



QUALITÀ DELL'ARIA INTERNA NEGLI EDIFICI: DALL'APPROCCIO PRESCRITTIVO ALLA PROGETTAZIONE PRESTAZIONALE

La IAQ è oggi un parametro chiave nella progettazione degli edifici efficienti.

La normativa europea, con la **UNI EN 16798**, adotta un approccio prestazionale basato sul controllo degli inquinanti e sull'integrazione tra salute, salubrità, comfort ed efficienza energetica.



Qualità dell'aria interna negli edifici: dall'approccio prescrittivo alla progettazione prestazionale

► di Paola Allegri

Ingegnere civile e docente MIUR, Presidente del Progetto Esperti Edificio Salubre e dell'Associazione Donne Geometra

La qualità dell'aria interna (IAQ) rappresenta oggi un parametro strategico nella progettazione degli edifici ad alta efficienza energetica. L'evoluzione normativa europea, culminata nella serie UNI EN 16798, ha introdotto un approccio prestazionale basato sul controllo dell'esposizione agli inquinanti e sull'integrazione tra salute, salubrità, comfort ed efficienza energetica. L'articolo analizza la transizione dai modelli prescrittivi ai paradigmi prestazionali, approfondendo la classificazione dei flussi aeraulici, il ruolo della ventilazione nella mitigazione del rischio biologico e le opportunità offerte dalla digitalizzazione. Viene inoltre discusso il contributo dell'approccio prestazionale alla progettazione contemporanea e alle strategie di gestione intelligente degli edifici

Introduzione

Negli ultimi due decenni la qualità dell'aria interna ha assunto una rilevanza crescente nell'ambito della progettazione edilizia e impiantistica. Se in passato la ventilazione era considerata principalmente uno strumento per la diluizione degli odori e il mantenimento delle condizioni igieniche minime, oggi essa rappresenta uno degli elementi chiave per la salute degli occupanti, il benessere psicofisico, la produttività e la sostenibilità degli edifici. (figura 1).

La crescente attenzione verso la IAQ deriva dalla convergenza di diversi fattori: l'aumento del tempo trascorso in ambienti confinati, il miglioramento delle prestazioni energetiche degli involucri edilizi, la diffusione di materiali e tecnologie caratterizzati da differenti profili emissivi e, più recentemente, la maggiore consapevolezza del ruolo della ventilazione nel-

la trasmissione aerogena degli agenti patogeni. Secondo la *World Health Organization (WHO)* e la *U.S. Environmental Protection Agency (EPA)*, gli individui trascorrono oltre il 90% del proprio tempo in ambienti chiusi. In tali condizioni, la qualità dell'aria interna può influenzare significativamente la salute respiratoria e cardiovascolare, le capacità cognitive e la produttività lavorativa. L'esposizione cronica al particolato fine $PM_{2.5}$ è associata a un incremento del rischio di patologie cardiovascolari e respiratorie anche a basse concentrazioni, mentre numerosi studi hanno evidenziato come concentrazioni di CO_2 superiori a 1.000 ppm possano essere correlate a una riduzione delle prestazioni cognitive, della capacità decisionale e della concentrazione. La progettazione della ventilazione non può pertanto essere limitata alla definizione delle portate di ricambio, ma deve essere con-



Figura 1 – IAQ: ambienti, sorgenti emissive, occupanti e sistemi HVAC

siderata parte integrante di una strategia complessiva di gestione della qualità ambientale interna.

