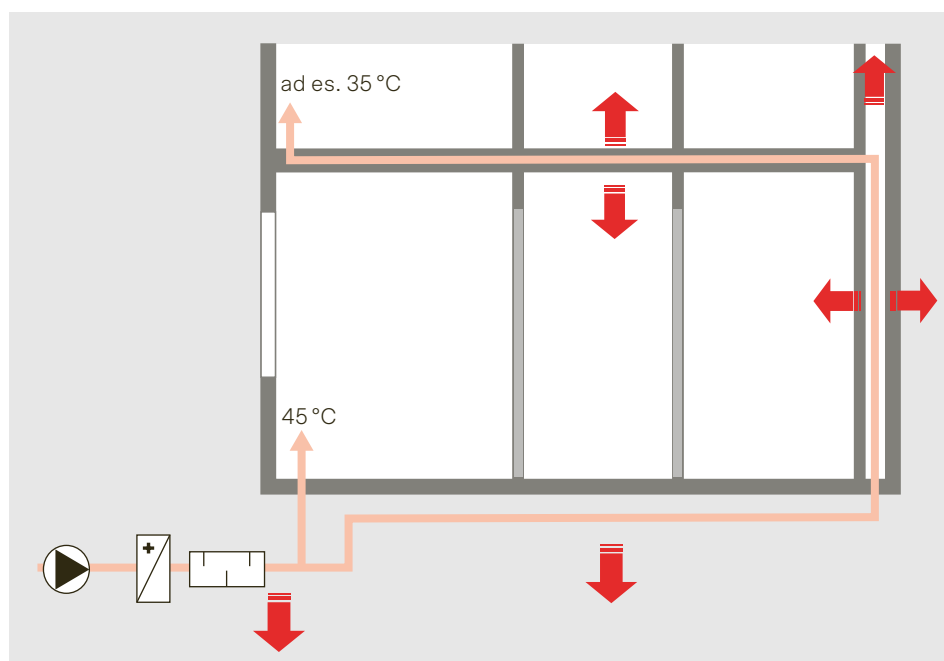


Figura 10.5: Possibili cessioni di calore e perdite indesiderate nei riscaldamenti ad aria.

peratura nominale. Gli spessori necessari per l'isolamento delle condotte dell'aria calda devono essere calcolati tenendo conto del raffreddamento.

Anche le perdite d'aria nelle condotte sono spesso sinonimo di perdite termiche nel caso di un riscaldamento ad aria. Ciò significa che i riscaldamenti ad aria devono essere più ermetici della media.

## 10.5 Risanamenti contro il radon

Le basi e i concetti per la ventilazione nel caso di risanamenti contro il radon si trovano in «Radon – Manuale operativo» [4] e sul sito web dell'Ufficio federale della sanità pubblica [www.ch-radon.ch](http://www.ch-radon.ch). Per l'implementazione dei concetti di ventilazione in caso di risanamento contro il radon si dovrebbe consultare un esperto in materia. Per quanto riguarda la ventilazione meccanica controllata, si veda il capitolo 1.4.

### Impianto d'aspirazione con elemento dell'involucro di passaggio d'aria (EIPA)

Un impianto d'aspirazione con EIPA è il sistema meno favorevole per quanto riguarda l'esposizione al radon. Impianti d'aspirazione dovrebbero quindi venire impiegati solo in edifici in cui a priori il radon non costituisce un problema. In case plurifamiliari con pavimenti dello scantinato in calcestruzzo, una soletta sopra lo scantinato in calcestruzzo e porte ermetiche tra lo scantinato e il piano terra, il rischio è generalmente basso. Inoltre, è necessario evitare possibili vie d'aria dallo scantinato agli appartamenti (attraverso vani verticali o tubi per i cavi elettrici).

### Apparecchi di ventilazione per singolo locale combinati con impianti d'aspirazione

Gli apparecchi di ventilazione per singolo locale non sono di per sé critici per quanto riguarda il radon. Tuttavia, spesso vengono combinati con ventilatori dell'aria aspirata nel bagno/WC, i quali generano una sottopressione. Con un esercizio on/off regolato in funzione del fabbisogno,

in condizioni usuali non dovrebbe verificarsi alcun apporto di radon rilevante.

Nel caso di risanamenti contro il radon, tuttavia, il concetto dovrebbe venire esaminato attentamente e, se necessario, accompagnato da misure aggiuntive.

### Ventilazione della zona di cottura

Per quanto riguarda la prevenzione di sottopressioni, la cappa d'aspirazione ad aria di ricircolo è vantaggiosa. Se nel caso di un risanamento contro il radon è presente una cappa d'aspirazione ad aria espulsa, l'afflusso dell'aria di compensazione dovrebbe venire realizzato tramite una finestra. A tal fine occorre impiegare un interruttore di contatto sulla finestra o un monitoraggio della sottopressione. La compensazione tramite passaggi d'aria esterna crea una forte sottopressione e pertanto non dovrebbe venire impiegata.

### Dispositivi di ventilazione speciali per il mantenimento della pressione

Nel caso di risanamenti contro il radon, spesso vengono impiegati dispositivi di ventilazione che servono esclusivamente a mantenere una certa pressione nell'edificio o in parti di esso (ad esempio nello scantinato). Nell'ambito del concetto globale di risanamento contro il radon, lo specialista determina se nel caso specifico si tratta di una sottopressione o di una sovrappressione. Una sovrappressione impedisce al radon di penetrare. Una sottopressione nello scantinato impedisce all'aria della cantina di entrare nell'abitazione. In entrambi i casi si tratta di una differenza di pressione di pochi Pascal.

### Ventilazione dello scantinato

Nel caso di scantinati non isolati termicamente o isolati solo in parte, nel contesto del risanamento contro il radon, può nascere un conflitto tra la protezione contro l'umidità (vedi capitolo 10.3) e la protezione dal radon. La ventilazione per la protezione dal radon richiede un esercizio possibilmente continuo per il mantenimento della pressione. Tuttavia, una ventilazione regolata in funzione dell'u-

midità è spesso disattivata in estate e in caso di basse temperature esterne. In determinate circostanze, entrambe le funzioni possono essere coperte da un unico impianto. In tal caso, la ventilazione viene dotata di un EIPA a chiusura ermetica che si chiude quando l'esercizio di protezione contro l'umidità è disattivato. Tuttavia, il ventilatore rimane in funzione, eventualmente a velocità ridotta, per mantenere la pressione. Per quanto riguarda la sottopressione o la sovrappressione, la ventilazione per la protezione contro l'umidità deve essere coordinata con la protezione dal radon. Ciò significa che al posto del ventilatore dell'aria aspirata mostrato nella figura 10.3, può eventualmente venire impiegato un ventilatore dell'aria immessa.

## 10.6 Letteratura

- [1] Scheda tecnica, Ventilazione del piano di cottura per costruzioni nuove e risanate energeticamente, SvizzeraEnergia, Ufficio federale dell'energia UFE, Berna, 2019
- [2] Direttiva antincendio 25-15 Impianti tecnici d'aerazione, stato 1.1.2017; Associazione degli istituti cantonali di assicurazione antincendio, Berna; download via [www.bsVonline.ch/it/prescrizioni](http://www.bsVonline.ch/it/prescrizioni)
- [3] Scheda tecnica, Condizionamento degli scantinati in edifici residenziali, SvizzeraEnergia, Ufficio federale dell'energia UFE, Berna, 2019
- [4] Breunig, Morris; et. al.: Radon – Manuale operativo. Faktor Verlag, Zurigo, 2018
- [5] Commissione europea: Regolamento delegato (UE) n. 65/2014 della commissione del 1° ottobre 2013 che integra la direttiva 2010/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda l'etichettatura energetica dei forni e delle cappe da cucina per uso domestico; Commissione europea. Download via <https://eur-lex.europa.eu>



# Protezione dal rumore

Il tema dell'acustica viene trattato qui solo in modo selettivo. Per le basi e un approfondimento si consiglia la scheda 1 della VDI 2081 [1]. I libri di testo «Wohnungslüftung», 2005 [2], e «Komfortlüftung in Wohngebäuden», 2016 [3], contengono descrizioni con esempi di ventilazione meccanica controllata. Tuttavia, i requisiti normativi della SIA 181 [4] e della SIA 382/5 [5] sono cambiati dall'anno di pubblicazione dei due libri di testo. Pertanto, è essenziale osservare i capitoli 11.2 e 11.3 di questo libro in caso di ricorso a basi più vecchie. Per il dimensionamento acustico degli elementi dell'involucro di passaggio d'aria si veda il capitolo 7.6, mentre per i passaggi d'aria di transito si veda il capitolo 3.8.

## 11.1 Termini, requisiti

### Pressione sonora e potenza sonora

L'orecchio umano e gli strumenti di misurazione rilevano la pressione sonora. Le sorgenti sonore, tuttavia, emettono una potenza sonora. Poiché i calcoli con la pressione (in Pa) e la potenza (in W) risulterebbero poco pratici, si utilizza l'unità di misura decibel (dB). Essa viene utilizzata sia per il livello di pressione sonora che per il livello di potenza sonora. Per semplicità, occasionalmente si utilizza anche il termine «livello sonoro», intendendo solitamente il livello di pressione sonora. L'entità del livello di pressione sonora percepito o misurato dipende dalla potenza della sorgente, dalla distanza, dagli ostacoli e dalla riflessione e dall'assorbimento delle superfici. Nel caso degli apparecchi di ventilazione, si dovrebbe

sempre specificare la potenza sonora. Indicazioni come «rumore a 1 m di distanza» sono imprecise o addirittura inutili.

### Ponderazione A

La cosiddetta ponderazione A adatta il livello sonoro fisico alla percezione uditiva umana. Nelle norme precedenti e nella letteratura tecnica, i livelli sonori ponderati A erano indicati con l'unità dB(A). Nelle norme nuove, ciò è stato omesso, cosicché i livelli ponderati A vengono ugualmente indicati nell'unità di misura dB. L'informazione se un livello sonoro è ponderato A si trova nel simbolo della formula con l'indice A (ad esempio  $L_{Aeq}$ ) o nella descrizione testuale del rispettivo valore.

### Regola di arrotondamento

I risultati finali delle misurazioni e dei calcoli sono sempre arrotondati a 1 dB.

### Requisiti della SIA 382/5

La SIA 181 indica solo i requisiti per gli impianti per più appartamenti. La SIA 382/5 dichiara questi requisiti validi per tutti i tipi di impianti di ventilazione residenziale. Sono escluse le cappe d'aspirazione. Per bagni, docce e WC di dimensioni ridotte, i requisiti sono stati attenuati. I requisiti valgono per l'esercizio di ventilazione normale, vale a dire per le condizioni di dimensionamento dell'impianto. Come spiegato nei capitoli 3 e da 6 a 8, il dimensionamento per l'esercizio diurno e notturno è lo stesso.