Dalla ventilazione prescrittiva alla qualità ambientale prestazionale

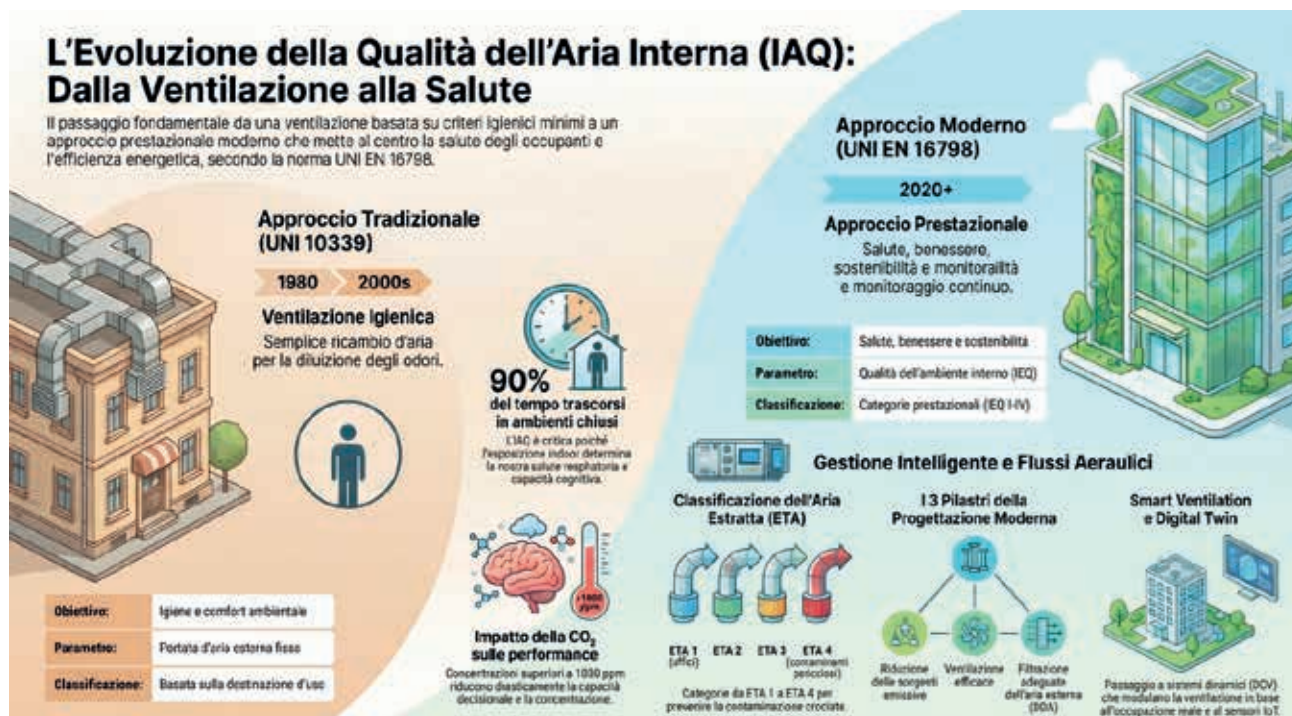
L'evoluzione normativa degli ultimi anni riflette il profondo cambiamento culturale che ha interessato il settore HVAC. Per lungo tempo la progettazione degli impianti di ventilazione si è basata su criteri prescrittivi orientati principalmente al rispetto di valori mini-

mi di ricambio d'aria. Tale impostazione, pur garantendo adeguati livelli igienici, non consentiva una valutazione completa dell'effettiva esposizione degli occupanti agli inquinanti presenti negli ambienti confinati. (tabella 1).

L'introduzione della serie *UNI EN 16798* ha sancito il passaggio verso una logica prestazionale nella quale la qualità dell'ambiente interno (*Indoor Environmental Quality – IEQ*) costituisce il parametro di ri-

Periodo	Approccio prevalente	Indicatore di riferimento	Obiettivo
1980-1995	Ventilazione igienica	Ricambi d'aria	Diluzione odori
1995-2010	Comfort ambientale	CO ₂	Benessere occupanti
2010-2020	Efficienza energetica	Portata variabile	Riduzione consumi
2020-oggi	Approccio prestazionale	IAQ e IEQ	Salute e sostenibilità

Tabella 1 – Evoluzione del concetto di qualità dell'aria interna



Dalla ventilazione prescrittiva alla qualità ambientale prestazionale

ferimento per la progettazione e la valutazione delle prestazioni dell'edificio.

L'approccio prestazionale considera simultaneamente la qualità dell'aria esterna, le sorgenti emissive interne, le caratteristiche dell'involucro edilizio, l'efficacia dei sistemi di ventilazione e filtrazione, il comportamento degli occupanti e l'interazione con i consumi energetici dell'edificio. La ventilazione non viene più valutata esclusivamente in funzione della quantità di aria immessa, ma in relazione alla capacità complessiva del sistema *edificio-impianto* di garantire condizioni ambientali salubri e sostenibili.

Evoluzione normativa: dalla UNI 10339 alla serie UNI EN 16798

Per oltre vent'anni la norma UNI 10339:1995 ha costituito il principale riferimento nazionale per la progettazione degli impianti aerulici destinati al benessere delle persone. La norma definiva la classificazione degli impianti, i requisiti minimi prestazionali e le grandezze di riferimento per il funzionamento dei

sistemi di ventilazione e climatizzazione, rappresentando un importante punto di riferimento per il settore HVAC italiano. Tuttavia, l'evoluzione tecnologica, il progresso delle conoscenze scientifiche e l'introduzione della *Direttiva Europea sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD)* hanno progressivamente evidenziato la necessità di un approccio più articolato e prestazionale.

La *UNI 10339* è stata successivamente ritirata nell'ambito del processo di revisione sistematica delle norme tecniche, senza essere sostituita da un unico documento equivalente, poiché nessuna norma era in grado di coprirne integralmente il campo di applicazione. La sua eredità è confluita nella serie *UNI EN 16798*, sviluppata in coerenza con il quadro metodologico europeo per la valutazione della prestazione energetica degli edifici. (tabella 2)

La *UNI EN 16798-1* definisce i parametri ambientali interni necessari per la progettazione e la valutazione energetica degli edifici in relazione a:

- qualità dell'aria interna;

Aspetto	UNI 10339:1995	UNI EN 16798
Approccio progettuale	Prescrittivo	Prestazionale
Obiettivo principale	Igiene e comfort ambientale	Salute, comfort, efficienza energetica e sostenibilità
Parametro di riferimento	Portata d'aria esterna	Qualità dell'ambiente interno (IEQ)
Definizione della ventilazione	Basata principalmente sui ricambi d'aria	Basata sull'esposizione degli occupanti e sulla qualità dell'aria
Classificazione ambienti	Destinazione d'uso	Categorie prestazionali (IEQ I-IV)
Qualità dell'aria esterna	Non classificata in modo strutturato	Classificazione ODA (Outdoor Air)
Qualità dell'aria immessa	Non definita	Classificazione SUP (Supply Air)
Classificazione dell'aria estratta	Limitata	ETA 1-4 in funzione del livello di contaminazione
Recupero energetico	Trattazione limitata	Integrato nei criteri prestazionali
Filtrazione	Basata prevalentemente sulle classi EN 779	Basata sulle prestazioni UNI EN ISO 16890
Monitoraggio ambientale	Non previsto	Fortemente raccomandato
Integrazione con la prestazione energetica	Limitata	Direttamente collegata alla EPBD
Valutazione della sostenibilità	Assente	Integrata con protocolli ambientali e requisiti ESG
Gestione del rischio biologico	Non contemplata	Considerata nell'ambito della qualità dell'aria interna

Tabella 2 – Evoluzione dei criteri progettuali: confronto tra UNI 10339 e UNI EN 16798. Fonte: elaborazione dell'autore sulla base della UNI 10339:1995 e della serie UNI EN 16798

- ambiente termico;
- illuminazione;
- comfort acustico.

La norma introduce inoltre categorie prestazionali differenziate (IEQ I, II, III e IV), consentendo al progettista di adeguare i livelli di qualità ambientale alle aspettative degli occupanti e alla destinazione d'uso dell'edificio. A completamento della UNI EN 16798-1, il rapporto tecnico CEN/TR 16798-2 fornisce linee guida applicative e chiarimenti metodologici per la corretta interpretazione dei parametri ambientali interni e per la loro implementazione nei processi di progettazione e valutazione energetica. Parallelamente, la UNI EN 16798-3 definisce i requisiti prestazionali dei sistemi di ventilazione e trattamento dell'aria negli edifici non residenziali, introducendo criteri armonizzati per la progettazione, il controllo e la verifica delle prestazioni energetiche e funzionali dei sistemi. (figura 2).

Il contributo della UNI EN 16798 alla progettazione contemporanea

La serie UNI EN 16798 rappresenta oggi il principale riferimento europeo per la definizione delle condizioni ambientali interne e per la progettazione dei sistemi di ventilazione.

Uno degli elementi più innovativi introdotti dalla norma è la classificazione delle categorie di qualità ambientale interna (IEQ), che consente di correlare le prestazioni richieste alle aspettative degli occupanti e alla destinazione d'uso degli edifici.