La SIA 382/5 stabilisce valori di requisito per vari tipi di locale, secondo la tabella 11.1. Ciò corrisponde al valore misu-

Tabella 11.1:  
Valore di requisito  $L_H$   
per la protezione  
dal rumore delle in-  
stallazioni di ventila-  
zione secondo la  
SIA 382/5.

Tipo di locale	Valore di requisito $L_H$
Soggiorno, camera da letto, cucina aperta sul soggiorno	25 dB
Bagno/doccia/WC con un volume $\geq 25 \text{ m}^3$ , cucina senza parte del soggiorno	29 dB
Bagno/doccia/WC con un volume $< 25 \text{ m}^3$ con esercizio continuo dell'impianto di ventilazione nel caso di esercizio on/off in funzione del fabbisogno	38 dB 43 dB

rato più le correzioni di livello. Nei locali ammobiliati, il livello sonoro effettivo è solitamente inferiore, o deve essere inferiore, al valore di requisito  $L_H$ .

## 11.2 Verifica secondo la SIA 181

### Verifica con misurazione

Misurazioni sonore vengono effettuate, ad esempio, nell'ambito del collaudo di un impianto. Tuttavia, possono anche essere necessarie per il controllo in caso di reclami o dopo modifiche all'impianto. Il requisito è soddisfatto se il valore totale del rumore dell'impianto di ventilazione  $L_{H,tot}$  non supera il valore di requisito  $L_H$  (tabella 11.1). Espresso come formula:

$$L_{H,tot} \leq L_H \quad (11.1)$$

Nel caso del metodo di misurazione semplice, la verifica viene effettuata con la formula 11.2.

$$L_{H,tot} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 \quad (11.2)$$

Nel caso del metodo di misurazione esatto, la verifica viene effettuata con la formula 11.3.

$$L_{H,tot} = L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 \quad (11.3)$$

### Verifica durante la progettazione

Oltre al dimensionamento acustico a regola d'arte, i compiti di progettazione comprendono anche la verifica dell'adempimento dei requisiti. Ciò è il caso se il valore di progetto per il rumore dell'impianto di ventilazione  $L_{H,d}$  non supera il valore di requisito  $L_H$  (tabella 11.1).

#### Grandezze di misurazione e valori di calcolo

$L_{Aeq}$	Livello medio ponderato A Corrisponde al livello di pressione sonora causato dall'impianto di ventilazione
$L_{nT,A,50-5000}$	Livello di pressione sonora normalizzato ponderato A; vengono misurati i livelli di pressione sonora (non ponderati) $L$ e i tempi di riverbero $T$ nelle bande di un terzo di ottava da 50 Hz a 5000 Hz. Per ogni banda di un terzo di ottava, il livello di pressione sonora misurato viene poi convertito al livello di pressione sonora normalizzato $L_{nT}$ secondo la formula 11.7, cioè normalizzato al tempo di riverbero di riferimento di 0,5 s. $L_{nT} = L - 10 \cdot \lg(T/T_0) \quad (11.7)$ dove $L$ è il livello di pressione sonora di una banda di un terzo di ottava, $T$ è il tempo di riverbero di una banda di un terzo di ottava e il tempo di riverbero di riferimento $T_0$ è pari a 0,5 s. Infine, viene effettuata la ponderazione A e i valori delle bande di un terzo di ottava ponderati vengono sommati energeticamente (logaritmicamente).
$K_1$	Correzione del livello per tenere conto dell'assorbimento acustico nel locale; negli appartamenti essa viene utilizzata principalmente per valutare l'arredamento. La tabella 11.3 mostra la scala di valutazione con la descrizione secondo la SIA 181 e gli esempi dell'autore. Per la progettazione, viene consigliato un valore standard pari a -2.
$K_2$	Correzione del livello per tenere conto della componente tonale; a seconda della componente tonale udibile, questo valore varia tra 0 (non udibile) e 6 (componente tonale altamente udibile). Conformemente alla valutazione legale del rumore di impianti di riscaldamento, ventilazione, condizionamento e refrigerazione del Cercle Bruit [6], per la ventilazione viene consigliato un valore standard di 2. Ciò corrisponde anche agli esempi della SIA 382/5.
$K_3$	Correzione del livello per tenere conto della componente impulsiva; a seconda della componente impulsiva udibile, questo valore varia tra 0 (non udibile) e 6 (componente impulsiva altamente udibile). Gli impulsi si manifestano solo in caso di impianti di ventilazione difettosi, ad esempio a causa di uno squilibrio del ventilatore o di rumori dovuti a vibrazioni. Nel caso di impianti privi di anomalie, viene utilizzato un valore standard pari a 0.
$K_p$	Supplemento di progetto; supplemento al valore di previsione per tenere conto delle incertezze, delle differenze nella qualità della realizzazione così come delle tolleranze di produzione di dispositivi e apparecchi. Conformemente agli esempi riportati nella SIA 382/5, viene consigliato un valore standard pari a 2.

Tabella 11.2:  
Grandezze di misurazione e valori di calcolo rilevanti per la verifica della protezione dal rumore.

Espresso come formula:

$$L_{H,d} \leq L_H \quad (11.4)$$

Nel caso del metodo di misurazione semplice, la verifica viene effettuata con la formula 11.5.

$$L_{H,d} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 + K_p \quad (11.5)$$

Nel caso del metodo di misurazione esatto, la verifica viene effettuata con la formula 11.6.

$$L_{H,d} = L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 + K_p \quad (11.6)$$

La descrizione dei simboli delle formule è riportata nella tabella 11.2.

#### Note sulle misurazioni

La SIA 181 richiede che le misurazioni vengano effettuate in luoghi di abituale permanenza di persone. Per il metodo di misurazione semplice si utilizzano almeno due posizioni microfoniche, per il metodo di misurazione esatto almeno cinque.

Sia questi requisiti che il tipo di metodo di misurazione lasciano un margine di manovra che può portare a risultati diversi. Pertanto, si raccomanda di concordare le condizioni quadro per la verifica. Un microfono dovrebbe venire collocato al centro della zona di permanenza (secondo la SIA 180), a 1,5 m di altezza. Un secondo microfono dovrebbe venire collocato ai margini della zona di permanenza a un'altezza compresa tra 0,6 m (nel caso di passaggi d'aria a pavimento) e 1,5 m (nel caso di passaggi d'aria a soffitto), il più vicino possibile al passaggio d'aria. Le

posizioni microfoniche aggiuntive eventualmente necessarie risultano da ulteriori passaggi d'aria e dai limiti della zona di permanenza. Valutato viene il valore energeticamente medio (logaritmico). Nei soggiorni e nelle camere da letto, la differenza tra il rumore degli impianti e il rumore di fondo ponderato A nella pratica non raggiunge i 10 dB desiderati. Il rumore di fondo deve quindi essere sottratto in termini di energia. Secondo la SIA 181, tuttavia, è possibile sottrarre aritmeticamente un massimo di 2,2 dB dal valore misurato se la differenza è inferiore a 4 dB.

Il metodo di misurazione semplice può venire eseguito da specialisti della ventilazione con una solida conoscenza di base dell'acustica come misurazione di controllo. Il metodo di misurazione esatto dovrebbe venire impiegato solo da esperti qualificati in acustica edile.

### 11.3 Confronto tra i metodi di verifica

#### A) Verifica acustica nella progettazione

Per un locale, viene determinato il livello sonoro equivalente ammissibile  $L_{Aeq}$  con il metodo semplice. Il valore di progettazione  $L_{H,d}$  è uguale al valore di requisito  $L_H$ , vale a dire

$$L_{H,d} \leq L_H = 25 \text{ dB} \quad (11.8)$$

Per determinare il livello sonoro equivalente ammissibile, la formula 11.5 viene risolta per  $L_{Aeq}$ . Per il calcolo vengono utilizzati i valori standard del capitolo 11.2.

Descrizione secondo la SIA 181 e esempio	Correzione del livello $K_1$ in dB
<b>Locali con arredamento ad alto assorbimento</b> Ad esempio, una camera pesantemente arredata con molti tessuti per la casa, come rivestimenti di stoffa, tende e tappeti	0
<b>Locali con arredamento a basso assorbimento</b> Ad esempio, una camera arredata con mobili e tessuti per la casa tipici del giorno d'oggi	-2
<b>Locali privi di arredamento ad assorbimento</b> Ad esempio, una camera non arredata	-4

Tabella 11.3: Correzione di livello  $K_1$  per tenere conto dell'assorbimento acustico nel locale.

$$\begin{aligned}
 L_{Aeq} &\leq L_{H,d} - K_1 - K_2 - K_3 - K_p \\
 &= 25 \text{ dB} - (-2 \text{ dB}) - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} \\
 &= 23 \text{ dB}
 \end{aligned}
 \tag{11.9}$$

Questo esempio è generalmente valido in quanto con i valori standard il livello sonoro equivalente ammissibile nel soggiorno e nelle camere da letto è generalmente di 23 dB. Tuttavia, il livello di potenza sonora  $L_{W,A}$ , che il sistema può fornire al locale dipende da altre condizioni quadro, come la collocazione dei passaggi d'aria e la geometria del locale.

### B) Verifica con misurazione, metodo semplice

Dopo la fine dei lavori di costruzione, viene effettuata una misurazione di collaudo nel locale della verifica A. Poiché esso ha luogo prima del trasloco nell'appartamento, il locale non è ammobiliato. Secondo la tabella 11.3,  $K_1 = -4$ .

$K_2$  e  $K_3$  corrispondono ai valori di progettazione.

Il passaggio d'aria immessa si trova sopra la porta del locale, a 2,3 m dal pavimento. La figura 11.1 mostra la pianta della camera da letto e le due posizioni concordate per il microfono M1 e M2, che si trovano a 1,5 m di altezza dal pavimento. Vengono misurati i seguenti valori:

- Rumore di fondo in entrambe le posizioni
- Valore di misurazione del livello sonoro equivalente nella posizione M1

$$L_{A,bg} = 24,2 \text{ dB}$$

$$L_{Aeq,Te1} = 28,4 \text{ dB}$$

- Valore di misurazione del livello sonoro equivalente nella posizione M2

$$L_{Aeq,Te2} = 27,7 \text{ dB}$$

Nel primo passo, viene sottratto il rumore di fondo. Il livello sonoro equivalente dell'impianto di ventilazione  $L_{Aeq}$  viene calcolato secondo la VDI 2081 utilizzando la formula 11.10:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_{Aeq,Te}} - 10^{0,1 \cdot L_{A,bg}}) \tag{11.10}$$

dove  $L_{Aeq,Te}$  è il valore misurato e  $L_{A,bg}$  è il rumore di fondo.

Il livello sonoro equivalente  $L_{Aeq}$  nella posizione di misurazione M1 è dunque:

$$L_{Aeq,1} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot 28,4} - 10^{0,1 \cdot 24,2}) = 26,3 \text{ dB}$$

Nella posizione M2, la differenza rispetto al rumore di fondo è inferiore a 4 dB. Secondo la SIA 181, quindi, si possono dedurre solo 2,2 dB dal valore misurato. Ciò significa che:

$$L_{Aeq,2} = 27,7 \text{ dB} - 2,2 \text{ dB} = 25,5 \text{ dB}$$

Il valore energetico medio viene calcolato secondo la VDI 2081 utilizzando la formula 11.11:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,i}} \right] \tag{11.11}$$

Con i due livelli sonori equivalenti  $L_{Aeq,1}$  e  $L_{Aeq,2}$  si ottengono i seguenti risultati:

$$\begin{aligned}
 L_{Aeq} &= 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{2} (10^{0,1 \cdot L_{Aeq,1}} + 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,2}}) \right] \\
 &= 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{2} (10^{0,1 \cdot 26,3} + 10^{0,1 \cdot 25,5}) \right] \\
 &= 25,9 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Con la formula 11.2, il valore totale per il rumore dell'impianto di ventilazione è di:

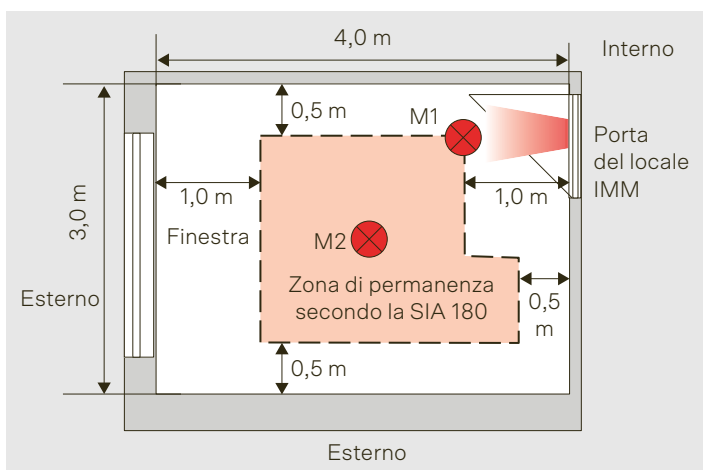
$$\begin{aligned}
 L_{H,tot} &= L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 \\
 &= 25,9 \text{ dB} + (-4 \text{ dB}) + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} \\
 &= 23,9, \text{ arrotondato a } 24 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Inserito nella formula 11.1:

$$L_{H,tot} = 24 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

Il requisito è quindi soddisfatto.

Figura 11.1: Pianta del locale della verifica B con la collocazione del passaggio d'aria immessa (IMM) e le posizioni dei microfoni (M1 e M2).



### C) Verifica acustica con misurazione, metodo esatto

Per lo stesso locale con lo stesso livello sonoro della verifica B, la verifica viene eseguita con il metodo esatto. La tabella 11.4 riassume la misurazione e il calcolo in un intervallo di banda di un terzo d'ottava da 100 a 1000 Hz. Le frequenze inferiori a 100 Hz e superiori a 1000 Hz influenzano solo marginalmente il risultato e non sono quindi rappresentate. La linea con il livello sonoro  $L$  corrisponde ai valori misurati corretti. In tal caso il rumore di fondo è già stato sottratto e i valori misurati delle cinque posizioni microfoniche vengono espressi come media (analogamente alla verifica B). Il tempo di riverbero è elevato perché, come nella verifica B, si ipotizza una camera non ammobiliata con superfici che riflettono il suono.

Con la formula 11.3 il valore totale per il rumore dell'impianto di ventilazione raggiunge:

$$\begin{aligned} L_{H,tot} &= L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 \\ &= 23 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} \\ &= 25 \text{ dB} \end{aligned}$$

Inserito nella formula 11.1:

$$L_{H,tot} = 25 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

Il requisito è quindi soddisfatto.

### Conclusioni del confronto

Negli esempi, la differenza tra il metodo semplice e quello esatto è compresa tra 1 e 2 dB. È presumibile che la correzione di livello K1 sia troppo generosa per gli edifici residenziali o che si ipotizzano

tempi di riverbero (troppo) bassi per locali ammobiliati.

Per la progettazione, il metodo esatto richiede troppo tempo e, inoltre, i dati relativi all'acustica dei locali sono ancora poco conosciuti. In questo caso, il metodo semplice è idoneo. Tuttavia, il dimensionamento e il calcolo devono venir affrontati in modo conservativo. È consigliabile lavorare con un valore di progettazione (= valore di requisito  $L_{H,d}$ ) di 23 dB.

## 11.4 Propagazione del rumore nei locali

L'attenuazione del locale corrisponde alla conversione del livello di potenza sonora (fornito al locale dall'impianto di ventilazione) in livello di pressione sonora in una determinata posizione nel locale. Per analogia, si può considerare una lampada collocata in un locale: la lampada emette una certa potenza luminosa, ma la sua luminosità su un tavolo dipende dalle proprietà del locale e dalla distanza dalla lampada.

Il calcolo dell'attenuazione del locale  $D_R$  secondo la VDI 2081 è illustrato nella formula 11.12. Un valore positivo significa una riduzione del livello nel locale.

$$D_R = -10 \lg \left( \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} + \frac{24,5 \cdot T}{V} \right) \quad (11.12)$$

Tabella 11.5: Fattore di direzione  $Q$  per diverse collocazioni spaziali dei passaggi d'aria.

Collocazione del passaggio d'aria	Propagazione del rumore	Fattore di direzione $Q$
Al centro del locale	A sfera	1
Al centro di una parete	A semisfera	2
Al centro del lato di un locale	A quarto di sfera	4
In un angolo del locale	A ottavo di sfera	8

Tabella 11.4: Valori di misurazione e di calcolo della verifica C.

Descrizione	Simbolo	Unità	Valori alla frequenza di banda di un terzo di ottava (in Hz) di										
			100	125	160	200	250	315	400	500	620	800	1000
Livello sonoro	$L$	dB	36,0	33,5	31,5	29,0	25,0	22,0	17,0	13,0	9,0	7,0	6,0
Tempo di riverbero	$T$	s	1,0	1,0	1,1	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Livello di pressione sonora normalizzato	$L_{nT}$	dB	33,0	30,5	28,1	26,0	23,0	19,4	15,0	11,0	6,4	5,0	4,0
Ponderazione A	$\Delta L_A$	dB	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0
Valore intermedio	$L_{nT} + \Delta L_A$	dB	13,9	14,4	14,7	15,1	14,4	12,8	10,2	7,8	4,5	4,2	4,0
Livello di pressione sonora normalizzato ponderato A	$L_{nT,A,50-5000}$	dB	23,1 (arrotondato 23)										

- Dove
- Q Fattore di direzione secondo la tabella 11.5
  - d Distanza tra il passaggio d'aria e la posizione nel locale in m
  - V Volume del locale in m<sup>3</sup>
  - T Tempo di riverbero in s

Il tempo di riverbero di locali abitati è difficilmente calcolabile perché è influenzato in modo significativo dai materiali di costruzione, dai mobili e dai tessuti. Per calcoli acustici in abitazioni nuove, si raccomanda il seguente tempo di riverbero:

- Camera da letto 0,8 s
- Soggiorni, cucine aperte sul soggiorno 1,0 s

Nella letteratura specialistica si trovano talvolta tempi di riverbero più bassi per i soggiorni e le camere da letto, ad esempio 0,5 s. Nei locali abitativi e nelle camere di nuova costruzione sono spesso presenti solo superfici debolmente assorbenti, il che comporta tempi di riverbero più lunghi rispetto, ad esempio, alle abitazioni di trent'anni fa.

Dall'esempio di calcolo 11.1 si possono trarre le seguenti conclusioni generali:

nelle camere da letto, l'attenuazione del locale è spesso compresa tra 0 e 2 dB. Nei soggiorni è in generale da 1 a 3 dB a causa del volume maggiore. Soprattutto nelle camere da letto acusticamente sensibili, l'influenza dell'attenuazione del locale è piccola. La collocazione dei passaggi d'aria non ha molta importanza. Il posizionamento al centro del lato del locale è solo leggermente migliore (da 0,5 a 1,0 dB circa) rispetto al posizionamento nell'angolo del locale.

### 11.5 Note relative ai componenti

#### Passaggi d'aria e riflesso finale

I passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata devono essere dimensionati in modo generoso a causa delle emissioni sonore del flusso. Per i passaggi d'aria, la maggior parte dei fornitori specifica l'attenuazione sonora (la cosiddetta attenuazione d'inserzione). Se viene impiegato un prodotto per il quale non sono disponibili le specifiche del produttore, nel calcolo non deve essere utilizzata alcuna attenuazione sonora, vale a dire attenuazione d'inserzione 0.

#### Esempio di calcolo 11.1: Attenuazione del locale per emissioni sonore di ventilazione

Per il locale della verifica B in 11.3, l'attenuazione del locale per le emissioni sonore di ventilazione viene determinata nelle posizioni M1 e M2. L'altezza finita del locale è di 2,6 metri. Il tempo di riverbero è ipotizzato pari a 0,8 s.

Per quanto riguarda il passaggio d'aria immessa, non è chiaro se si debba optare per una posizione al centro del lato del locale o in un angolo.

Il valore reale si situa probabilmente in mezzo, ragion per cui vengono calcolati entrambi i casi. La tab. 11.6 riassume i calcoli secondo la form. 11.12. Per la posizione M1 l'attenuazione del locale è compresa tra 0 e 1 dB e per la posizione M2 tra 1 e 2 dB. Per il calcolo e la verifica vengono utilizzati i valori medi, ovvero 0,5 dB per la posizione M1 e 1,5 dB per la posizione M2.

Ipotesi relativa alla posizione del passaggio d'aria immessa	Posizione nel locale	Dist.	Fattore di direzione Q	Superficie del pavimento	Altezza finita del locale	Volume del locale	Tempo di riverbero	Attenuazione del locale
				$A_R$ m <sup>2</sup>	H m	V m <sup>3</sup>	T s	$D_R$ dB
Centro del lato	M1	1,3	4	12	2,6	31,2	0,8	0,8
Angolo del locale	M1	1,3	8	12	2,6	31,2	0,8	-0,1
Centro del lato	M2	2,4	4	12	2,6	31,2	0,8	1,6
Angolo del locale	M2	2,4	8	12	2,6	31,2	0,8	1,3

Tabella 11.6: Esempio per il calcolo dell'attenuazione del locale secondo la figura 11.1.

Dati precisi sul livello di potenza sonora dei passaggi d'aria invece, sono purtroppo disponibili solo presso pochi fornitori. A volte si trovano informazioni vaghe come «livello di potenza sonora < 20 dB(A)». In questi casi si raccomanda di calcolare i valori secondo la VDI 2081. La tabella 11.7, posizione 14, elenca i valori per un passaggio d'aria con un diametro di 100 mm (o una superficie equivalente) e una perdita di carico di 10 Pa, il che può essere considerato tipico per ventilazioni meccaniche controllate.