Parallelamente, la UNI EN 16798-3 definisce un sistema strutturato di classificazione dei flussi aeraulici e dei livelli di contaminazione dell'aria, introducendo strumenti progettuali fondamentali per la valutazione dei recuperi energetici, dei ricircoli e delle strategie di filtrazione.

Particolare rilevanza assume la classificazione dell'aria estratta (ETA), che consente di valutare il rischio di contaminazione crociata e di definire criteri oggettivi per l'impiego dei sistemi di recupero di calore. Ta-



Figura 2 – Evoluzione normativa e progettuale della qualità dell'aria (UNI 10339)

le approccio rappresenta uno dei principali elementi di discontinuità rispetto ai precedenti riferimenti normativi e testimonia il passaggio da una logica quantitativa a una logica qualitativa nella gestione dei flussi d'aria.

Inquinanti indoor e progettazione integrata

La qualità dell'aria interna dipende dall'interazione di numerose sorgenti emissive di natura chimica, biologica e particellare.

Tra gli inquinanti maggiormente rilevanti si annoverano i composti organici volatili (VOC), la formaldeide, il benzene, gli ossidi di azoto, il particolato fine e ultrafine, nonché batteri, muffe, allergeni e bioaerosol (tabella 3).

La progettazione moderna della IAQ si fonda su tre principi fondamentali, in coerenza con le indicazioni della UNI EN 167981 e con le linee guida WHO/EPA:

- riduzione delle sorgenti emissive;
- ventilazione efficace degli ambienti;
- adeguata filtrazione dell'aria esterna.

La ventilazione, se non integrata da un'adeguata selezione dei materiali, dal controllo dell'umidità e da idonee strategie di filtrazione, non è in grado di assicurare livelli ottimali di qualità dell'aria interna.

La classificazione dei flussi d'aria secondo la UNI EN 16798-3

Uno degli aspetti più innovativi introdotti dalla UNI EN 16798-3 riguarda la classificazione dei diversi flussi d'aria che attraversano gli impianti di ventilazione e climatizzazione. Tale classificazione costituisce il presupposto per la corretta progettazione dei sistemi di recupero energetico, filtrazione, ricircolo e distribuzione dell'aria, consentendo di valutare il rischio di contaminazione crociata e di definire le strategie più appropriate per il trattamento dell'aria. (figura 3).

Inquinante	Principali sorgenti	Effetti
CO ₂	Occupanti	Indicatore di ventilazione insufficiente; a elevate concentrazioni può associarsi a riduzione delle prestazioni cognitive.
VOC	Materiali e arredi	Irritazioni, discomfort
Formaldeide	Pannelli, vernici, isolanti e colle, ecc	Cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1 IARC)
PM _{2,5}	Traffico, combustione	Patologie cardiovascolari
Muffe	Umidità	Allergie e asma
Bioaerosol (Batteri, Virus, Spore fungine, Allergeni animali, ecc.)	Occupanti	Trasmissione infezioni