All'entrata e all'uscita nel locale ha luogo il cosiddetto riflesso finale, che attenua il livello sonoro proveniente dalla condotta dell'aria. Per molti passaggi d'aria, l'effetto è già incluso nell'attenuazione d'inserzione dichiarata dal fornitore. In caso contrario, il riflesso finale può essere calcolato secondo la VDI 2081.

#### Condotte dell'aria e dispositivi

A condizione che la velocità dell'aria sia al massimo di 4 m/s, le condotte d'aria e i pezzi speciali fino a circa 200 mm di diametro non producono alcun rumore percepibile se installati correttamente. Tuttavia, in caso di lavorazione carente, come ad esempio in presenza di viti sporgenti, è possibile che vengano generati dei rumori.

Nel caso di condotte a sezione circolare in lamiera d'acciaio, la riduzione del livello sonoro è praticamente trascurabile. Nel caso di condotte a sezione rettangolare e ovale, nonché di tubi in plastica, è possibile tenere conto di una riduzione di livello sonoro secondo le indicazioni del fornitore.

Anche i collettori di distribuzione possono ridurre significativamente i livelli sonori. L'effetto è particolarmente marcato se si installano rivestimenti o elementi fonoassorbenti. Tali elementi, tuttavia, devono poter essere rimossi a scopo di pulizia. Per i dispositivi di regolazione, il livello sonoro dipende dall'impostazione e deve essere dichiarato dal fornitore.

#### Ventilatori

Nel caso di impianti di ventilazione di piccole dimensioni, i ventilatori sono solitamente le sorgenti sonore critiche. Il loro livello di potenza sonora dipende in modo significativo dalla velocità. I piccoli ventilatori generano i livelli sonori più elevati tra 125 e 2000 Hz.

Poiché la velocità aumenta con l'aumentare della pressione di erogazione per un dato flusso d'aria, le basse perdite di carico riducono non solo il consumo energetico, ma anche il livello sonoro. Allo stesso modo, un flusso d'aria sovradimensionato non solo rende l'impianto più rumoroso, ma causa anche una bassa umidità dell'aria interna in inverno.

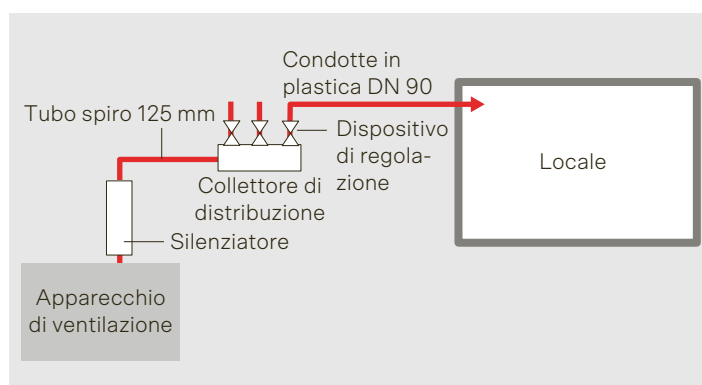
#### Silenziatori

L'attenuazione nella distribuzione dell'aria e la ponderazione A fanno sì che rimanga un rumore fastidioso, soprattutto nella fascia da 125 a 500 Hz, che deve essere assorbito da silenziatori. Essi devono essere adattati in primo luogo allo spettro dell'apparecchio di ventilazione. È quindi consigliabile scegliere i modelli che il fornitore offre come accessori per l'apparecchio, come ad esempio il collettore silenziato.

I silenziatori da condotta spesso non sono in grado di attenuare sufficientemente il rumore dei ventilatori. Tuttavia, offrono buone prestazioni per l'attenuazione del rumore da telefonia.

I silenziatori flessibili e i tubi flessibili con funzione di silenziatore non hanno una superficie liscia all'interno. Inoltre, spesso non sono molto stabili, il che può portare a danni e a strozzature (perdita di

Figura 11.2: Esempio di impianto per il calcolo del rumore.





carico elevata). In termini di robustezza e igiene, tali prodotti dovrebbero quindi venire impiegati solo per brevi tratti di condotta (massimo 0,5 m) e dovrebbero essere facilmente sostituibili. Sono adatti, ad esempio, per il disaccoppiamento del rumore trasmesso per via solida.

### Calcolo acustico di impianti

I calcoli qui presentati si applicano ai tipici impianti di ventilazione residenziale con un flusso d'aria fino a 1000 m<sup>3</sup>/h. Per impianti più grandi e complessi, così come per applicazioni al di fuori del settore residenziale, si rimanda alla direttiva VDI 2081.

Per il calcolo acustico di ventilazioni meccaniche controllate esiste lo strumento online «KWL-Tool» [7], disponibile gratuitamente. Esso è stato utilizzato per calcolare l'esempio d'impianto illustrato nella figura 11.2. I dati di questo impianto sono:

- Flusso d'aria: tre locali a 30 m<sup>3</sup>/h = 90 m<sup>3</sup>/h
- Perdita di carico esterna: 70 Pa
- Condotta prima del collettore di distribuzione dell'aria: tubo Spiro, diametro nominale 125 mm, lunghezza 1 m più due curve
- Distribuzione dell'aria: collettore non isolato con tre uscite
- Raccordo di regolazione per impostare il flusso d'aria in uscita dal collettore

Tabella 11.7: Esempio per il calcolo del livello di potenza sonora di un impianto di ventilazione.

Pos.	Componente/descrizione	Fonte <sup>1)</sup>	Simbolo	Unità	Frequenza centrale della banda di ottava in Hz						
					63	125	250	500	1000	2000	4000
1	Livello di potenza sonora dell'aria immessa dell'apparecchio di ventilazione	Fornitore (F)	$L_{W1}$	dB	60,1	60,1	59,8	53,8	47,6	44,6	36,9
2	Silenziatore	F	$D_2$	dB	-8,0	-12,0	-22,0	-35,0	-40,0	-42,0	-38,0
3	Attenuazione curva, $d = 125$	VDI	$D_3$	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,0	-4,0	-6,0
4	Attenuazione della condotta fino al collettore, $d = 125$ mm, lunghezza 1 m	VDI	$D_4$	dB	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
5	Attenuazione del collettore, 3 uscite	VDI	$D_5$	dB	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8
6	Attenuazione del raccordo di regolazione	F	$D_6$	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Livello di potenza sonora dopo l'attenuazione mediante raccordo di regolazione (somma di pos. 1 fino a 6)		$L_{W7}$	dB	47,2	43,2	32,9	13,7	0,5	-6,5	-12,2
8	Livello di potenza sonora del raccordo di regolazione	F	$L_{W8}$	dB	18,0	24,0	20,0	17,0	13,0	7,0	2,0
9	Livello di potenza sonora all'uscita del raccordo di regolazione (addizione log. di pos. 7 e 8)		$L_{W9}$	dB	47,2	43,3	33,1	18,7	13,2	7,2	2,2
10	Attenuazione della condotta in plastica dopo il collettore, DN 90, 4 m	F	$D_{10}$	dB	-0,8	-1,6	-2,0	-1,2	-1,2	-1,6	-2,8
11	Attenuazione del passaggio d'aria immessa	F	$D_{11}$	dB	-8,0	-7,0	-10,0	-9,0	-14,0	-14,0	-13,0
12	Riflesso finale (incluso nella pos. 11 secondo il fornitore)	F	$D_{12}$	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Livello di potenza sonora dopo il passaggio d'aria immessa (somma di pos. 9 fino a 12)		$L_{W13}$	dB	38,4	34,7	21,1	8,5	-2,0	-8,4	-13,6
14	Livello di potenza sonora del passaggio d'aria immessa	VDI	$L_{W14}$	dB	22,0	22,0	22,0	17,0	9,0	0,0	0,0
15	Livello di potenza sonora all'ingresso nel locale (addizione log. di pos. 13 e 14)		$L_{W15}$	dB	38,5	34,9	24,6	17,6	9,3	0,6	0,2
16	Ponderazione A	VDI	$\Delta L_A$	dB	-26,1	-16,0	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
17	Somma di pos. 15 e 16			dB	12,4	18,9	16,0	14,4	9,3	1,8	1,2
18	Livello di potenza sonora all'ingresso nel locale, ponderato A <sup>2)</sup>		$L_{W,A}$	dB	22,4						

1) Fornitore = Specifiche del fornitore; VDI = Calcolo o stima secondo la VDI 2081, foglio 1

2) Ottenuto per addizione logaritmica dei valori della pos. 17



- Condotte dopo il collettore: condotta in plastica flessibile diametro nominale 90, lunghezza 4 m
- Locale secondo l'esempio del capitolo 11.5 (vedi anche figura 11.1)

I dati dell'apparecchio di ventilazione, del silenziatore, della valvola di regolazione, della condotta in plastica e del passaggio d'aria immessa si basano su dati reali dei fornitori. La tabella 11.7 riassume i dati e i risultati. Il calcolo vale per la banda d'ottava da 63 Hz a 4000 Hz. La ponderazione A viene effettuata solo alla fine.

Il rumore di flusso proveniente dal silenziatore, dal collettore e dalle condotte dell'aria viene trascurato. Il livello sonoro all'uscita di questi componenti è uguale al livello sonoro all'ingresso meno l'attenuazione sonora del componente.

La valvola di regolazione e il passaggio d'aria immessa, invece, provocano rumori di flusso. Essi vengono calcolati come segue:

- Come valore intermedio, l'attenuazione acustica del componente viene sottratta dal livello di potenza sonora in entrata.
- Il livello di potenza sonora del valore intermedio viene aggiunto logaritmicamente al livello di potenza sonora del componente. Corrisponde al livello di potenza sonora all'uscita del componente.

Utilizzando i risultati della tabella 11.7, è ora possibile verificare se il requisito è soddisfatto. Il livello sonoro equivalente in una posizione all'interno del locale equivale a:

$$L_{Aeq,i} = L_{W,A} - D_{R,i} \quad (11.13)$$

dove nell'esempio  $L_{W,A}$  è il livello di potenza sonora ricavato dalla tabella 11.7, posizione 18, e  $D_{R,i}$  è l'attenuazione del locale nella posizione  $i$ , secondo il capitolo 11.5.

Per le posizioni M1 (vedi figura 11.1) si ottengono i seguenti risultati

$$L_{Aeq,1} = 22,4 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} = 21,9 \text{ dB}$$

e per M2

$$L_{Aeq,2} = 22,4 \text{ dB} - 1,5 \text{ dB} = 20,9 \text{ dB.}$$

Il valore medio energetico secondo la formula 11.11 equivale a  $L_{Aeq} = 21,4 \text{ dB}$ .

Con la formula 11.5 e i valori standard del capitolo 11.2, il valore di progetto per il rumore dell'impianto di ventilazione diventa

$$\begin{aligned} L_{H,d} &= 21,4 \text{ dB} + (-2 \text{ dB}) + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + \\ & 2 \text{ dB} \\ &= 23,4 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Per la verifica, si arrotonda per eccesso. Secondo l'equazione 11.2 vale quindi:

$$L_{H,d} = 24 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

Il requisito è quindi soddisfatto. Se in un locale sono presenti più passaggi d'aria, i livelli sonori vengono sommati energeticamente. Nel caso di due passaggi d'aria con livelli sonori identici, il livello sonoro equivalente  $L_{Aeq}$  e quindi anche il valore di progetto  $L_{H,d}$  aumentano di 3 dB.

Misure	Indice di attenuazione d'inserzione necessario a 500 Hz e 1000 Hz, se viene implementata una sola misura, per	
	Distribuzione a stella con condotte in plastica flessibili	Distribuzione ad albero con tubi spiro fino ai locali
Passaggio d'aria	12 dB per ogni passaggio	15 dB per ogni passaggio
Collettore di distribuzione fonoassorbente	25 dB tra le uscite ai locali	–
Silenziatore contro la telefonia a monte di ogni passaggio d'aria	10 dB per ogni silenziatore	12 dB per ogni silenziatore

Tabella 11.8: Valori di riferimento per l'indice di attenuazione d'inserzione necessario di singole misure.

### Protezione dal rumore per via aerea tra i locali

La SIA 181 si applica per la protezione dal rumore tra appartamenti. Per quanto riguarda la protezione dal rumore tra i singoli locali di un'abitazione, la SIA 382/5 prevede alla cifra 2.2.7.8:

*La protezione dal rumore per via aerea  $D_i$  degli elementi costruttivi di separazione tra i locali all'interno delle unità di utilizzo non deve essere indebolito in modo misurabile (arrotondato a 1 dB) dall'impianto di ventilazione. In assenza di requisiti per la protezione dal rumore per via aerea  $D_i$ , si raccomanda un valore minimo di 40 dB. Questa raccomandazione si applica ai locali senza l'influenza di porte, scale aperte e passaggi d'aria di transito.*

La verifica matematica di tale requisito può essere effettuata secondo la VDI 2081. È importante notare che i passaggi d'aria possono presentare valori d'attenuazione d'inserimento diversi al momento dell'ingresso e dell'uscita del rumore dal locale.

Nel caso di impianti per più appartamenti, si consiglia vivamente l'impiego di silenziatori contro la telefonia tra gli appartamenti. La tabella 11.8 mostra valori indicativi di misure per soddisfare i requisiti della SIA 382/5. Solo una delle misure

elencate deve essere implementata. In caso di trasmissione del suono tra i locali, oltre all'aria immessa occorre tenere conto anche dell'aria aspirata.

### 11.6 Protezione dal rumore verso l'esterno

In generale, le emissioni acustiche di impianti di ventilazione residenziali non sono problematiche verso l'esterno. Tuttavia, nel caso di impianti per più appartamenti e di facciate confinanti di case plurifamiliari con più passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa di impianti per singolo appartamento, occorre consultare specialisti in materia di protezione dal rumore.

Oltre all'Ordinanza contro l'inquinamento fonico OIF [8], occorre tenere conto anche del principio di prevenzione secondo la Legge federale sulla protezione dell'ambiente (LPAmb) [9] Art. 11 sezione 2. Essa esige:

*«Indipendentemente dal carico inquinante esistente, le emissioni, nell'ambito della prevenzione, devono essere limitate nella misura massima consentita dal progresso tecnico, dalle condizioni d'esercizio e dalle possibilità economiche.»*

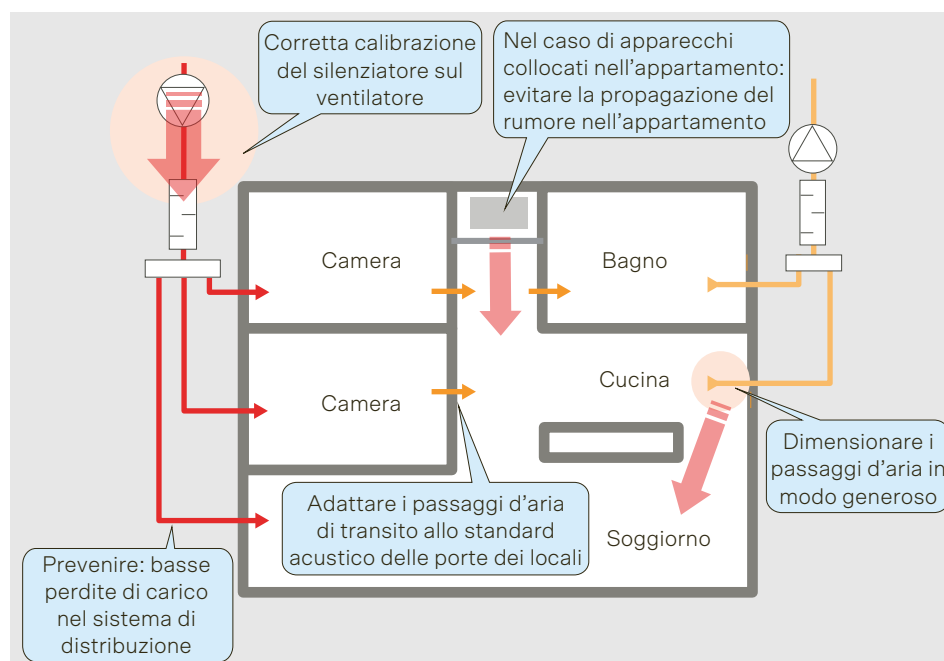


Figura 11.3: Punti da considerare per un buon isolamento acustico negli impianti di ventilazione residenziale.

Ciò può essere interpretato come segue: è tecnicamente opportuno ed economicamente ragionevole installare silenziatori nelle condotte dell'aria esterna e dell'aria espulsa se ciò riduce in modo udibile il livello sonoro, ad esempio, alla finestra più vicina o al patio del vicino. Oltre alle emissioni sonore dei passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa, anche il rumore dell'ambiente circostante svolge un ruolo importante.

### 11.7 Punti da considerare per una buona protezione dal rumore

Per una buona protezione dal rumore nel caso di impianti di ventilazione residenziale, i seguenti punti sono essenziali (vedi anche la figura 11.3):

- Perdite di carico contenute assicurano non solo un basso consumo energetico dei ventilatori, ma anche un basso livello sonoro dell'impianto.
- I silenziatori devono essere adattati all'apparecchio di ventilazione.
- I passaggi d'aria devono essere dimensionati in maniera generosa, in modo da ridurre al minimo il rumore di flusso.
- Gli apparecchi di ventilazione non dovrebbero venire installati nella zona abitativa. All'interno dell'abitazione, il ripostiglio e il locale tecnico costituiscono gli unici locali adatti. Le relative pareti e porte devono garantire un elevato livello di fonoisolamento.
- I passaggi d'aria di transito vengono adattati agli standard acustici delle porte del locale.
- Per una buona attenuazione del rumore da telefonia, viene selezionata una misura dalla tabella 11.8.

### 11.8 Letteratura

- [1] VDI 2081, Blatt 1: 2019-03 Raumlufttechnik – Geräuscherzeugung und Lärminderung. VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf
- [2] Huber, Heinrich; Mosbacher, René: Wohnungslüftung, Faktor Verlag, Zürich, 2006
- [3] Huber, Heinrich: Komfortlüftung in Wohngebäuden. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2016
- [4] SIA 181: 2020 La protezione dal rumore nelle costruzioni edilizie
- [5] SIA 382/5: 2021 Ventilazione meccanica negli edifici abitativi
- [6] Cercle Bruit, Vollzugshilfe 6.20: Lärmrechtliche Beurteilung von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen. Vereinigung Kantonaler Lärmschutzfachleute, 2020. Download via [www.cerclebruit.ch](http://www.cerclebruit.ch)
- [7] KWL-Tool: [www.kwl-tool.ch](http://www.kwl-tool.ch), Enerhaus Web Services GmbH, Zuchwil, <https://enerweb.ch/support-kwl.html>
- [8] Ordinanza contro l'inquinamento fonico del 15 dicembre 1986 (OIF; SR 814.41)
- [9] Legge federale sulla protezione dell'ambiente del 7 ottobre 1983 (LPAmb; SR 814.01)

## Consegna ed esercizio

### 12.1 Consegna

Con la consegna, l'impianto diventa proprietà e responsabilità del cliente. Da questo momento iniziano a decorrere i termini di reclamo e garanzia. La consegna è costituita da cinque parti:

- Controllo di completezza
- Verifica delle funzioni
- Misurazione delle funzioni
- Ispezione igienica iniziale
- Documentazione dell'impianto

La consegna viene protocollata. Nel caso di impianti per singolo appartamento, si può utilizzare il breve formulario del documento «Garanzia di prestazione» di Minergie, Suissetec e SvizzeraEnergia [1]. Nel caso di impianti per più appartamenti si può utilizzare il formulario dettagliato della SITC 96-5 [2].

#### Controllo di completezza

Il controllo di completezza comprende:

- La completezza e la qualità concordata del materiale ordinato
- L'installazione tecnicamente corretta e conforme alle prescrizioni
- L'accessibilità per l'esercizio e la manutenzione dell'impianto
- La pulizia

La completezza comprende, tra l'altro, che l'impianto di ventilazione si trovi in condizioni pulite. Un impianto sporco non è pronto per l'esercizio. Se necessario, deve essere richiesta la pulizia a spese dell'installatore.

Se i filtri sono stati contaminati/utilizzati durante la messa in funzione, devono venire sostituiti durante il controllo della pulizia. Dopo questa sostituzione del filtro, sull'impianto dovrebbe essere presente almeno un set di filtri di ricambio per ogni apparecchio. Ciò vale per tutti i tipi di filtri, quindi anche per tutti gli elementi dell'involucro di passaggio d'aria, gli apparecchi di ventilazione per singolo locale, i passaggi d'aria di transito e i

passaggi d'aria aspirata. Per creare condizioni chiare, la pulizia eventualmente necessaria e il numero di filtri di ricambio dovrebbero essere regolamentati nel contratto d'appalto.

### 12.2 Verifica e misurazione delle funzioni

La verifica delle funzioni serve a verificare se l'impianto è stato messo in servizio correttamente. Ulteriori verifiche delle

funzioni possono venire effettuate in qualsiasi momento, ad esempio dopo una revisione o in occasione di un cambio di proprietà. Se non diversamente concordato, la verifica delle funzioni deve essere eseguita con filtri puliti.

La corretta direzione di flusso in tutti i passaggi d'aria viene verificata con un test di plausibilità, ad esempio con fiale fumogene, e con la verifica del protocollo di messa in funzione. La misurazione e la regolazione di tutti i passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata devono essere documentate in forma tabellare. Il documento risultante è parte integrante del protocollo di messa in funzione. Sono noti diversi casi di condotte dell'aria ostruite o di condotte dell'aria immessa e dell'aria aspirata invertite, che sono state scoperte troppo tardi a causa di verifiche delle funzioni poco accurate.