Tabella 3 – Principali inquinanti indoor e impatti sulla salute

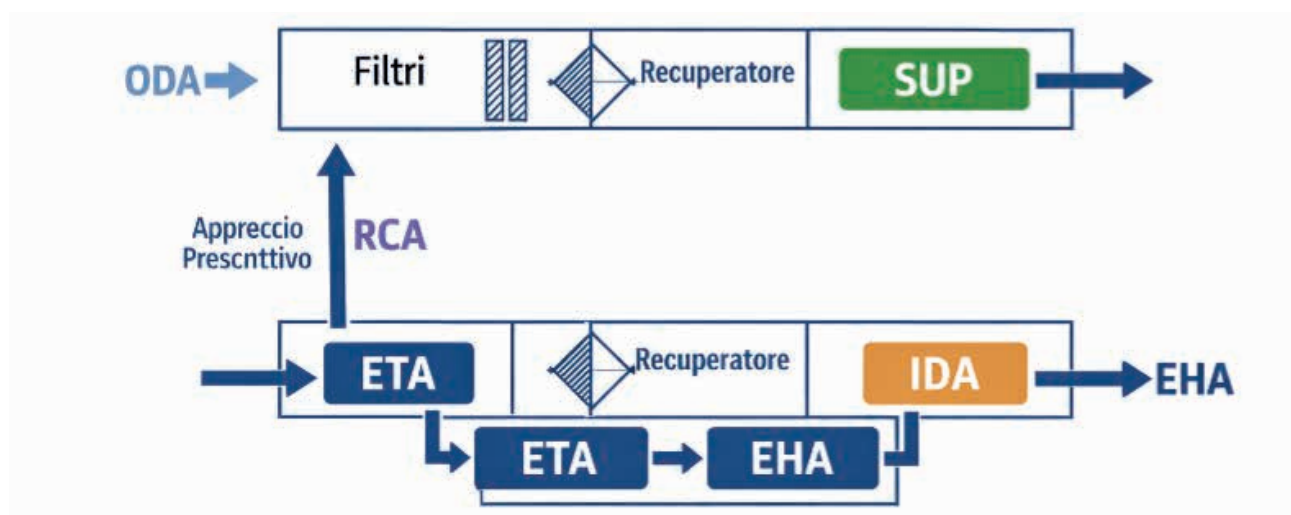


Figura 3 – Classificazione dei flussi d'aria secondo UNI EN 16798-3

La norma identifica differenti tipologie di flussi aeraulici, sintetizzate nella tabella 4.

La classificazione dei flussi aeraulici introdotta dalla UNI EN 16798-3 consente una valutazione più accurata dei fenomeni di contaminazione, dei recuperi energetici e delle strategie di ventilazione, rappresentando uno degli elementi di maggiore innovazione rispetto ai precedenti approcci normativi. A differenza dei precedenti riferimenti normativi, che si concentravano prevalentemente sulle portate di ventilazione, la UNI EN 16798-3 pone l'attenzione sulla qualità dei diversi flussi e sulle possibili interazioni tra essi. Tale impostazione assume particolare rilevanza nella progettazione dei recuperatori di calore, nella definizione delle strategie di ricircolo e nella scelta delle sezioni filtranti.

La classificazione dell'aria estratta (ETA) e le implicazioni progettuali

Tra le innovazioni più significative introdotte dalla UNI EN 16798-3 assume particolare rilevanza la classificazione dell'aria estratta dagli ambienti (*Extract Air – ETA*), sviluppata con l'obiettivo di caratterizzare il livello di contaminazione dei flussi d'aria destinati all'espulsione o al recupero energetico. A differenza dei precedenti approcci normativi, basati prevalentemente sulle portate di ventilazione, la classificazione ETA inserisce una valutazione qualitativa dell'aria estratta, consentendo al progettista di definire in maniera più rigorosa le condizioni di utilizzo dei sistemi di recupero di calore, le strategie di ricircolo e le misure necessarie per prevenire fenomeni di contaminazione crociata. La nor-

Sigla	Denominazione	Descrizione
ODA	Outdoor Air	Aria esterna aspirata dal sistema
SUP	Supply Air	Aria trattata e immessa negli ambienti
IDA	Indoor Air	Aria presente nella zona occupata
ETA	Extract Air	Aria estratta dagli ambienti
EHA	Exhaust Air	Aria espulsa all'esterno
RCA	Recirculated Air	Aria ricircolata all'interno del sistema

Tabella 4 – Classificazione dei principali flussi d'aria secondo la UNI EN 16798-3

Categoria	Livello di contaminazione	Applicazioni tipiche	Possibilità di recupero energetico (*)
ETA 1	Basso livello di contaminazione	Uffici, aule, sale riunioni, biblioteche	Generalmente consentito senza particolari limitazioni , nel rispetto delle prescrizioni normative e delle verifiche progettuali
ETA 2	Moderata contaminazione	Camere d'albergo, spogliatoi, magazzini, aree commerciali	Consentito con adeguate verifiche progettuali e controllo del rischio di contaminazione crociata
ETA 3	Elevata contaminazione	Servizi igienici, cucine domestiche, locali fumatori	Fortemente limitato ; richiede specifiche valutazioni e sistemi che impediscano il trasferimento di contaminanti
ETA 4	Presenza di contaminanti pericolosi o elevato rischio sanitario	Autorimesse, cucine professionali, laboratori con solventi, processi industriali	Generalmente non consentito per evitare fenomeni di contaminazione crociata