Durante la verifica delle funzioni, viene verificato anche il controllo/regolazione. In tal caso viene verificato il funzionamento delle posizioni degli interruttori, dei programmi orari e dei telecomandi. Inoltre, vengono controllate le funzioni di sicurezza.

#### Tolleranze e incertezze di misurazione

Le misurazioni delle funzioni hanno lo scopo di verificare che i valori concordati vengano raggiunti. A tal proposito, occorre distinguere tra l'incertezza di misurazione e la tolleranza rispetto al valore nominale:

- L'**incertezza di misurazione** indica l'accuratezza di un apparecchio o di un metodo di misurazione utilizzato. Pertanto, entrambi devono essere descritti nel protocollo di messa in funzione. L'incertezza di misurazione è specificata in base agli standard internazionali con un intervallo di confidenza del 95 %.
- La **tolleranza del valore nominale** descrive quale scarto sia consentito tra il valore misurato e il valore nominale. Il valore letto dal contatore o il valore calcolato dalla lettura deve rientrare nella tolleranza.

La tabella 12.1 fornisce proposte per incertezze e tolleranze di misurazione consentite. Si distinguono tre tipologie di valore di misurazione:

- Per un **valore di intervallo**, la tolleranza non può essere superata né in eccesso, né in difetto.

- Un **valore minimo** può essere superato in difetto di al massimo la tolleranza specificata. Un valore più alto è sempre consentito.
- Un **valore massimo** può essere superato in eccesso di al massimo la tolleranza specificata. Un valore più basso è sempre consentito.

Per poter valutare una misurazione, occorre conoscere le condizioni quadro. Esse sono definite da **valori di riferimento**. Ad esempio, se si vuole valutare l'efficienza termica del RC, occorre misurare le temperature dell'aria aspirata e dell'aria esterna, oltre alla temperatura dell'aria immessa. Tuttavia, poiché la ventilazione residenziale non può influenzare ad esempio la temperatura esterna, non vi sono requisiti per la tolleranza dei valori di riferimento, mentre vi sono invece requisiti per l'incertezza di misurazione.

Tabella 12.1: Proposta per incertezze di misurazione e tolleranze consentite di valori nominali.

Valore di misurazione	Tipo di valore misurato	Incetezza di misurazione ampliata consentita <sup>1)</sup>	Tolleranza consentita rispetto al valore nominale
<b>Flusso d'aria</b>			
– Di un locale	Intervallo	$\pm (2,5 \text{ m}^3/\text{h} + 5\% \text{ del valore di misurazione})$	$\pm (3,0 \text{ m}^3/\text{h} + 6\% \text{ del valore di misurazione})$
– Di un intero appartamento e di un intero impianto	Intervallo	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
<b>Temperatura dell'aria</b>			
– Impianto solo con RC: uscita dell'IMM all'app. <sup>2)</sup>	Minimo	$\pm 0,5 \text{ K}$	$-1,0 \text{ K}$
– Impianto con post-riscaldatore: uscita dell'aria immessa all'apparecchio	Intervallo	$\pm 0,5 \text{ K}$	$\pm 1,0 \text{ K}$
– Rimanenti temperature dell'aria	Di riferimento	$\pm 0,5 \text{ K}$	–
<b>Umidità relativa dell'aria</b>			
– Aria interna	Intervallo	$\pm 5\% \text{ r. F.}$	<sup>4)</sup>
– Aria immessa di impianti con recupero dell'umidità <sup>3)</sup>	Minimo	$\pm 5\% \text{ r. F.}$	$-15\%$
– Rimanenti umidità dell'aria	Di riferimento	$\pm 5\% \text{ r. F.}$	–
<b>Velocità media dell'aria interna</b>	Massimo	$\pm 0,05 \text{ m/s}$	$+ 15\%$
<b>Differenza di pressione</b>			
– Sottopressione consentita nei locali <sup>5)</sup>	Massimo	$\pm 1 \text{ Pa}$	$+ 0\%$
– Perdita di carico di distribuz. dell'aria e componenti	Massimo	$\pm 3 \text{ Pa}$	$+ 10\%$
– Press. di convogliamento esterna dell'app. di vent.	Di riferimento	$\pm 3 \text{ Pa}$	–
<b>Potenza elettrica assorbita dal ventilatore</b>	Massimo	Classe 1 <sup>6)</sup>	$+ 10\%$
<b>Livello sonoro equivalente e livello di valutazione</b>	Massimo	Classe 1 <sup>7)</sup>	$+ 0 \text{ dB}^{8)}$

1) Con un intervallo di confidenza del 95 %

2) In condizioni invernali, senza condensa, la funzione di protezione dalla formazione di ghiaccio del RC non è attiva. Il valore nominale viene determinato in base alle specifiche del fabbricante dell'apparecchio di ventilazione e ai valori di riferimento.

3) Solo per scambiatori entalpici; condizioni come al punto 2)

4) Vedi capitolo 1.5

5) La sottopressione è definita come un valore positivo. Se la pressione nel locale è, ad esempio, inferiore di 4 Pa rispetto alla pressione all'esterno, la sottopressione è di + 4 Pa.

6) Secondo la SN EN 12599, tabella D.7

7) Secondo la SIA 181:2020, A.4.1

8) Secondo la SIA 181:2020, cifra 2.1.2

È necessario concordare come gestire la tolleranza e l'incertezza di misurazione. Un requisito appropriato prevede che il valore misurato rientri nella tolleranza e che allo stesso tempo sia rispettata l'incertezza di misurazione specificata. Se il valore misurato non rientrasse nella tolleranza, il risultato non dovrebbe venire accettato. Ciò significa, in particolare, che la tolleranza e l'incertezza di misurazione non possono venire sommate.

Le tolleranze e le incertezze di misurazione delle grandezze di calcolo, come l'efficienza termica di un RC o la potenza specifica dell'apparecchio (SPI), devono essere concordate separatamente. La FprEN 308:2021 specifica, tra l'altro, diverse classi di precisione.

### Flussi d'aria

La misurazione più importante per gli impianti di ventilazione residenziale riguarda il flusso d'aria in esercizio normale. A tal fine, i valori devono essere misurati in tutti i locali e su tutti i passaggi d'aria. I metodi di misurazione più comuni sono:

- **Anemometro:** nel caso di sezioni di condotte e flussi d'aria comuni per le ventilazioni meccaniche controllate, l'incertezza di misurazione degli anemometri si aggira attorno al 20%, persino in condizioni di laboratorio. Inoltre, in impianti reali è raro che vi siano condotte rettilinee sufficientemente lunghe in cui sia presente il necessario profilo di flusso

omogeneo. Gli anemometri sono quindi adatti solo per le regolazioni iniziali e i controlli di plausibilità. Per le misurazioni delle funzioni durante la consegna sono troppo imprecisi.

- **Cono di misurazione:** secondo il produttore, l'incertezza di misurazione dei coni di misurazione è di circa il 10%. Tuttavia, per flussi d'aria inferiori a circa 50 m<sup>3</sup>/h, è probabile che l'incertezza di misurazione aumenti. Si stima che l'incertezza assoluta di misurazione sia di almeno 5 m<sup>3</sup>/h.

- **Apparecchi con compensazione di pressione:** con questo metodo, la perdita di carico dell'apparecchio di misurazione viene compensata da un ventilatore di supporto. La figura 12.1 mostra un esempio di apparecchio che a partire da 10 m<sup>3</sup>/h opera con un'incertezza di misurazione del 3%; al di sotto di 10 m<sup>3</sup>/h l'incertezza di misurazione è pari a 3 m<sup>3</sup>/h. Una misurazione richiede solo pochi secondi. Questi dispositivi sono notevolmente più costosi dei coni di misurazione, ma possono venire presi in prestito presso alcuni fornitori e istituti. Nel caso di esigenze di regolazione elevate, nonché di perizie e valutazioni, è consigliabile utilizzare apparecchi con compensazione di pressione.

Figura 12.1:  
Strumento di misurazione del flusso d'aria con compensazione della pressione zero.  
(Fonte: ACIN instrumenten bv, BG Rijswijk NL)



### 12.3 Ispezione igienica iniziale

Tra la pulizia finale dell'edificio e la presa in consegna dell'appartamento, l'impianto di ventilazione dovrebbe venire ispezionato per quanto riguarda l'igiene da un'azienda indipendente. Nel caso di impianti puliti dal punto di vista visivo, il cui lato dell'aria immessa non entra mai in contatto con acqua allo stato liquido, il rischio di contaminazione rilevante per la salute dell'aria immessa è molto basso. Nel caso di una evidente presenza di sporcizia, invece, l'impianto deve essere in ogni caso pulito. Se vi è il sospetto di condotte sporche, occorre effettuare un'ispezione con una telecamera per condotte. I costi di questa ispezione dovrebbero essere già regolati nel contratto d'appalto.

Durante l'installazione possono presentarsi situazioni che causano la contaminazione dell'aria immessa. Per eliminare tali rischi, durante l'ispezione igienica iniziale si raccomanda la misurazione di agenti patogeni nei seguenti punti:

- Aria esterna (come valore di confronto)
- Aria immessa dopo l'app. di vent.
- Aria immessa all'ingresso del locale – nel caso di impianto per singolo appartamento in due locali, nel caso di impianti per più appartamenti in un locale per ogni appartamento

Ispezioni igieniche e pulizia sono compiti impegnativi che richiedono una formazione e un'esperienza adeguata. Di conseguenza, i tecnici addetti dovrebbero essere in grado di presentare certificati di formazione in materia d'igiene.

## 12.4 Documentazione e istruzione

Al momento della consegna, la documentazione e le istruzioni d'uso dell'impianto vengono consegnate al cliente e al gestore. Essi devono contenere le seguenti parti:

- Brevi istruzioni per gli utenti, su circa una pagina A4
- Piano di manutenzione, comprensivo di informazioni sui filtri, intervalli di ispezione e procedure di pulizia adeguate
- Indirizzo dell'azienda di servizio
- Indirizzo per l'acquisto di materiali di consumo e parti di ricambio (filtri)
- Indirizzo degli installatori, dei progettisti e dei fornitori coinvolti
- Schema di principio e piano di revisione dell'impianto
- Schede tecniche di apparecchi e comp.
- Schema elettrico
- Protocollo di messa in funzione
- Diario per la documentazione del servizio, delle revisioni e delle modifiche

Il committente e il gestore dell'edificio vanno informati e istruiti in merito all'esercizio e alla manutenzione. Ciò include:

- Livelli d'esercizio dell'impianto di ventilazione: scopo e utilizzo

- Apertura supplementare delle finestre, soprattutto per quanto concerne il dormire con la finestra aperta
- Umidità dell'aria interna: comportamento e misure in caso di umidità dell'aria interna troppo bassa e troppo alta
- Comportamento in caso di appartamenti non occupati, soprattutto in inverno (vacanze, cambio di inquilini, appartamenti di vacanza, ecc.)
- Possibilità e limiti dell'impianto di ventilazione: odori esterni, fumo, bastoncini d'incenso, asciugatura del bucato e altre importanti fonti di contaminazione
- Esercizio estivo e protezione termica estiva: spegnimento dell'impianto di ventilazione, bypass estivo, raffrescamento notturno con ventilazione tramite le finestre, azionamento del dispositivo di ombreggiamento
- Passaggi d'aria di transito (PAT): non collocare tappeti nelle fessure sotto le porte che fungono da PAT
- Manutenzione: illustrare le responsabilità in base al piano di manutenzione
- Dimostrazione della sostituzione dei filtri; istruzioni sulle modalità di manipolazione dei filtri (protezione dalla contaminazione, smaltimento)
- Comportamento in caso di malfunzionamento dell'impianto di ventilazione
- Comportamento in caso di incendio e guasti
- Se l'aria aspirata della cucina è integrata nella ventilazione meccanica controllata: esercizio e manutenz. filtro

## 12.5 Manutenzione

Al più tardi al momento della consegna dell'impianto, devono venire definite le responsabilità per gli interventi di manutenzione. Ciò include anche i contratti di manutenzione. Se il lavoro di controllo viene svolto da persone non esperte, queste vanno istruite da specialisti.

### Filtro

Il filtro dell'aria immessa è un elemento igienico fondamentale. A seconda della qualità dell'aria esterna e del dimensionamento, i filtri dovrebbero venire sostituiti da una a tre volte l'anno.



Nel caso di impianti per singolo appartamento in appartamenti in affitto, i filtri devono essere sostituiti dal proprietario o da persone incaricate, come ad esempio dal personale di servizio. Non è consigliato far cambiare i filtri agli inquilini.

### **Manutenzione e pulizia tramite il gestore**

I gestori degli impianti devono pulire solo le parti dell'impianto accessibili senza attrezzi e che possono essere pulite senza rischi per la sicurezza. Ad es., non dovrebbe essere necessaria una scala. In primo luogo, si tratta di parti facilmente accessibili, come elementi dell'involucro di passaggio d'aria, passaggi d'IMM e d'ASP, nonché PAT. Tuttavia, i passaggi d'aria dovrebbero venire puliti dai gestori solo se i flussi d'aria impostati non vengono modificati durante il processo.

Per case monofamiliari e appartamenti in proprietà per piani, è eventualmente possibile concordare che i proprietari controllino e puliscano autonomamente gli apparecchi di ventilazione. In tal caso, dovrebbe venire indossato lo stesso equipaggiamento di protezione utilizzato per la sostituzione dei filtri.

La pulizia viene effettuata all'occorrenza, cioè quando una parte dell'impianto appare visivamente sporca. A tale scopo, quando possibile, si utilizzano panni asciutti e puliti o di carta. Se necessario, si può ricorrere alla pulizia a umido con acqua. Non dovrebbero venire utilizzati detergenti, poiché i loro residui entrano in seguito nella ventilazione e quindi nell'aria del locale.

### **Ispezione e pulizia**

Una ventilazione meccanica controllata deve essere regolarmente ispezionata da personale qualificato e, se necessario, pulita. L'intervallo dipende dalla sollecitazione, cioè dalla qualità dell'aria esterna, dalla posizione della presa d'aria esterna, dalla quantità di polvere presente nell'abitazione.

Se non vi è un contratto di manutenzione che preveda un'ispezione più frequente, si consiglia di far controllare una ventila-

zione meccanica controllata da un'azienda specializzata ogni 3–5 anni. La pulizia, tuttavia, viene effettuata solo all'occorrenza. Misurazioni dei germi dovrebbero essere organizzate se si sospetta che umidità e sporcizia siano penetrati dal lato dell'aria esterna o immessa.

Se la presa dell'aria esterna è posizionata correttamente e i filtri sono sottoposti a una corretta manutenzione, la distribuzione dell'aria immessa rimane pulita per decenni. Il lato dell'aria aspirata, invece, può sporcarsi. Pertanto, è consigliabile pulire la distribuzione dell'aria aspirata dopo circa 8–12 anni. Tale periodo dipende dalla quantità di polvere presente nell'abitazione. Tessuti di arredo, animali domestici, lacca per capelli e fuliggine di candela favoriscono la contaminazione. Il lavoro necessario per l'ispezione e la pulizia dipende fortemente dalle dimensioni, dall'accessibilità e dalle condizioni dell'impianto. Per impianti semplici e non particolarmente sporchi, dovrebbe essere sufficiente un'ispezione di mezza giornata. Ciò include anche semplici lavori di manutenzione e pulizia. Un team di due persone dovrebbe essere in grado di pulire la ventilazione meccanica controllata di una semplice casa monofamiliare in un giorno di lavoro. In caso di sporco intenso, tuttavia, il lavoro può risultare notevolmente più oneroso. La stima del tempo necessario si basa inoltre sul fatto che gli impianti siano stati progettati a regola d'arte e siano quindi facilmente accessibili. Si presume pure che non vi sia alcuno sporco derivante dalla fase di costruzione. La lista di controllo contenuta nell'appendice a pagina 157 fornisce informazioni relative ai tipici interventi di manutenzione.

## **12.6 Letteratura**















- [1] Garanzia di prestazione, Aerazione controllata SvizzeraEnergia, Ufficio federale dell'energia UFE, Berna, 2019, Download all'indirizzo: <https://pubdb.bfe.admin.ch/it/publication/download/2610>
- [2] SITC 96-5 Protocolli di collaudo, 1997

## Allegato

### 13.1 Autore

Heinrich Huber è stato docente a tempo pieno di impiantistica degli edifici presso la Fachhochschule Nordwestschweiz e la Hochschule Luzern dal 2011 al 2022. Il suo campo di specializzazione è la ventilazione residenziale. In questo ambito è uno dei maggiori esperti in Svizzera. A tale proposito, ha scritto libri specialistici, guidato progetti di ricerca, tenuto conferenze e scritto articoli specialistici. Inoltre, è stato attivo nell'ambito delle normative nazionali e internazionali.

### 13.2 Simboli

Simboli della tecnica di ventilazione in conformità con la EN 12792			
Simbolo	Significato	Simbolo	Significato
	Ventilatore con motore		Clappa
	Batteria di riscaldamento		Regolatore di flusso d'aria costante
	Batteria di raffreddamento		Regolatore di flusso d'aria variabile o a più livelli
	Scambiatore di calore per il recupero di calore		Regolatore
	Silenziatore		Sensore di temperatura
	Filtro		Sensore di pressione
	Griglia di protezione dalle intemperie, passaggio d'aria esterna e d'aria espulsa		Unità di comando

### 13.3 Abbreviazioni

AE	Aria esterna
ASP	Aria aspirata
AVNR	Apparecchio di ventilazione non residenziale
CLA	Coefficiente di lavoro annuo
CMF	Casa monofamiliare
CPF	Casa plurifamiliare
DN	Diametro nominale
EIPA	Elemento dell'involucro di passaggio d'aria
ESP	Aria espulsa
IMM	Aria immessa
IVPA	Impianto di ventilazione per più appartamenti
IVR	Impianto di ventilazione residenziale
IVSA	Impianto di ventilazione per singolo appartamento
MoPEC	Modello di prescrizioni
NTU	Number of Transfer Units («Numero di unità di trasmissione»)
PAT	Passaggio d'aria di transito
PdC	Pompa di calore
PdC-ASP	Pompa di calore sull'aria aspirata
PI	Piano interrato
PM10	Polveri fini (Particulate Matter) con diametro inferiore a 10 micrometri, idem PM2,5 con diametro inferiore a 2,5 micrometri e PM1 con diametro inferiore a 1 micrometro
RC	Recupero di calore
SEC	Seasonal Energy Consumption, vedi SEV
SEV	Consumo energetico specifico degli apparecchi di ventilazione secondo l'etichetta energetica
SFP	Potenza specifica del ventilatore (Specific Fan Power)
SPI	Potenza specifica dell'apparecchio (Specific Power Input)
TVOC	Total Volatile Organic Compounds → VOC
UCR	Utilizzo del calore residuo energetiche dei Cantoni
VOC	Idrocarburi volatili (Volatile Organic Compounds)

### 13.4 Termini e definizioni importanti

- **Flusso d'aria di riferimento:** Flusso d'aria al quale si riferiscono i dati di prestazione di un apparecchio di ventilazione (dati del produttore)
- **Coefficiente di lavoro annuo:** Rapporto tra l'energia fornita a una pompa di calore e il calore effettivamente generato dal riscaldamento nel corso di un anno.
- **Tasso di perdita d'aria:** Rapporto tra il flusso d'aria da perdite e il flusso d'aria di riferimento dell'apparecchio di vent., chiamato anche quota d'aria da perdite.
- **Flusso d'aria determinante:** Flusso d'aria su cui è basato il dimensionamento di un impianto
- **Tasso di miscelazione:** Cortocircuito tra aria esterna e aria espulsa, o tra aria immessa e aria aspirata
- **Esercizio normale:** Vedi tabella 1.4
- **Esercizio di base:** Vedi tabella 1.4
- **Esercizio intensivo:** Vedi tabella 1.4
- **Regolazione:** Secondo la DIN, la regolazione è un processo in cui una variabile da controllare viene continuamente rilevata, confrontata con una variabile di riferimento e influenzata nel senso di un avvicinamento alla variabile di riferimento.
- **Regolare, o impostare:** In questo caso intenso nel senso di regolazione di un impianto per un esercizio ottimale, attraverso misure di controllo o di regolazione.
- **Controllo:** Secondo la DIN, il controllo è un processo in cui una o più variabili di ingresso influenzano una o più variabili di uscita di un sistema.