Tabella 5 – Classificazione dell'aria estratta (ETA) e implicazioni progettuali secondo UNI EN 16798-3. (*) La possibilità di recupero energetico deve essere sempre verificata in conformità alle prescrizioni della UNI EN 16798-3 e alle indicazioni del costruttore del recuperatore. La classificazione ETA costituisce uno strumento fondamentale per la valutazione del rischio di contaminazione crociata tra i flussi d'aria e per la scelta delle tecnologie di recupero energetico più appropriate. Le indicazioni riportate hanno finalità illustrative; la verifica dell'ammissibilità dei recuperatori deve essere effettuata secondo i criteri specifici della UNI EN 16798-3 e delle istruzioni del costruttore.

ma distingue quattro categorie di aria estratta, identificate come ETA 1, ETA 2, ETA 3 ed ETA 4, in funzione della tipologia e della concentrazione degli inquinanti presenti negli ambienti serviti. La classificazione è direttamente correlata alla destinazione d'uso dei locali e rappresenta uno strumento fondamentale per la valutazione della compatibilità tra i diversi flussi aerulici all'interno dell'impianto. La corretta attribuzione della categoria ETA riveste un ruolo determinante non solo nella progettazione dei recuperatori di energia, ma anche nella definizione delle portate di espulsione, nella scelta delle sezioni filtranti e nella verifica delle distanze minime tra prese d'aria esterna ed espulsioni. In particolare, all'aumentare del livello di contaminazione dell'aria estratta, crescono le limitazioni all'impiego di sistemi di recupero e ricircolo, fino a escluderne completamente l'utilizzo nei casi caratterizzati dalla presenza di contaminanti pericolosi o ad elevato rischio sanitario. La tabella 5 riporta la classificazione delle categorie ETA prevista dalla UNI EN 16798-3 e le relative applicazioni tipiche.

IAQ, salute e prestazioni degli occupanti

Le più recenti evidenze scientifiche dimostrano come la qualità dell'aria interna influenzi direttamen-

te non solo la salute ma anche le capacità cognitive, la concentrazione e la produttività. Elevate concentrazioni di anidride carbonica, particolato fine e composti organici volatili sono associate a una riduzione delle prestazioni cognitive, a un aumento dell'affaticamento mentale e a una maggiore incidenza della cosiddetta *Sick Building Syndrome* (tabella 6).

L'esperienza maturata durante la pandemia da SARS-CoV-2 ha ulteriormente evidenziato il ruolo della ventilazione quale misura primaria di mitigazione del rischio biologico. Le strategie attualmente raccomandate dalle principali organizzazioni internazionali prevedono il monitoraggio continuo della concentrazione di CO₂, il controllo del particolato fine e la regolazione dinamica delle portate di ventilazione in funzione dell'effettiva occupazione degli ambienti.

Numerosi studi scientifici disponibili convergono nel dimostrare che la qualità dell'aria interna costituisce un determinante ambientale primario per la salute e la performance cognitiva. In particolare, gli studi di Allen et al. (2016) e di Seppänen & Fisk hanno quantificato incrementi significativi delle funzioni esecutive e della produttività in presenza di adeguati tassi di ventilazione e di basse concentrazioni di VOC e CO₂.

Parametro	Unità	Utilizzo
CO ₂	ppm	Efficacia ventilazione
PM _{2.5}	µg/m ³	Esposizione particolato
VOC	ppb o mg/m ³	Emissioni interne
Temperatura	°C	Comfort termico
Umidità relativa	%	Rischio biologico
Pressione differenziale	Pa	Controllo contaminazione