### 13.5 Codici colore per i tipi di aria

AE	verde
Aria da perdite (in un impianto)	grigio
Aria di transito	grigio
Aria interna	grigio
ASP	giallo
Collegamento	arancio
ESP	marrone
IMM impiant. di vent. con RC	rosso
IMM impiant. di vent. senza RC	verde
Infiltrazione	grigio

### 13.6 Lista di controllo per gli interventi di manutenzione

Ogni anno in estate		
1.1	Passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa	Verificare l'assenza di sporco, danni e corrosione. Pulire e, se necessario, determinare la causa dello sporco
1.2	Scambiatore di calore terreno-aria	Verificare la presenza di acqua stagnante e di sporco visibile; pulire e determinare tutte le cause di sporco o di acqua stagnante; controllare lo scarico della condensa; riempire il sifone
1.3	Filtro	Controllare: sporco non consentito, pressione differenziale, indicatore del filtro; se necessario, sostituire e smaltire il filtro
1.4	Bypass estivo (nell'apparecchio di vent.)	In una giornata calda: verificare se il bypass si apre
1.5	Protezione dalla formazione di ghiaccio e batteria di riscaldamento	Controllare se completamente spenta, anche l'eventuale pompa di circolazione
1.6	Passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata	Controllare la presenza di sporco, pulire; in caso di sporco intenso, determinarne la causa; non modificare le impostazioni

Ogni anno in inverno		
1.11	Filtro dell'aria immessa	Sostituire e smaltire il filtro; verificare la presenza di umidità; se necessario, determinare la causa di tale umidità
1.12	Filtro dell'aria aspirata	Sostituire e smaltire il filtro
1.13	Apparecchio di ventilazione	Controllare tutti i componenti (ventilatori, recuperatore di calore, batteria di riscaldamento dell'aria, serrande, involucro) per verificare l'assenza di sporcizia, corrosione, danni e formazione di acqua, quindi pulirli
1.14	Scarico della condensa	Controllare lo scarico della condensa, riempire il sifone
1.15	Bypass estivo	Verificare se il bypass è chiuso
1.16	Protezione dalla formazione di ghiaccio	A una temperatura esterna superiore a 0 °C: verificare che sia spenta
1.17	Controllo/regolazione	Verificare i livelli di esercizio: valutare il funzionamento della regolazione; controllare l'impostazione dei programmi temporali; se necessario, effettuare un controllo dettagliato da parte di un'azienda specializzata o del fornitore

Ogni 2 anni		
2.1	Passaggi d'aria di transito	Controllare il funzionamento e lo sporco; se necessario, sostituire i filtri presenti, pulirli; in caso di forte sporcizia, determinarne la causa
2.2	Condotte dell'aria	Verificare la presenza di sporco importante in punti facilmente accessibili (p. es., in prossimità dei passaggi d'aria e dell'allacciamento all'apparecchio di ventilazione) nell'ottica di un campionamento

#### Nel caso di appartamenti in affitto ogni 3 anni, nel caso di appartamenti in proprietà ogni 5 anni al massimo

Questi lavori devono essere eseguiti da aziende specializzate.

3.1	Passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa <sup>1)</sup>	Ispezione
3.2	Scambiatore di calore terreno-aria <sup>1)</sup>	Controllare lo scambiatore di calore terreno-aria, nel caso di sospetto di sporcizia, se necessario con una telecamera per condotte
3.3	Apparecchio di ventilazione <sup>1)</sup>	Pulizia e controllo del funzionamento
3.4	Distribuzione dell'aria, compresi i passaggi d'aria immessa e d'aria aspirata <sup>1)</sup>	Controllare diverse condotte nell'ottica di un campionamento – nel caso di sospetto di sporcizia, se necessario con una telecamera per condotte; dopo il controllo e la pulizia, impostare e misurare i flussi d'aria
3.5	Controllo/regolazione	Verificare il funzionamento della regolazione: livelli di esercizio, bypass estivo, protezione dalla formazione di ghiaccio, post-riscaldatori se presenti

<sup>1)</sup> La persona che esegue il lavoro deve aver completato con successo almeno un corso di formazione sull'igiene di categoria B per un'ispezione igienica in conformità con la SITC VA104-01 [1].

#### Nel caso di appartamenti in affitto ogni 6 anni, nel caso di appartamenti in proprietà ogni 10 anni al massimo

Ispezione da parte di uno specialista che ha assolto una formazione in materia di igiene di categoria A secondo la SITC VA104-01.

[1] SITC VA104-01: Impianti di ventilazione – Qualità dell'aria – Parte 1: Requisiti igienici per impianti e apparecchi di ventilazione, edizione 2019.

Nota: A parte l'allegato nazionale, il testo tedesco della direttiva è identico a quello della direttiva VDI 6022 Blatt 1

## 13.7 Indice dei termini

### A

Abbreviazioni 164  
Apparecchi 115  
Apparecchi di ventilazione  
Igiene 115  
Apparecchi di ventilazione per impianti  
per  
Più appartamenti 75  
Apparecchi multifunzionali 135  
Aria interna  
Classi secondo la SIA 7, 13  
Assorbimento acustico nel locale 149  
Attenuazione del locale 152

### C

Calcolo acustico impianti 154  
Calibrazione e misurazione 61  
Cappa d'aspirazione  
Collegamento alla ventilazione  
meccanica controllata 139  
Cappa d'aspirazione ad aria espulsa 137  
Circolazione dell'aria nelle abitazioni 24  
Classi di filtro 115  
Classificazione energetica 133  
Codici colore per i tipi di aria 164  
Collegamento  
Con distribuzione attiva 28  
Con distribuzione libera, principio 32  
Componenti 115  
Concetto di ventilazione 15  
Condotte  
Isolamento termico 125  
Condotte dell'aria, dimensionamen-  
to 59  
Condotte, fabbisogno di materiale e di  
spazio 60  
Consegna ed esercizio 158  
Contaminazione dell'aria esterna 7  
Contaminazione dell'aria interna 7  
Contenuto di CO<sub>2</sub> 6  
Controllo/regolazione 12  
Convogliamento dell'aria 116  
Coordinamento nella progettazione 57  
Cortocircuito del flusso 124  
Cucine 41

### D

Disequilibrio 112, 120  
Dispositivi di ventilazione a finestra 43  
Distanza tra il passaggio d'aria esterna e  
quello d'aria espulsa 76  
Distribuzione dell'aria 24  
Nel locale 34  
Documentazione 80  
Documentazione e istruzione 161

### E

Eco-Design 133  
Elementi dell'involucro di passaggio  
d'aria  
Comfort termico 93  
Dimensionamento acustico 94  
Dimensionamento della  
circolazione 92  
Dimensionamento esercizio  
continuo 88  
Dimensionamento esercizio on/off 87  
Dimensionamento impianto  
d'aspirazione per appartamento 89  
Verifica protezione dal rumore 95  
Ermeticità all'aria della superficie  
dell'involucro 21

### F

Fabbisogno annuo specifico di energia  
elettrica 132  
Fabbisogno energetico 115  
Fabbisogno energetico annuo di impianti  
di ventilazione 127  
Fabbisogno specifico di potenza  
elettrica 132  
Fattore di contaminazione del filtro 115,  
116  
Fattore di disequilibrio 121  
Fessura libera porta 37  
Filtro 116, 161  
Finestre 19  
Flussi d'aria aspirata, minimi 40  
Flusso d'aria  
Determinante 63  
Profilo temporale 25  
Focolari 141

### G

Gestione 12

## I

- Impianti di ventilazione per singolo locale
  - Abbinamento con impianti d'aspirazione 109
- Impianti per più appartamenti
  - Collocazione dell'apparecchio 72
- Impianti per singoli contro impianti per più appartamenti 50
- Impianti per singolo appartamento 68
  - Collocazione dell'apparecchio 67
  - Perdite di carico 71
- Impianto d'aspirazione
  - Infiltrazione 86
  - Perdita di carico 117
- Impianto d'aspirazione 44
  - Controllo/regolazione 90
  - Dimensionamento e flussi d'aria 86
  - Igiene e manutenzione 84
  - Layout/disposizione 90
  - Limiti d'impiego 45
  - Punti di leva 83
  - Radon 145
  - Rapporti di pressione e flussi d'aria 84
  - Studio pratico 98
  - Tipi 84
- Indice di fonoisolamento 38
- Interventi di manutenzione 165
- Isolamento termico 61
- Isolamento termico della distribuzione dell'aria 125
- Ispezione 162
- Ispezione igienica iniziale 160

## L

- Livello sonoro, ponderazione A 147
- Locali con utilizzo di breve durata 41
- Locali secondari 22

## M

- Manutenzione 20, 161
- Materiali da costruzione sensibili all'umidità 11

## N

- Norme 6

## O

- Occupazione e utilizzo 15

## P

- Passaggi d'aria aspirata 35
- Passaggi d'aria di transito
  - Posizionamento 39
- Passaggi d'aria immessa
  - Induzione debole 35
  - Induzione normale 34
- Passaggio d'aria di transito 35
- Perdite e tassi di trasmissione 124
- Perdite termiche per ventilazione 128
- Pompa di calore, coefficiente di lavoro 133
- Porta come elemento di collegamento 32
- Potenza del ventilatore, specifica 116
- Potenza sonora 147
- Pressione sonora 147
- Principio a cascata 27
- Produzione di umidità 8
- Progettazione 56
- Propagazione del suono nei locali 151
- Protezione antincendio 13, 22
- Protezione contro l'umidità e umidità dell'aria interna 17
- Protezione dalla formazione di ghiaccio
  - Fabbisogno energetico 129
  - RC 122
- Protezione dal rumore 147
  - Verifica 148
  - Verso l'esterno 156
- Protezione dal rumore per via aerea tra i locali 156
- Protezione termica estiva 12
- Pulizia 162

## Q

- Qualità dell'aria 6
- Qualità dell'aria esterna 21
- Qualità dell'aria interna percepita 16

## R

- Radon 8, 145
- Raffrescamento notturno 12
- Rapporti di pressione 20
- Rapporti di pressione, cascata 27, 28
- Rapporto di temperatura 118
- Recupero di calore e di umidità 117
- Riflesso finale 152
- Rigeneratore, statico 118
- Riscaldamento ad aria 144
- Rumore esterno 21

## S

- Scambiatore di calore dal terreno 78
- Scambiatori di calore a piastre 117
- Scambiatori entalpici
  - Formazione di ghiaccio 118
- Scantinati 142
- SFP (Specific Fan Power), potenza specifica del ventilatore 116
- Silenziatori 153
- Sistemi di ventilazione 42
- Sostituzione del filtro 116
- SPI (Specific Power Input), potenza specifica dell'apparecchio 116
- Svolgimento del progetto 56

## T

- Temperatura di congelamento 119
- Tipi di condotte e materiali 59
- Tolleranze e incertezze di misurazione 158
- Tubi a spirale aggraffati 59

## U

- Umidità dell'aria interna 8
- Unità di regolazione dell'aria residenziale 72

## V

- Velocità dell'aria 59
- Ventilatori di collegamento 31
- Ventilatori push-pull 102, 107
  - Flusso d'aria 104
- Ventilazione con funzione di riscaldamento 47
- Ventilazione della zona di cottura
  - Aria di compensazione 138
- Ventilazione meccanica controllata
  - Collocazione dell'apparecchio 73
  - Controllo/regolazione 65
  - Distribuzione dell'aria 65
  - Passaggi d'aria esterna e d'aria espulsa 76
  - Perdita di carico 117
  - Perdite di carico e fabbisogno energetico 74
  - Progettazione 62
  - Pulizia e igiene 79
  - Punti di leva 62
  - Utilizzo 65

Ventilazione miscelata, limiti 39

Ventilazione naturale 42

Ventilazione per singolo locale 34

- Combinazione con impianti d'aspirazione 48

- Combinazione con impianti d'aspirazione 107

- Filtro 104

- Flussi d'aria determinanti 101

- La pratica 112

- Punti di leva 100

- Rumore 105

- Sensibilità del flusso d'aria 102

- Tipi di apparecchio 101

- Umidità dell'aria interna 101

Ventilazione residenziale

- Confronto tra i sistemi 130

- Confronto tra sistemi 54

Ventilazione tramite le finestre, manuale 42

Verifica e misurazione delle funzioni 158

## Z

Zona di permanenza 20

Zone di installazione 22