Tabella 6 – Parametri consigliati per il monitoraggio IAQ

Qualità dell'aria, sostenibilità e digitalizzazione degli edifici

La crescente attenzione verso la sostenibilità ambientale ha ampliato il ruolo della IAQ all'interno delle strategie di progettazione e gestione degli edifici. Le principali certificazioni internazionali, tra cui *WELL*, *LEED* e *BREEAM*, attribuiscono un peso crescente alla qualità dell'ambiente interno, riconoscendone gli effetti sulla salute e sul valore economico degli immobili (tabella 7).
Parallelamente, la nuova *direttiva europea sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD)*, approvata il 12 aprile 2024 e pubblicata nella *Gazzetta Ufficiale dell'Unione europea* l'8 maggio 2024, promuove una maggiore integrazione tra qualità ambientale, monitoraggio continuo e digitalizzazione dei sistemi edificio-impianto. Sensori intelligenti, piattaforme IoT, sistemi di controllo avanzato e strategie di *demand-controlled ventilation* stanno progressivamente trasformando la gestione della ventilazione da processo statico a processo dinamico e adattivo.
In questo scenario emergono nuove opportunità legate all'impiego dell'intelligenza artificiale, dei *digital twin* e degli algoritmi predittivi per l'ottimizzazione simultanea della qualità dell'aria e dell'efficienza energetica.

Dalla ventilazione prescrittiva alla ventilazione intelligente

L'evoluzione della progettazione degli impianti di ventilazione riflette il più ampio processo di trasformazione che sta interessando il settore delle costruzioni e della gestione degli edifici. Per molti anni la ventilazione è stata concepita secondo un approccio prevalentemente prescrittivo, basato sulla definizione di portate minime di aria esterna e sul rispetto di requisiti normativi finalizzati a garantire condizioni igieniche accettabili. In tale modello il funzionamento degli impianti risultava sostanzialmente statico, indipendente dalle reali condizioni ambientali e dall'effettiva presenza degli occupanti. L'attuale evoluzione normativa, tecnologica e scientifica sta progressivamente conducendo verso un paradigma differente, nel quale la ventilazione assume caratteristiche dinamiche, adattive e prestazionali. La disponibilità di sensori sempre più affidabili per il monitoraggio di parametri quali concentrazione di anidride carbonica, particolato fine, composti organici volatili, temperatura e umidità relativa consente oggi di valutare in tempo reale la qualità dell'aria interna e di adeguare automaticamente il funzionamento degli impianti alle effettive esigenze degli ambienti. I sistemi di *Demand Controlled Ventilation (DCV)*, integrati con piattaforme di *Building Management Sy-*

Protocollo	Crediti IAQ
WELL	Molto elevati
LEED v4.1	Elevati
BREEAM	Elevati
CAM Edilizia	Requisiti obbligatori
EPBD 2024	Integrazione crescente

Tabella 7 – IAQ nei protocolli di sostenibilità

Aspetto	Approccio tradizionale	Approccio contemporaneo
Obiettivo	Igiene	Salute, Salubrità e Sostenibilità
Controllo	Portata costante	Ventilazione adattiva
Indicatore	Ricambi/ora	IAQ e IEQ
Gestione	Manuale	Smart Building
Dati	Assenti	Monitoraggio continuo
Energia	Vincolo	Ottimizzazione integrata
Progettazione	Impianto	Sistema edificio-impianto

Tabella 8 – Evoluzione del ruolo della ventilazione

stem (BMS), permettono infatti di modulare le portate di ventilazione in funzione dell'occupazione reale degli spazi e dei livelli di inquinamento rilevati, garantendo simultaneamente il mantenimento delle condizioni di salubrità e la riduzione dei consumi energetici. Questo approccio supera la tradizionale contrapposizione tra qualità dell'aria ed efficienza energetica, perseguendo un equilibrio dinamico tra comfort, salute e sostenibilità.

La crescente diffusione delle tecnologie IoT, dell'analisi avanzata dei dati e dei modelli digitali dell'edificio (*Digital Twin*) sta inoltre aprendo nuove prospettive nella gestione della qualità ambientale interna. Attraverso l'elaborazione continua delle informazioni provenienti dai sensori, gli impianti possono adottare strategie predittive in grado di anticipare le condizioni di utilizzo degli spazi e ottimizzare preventivamente la ventilazione, migliorando le prestazioni complessive del sistema edificio-impianto.

In questo scenario la ventilazione non rappresenta più un semplice requisito impiantistico finalizzato al ricambio dell'aria, ma diventa una componente attiva e intelligente dell'edificio, capace di contribuire alla tutela della salute degli occupanti, alla riduzione delle emissioni climalteranti e alla valorizzazione del patrimonio immobiliare. La transizione dalla ventilazione prescrittiva alla ventilazione intelligente costituisce pertanto uno dei principali fattori di innovazione della progettazione HVAC contemporanea e uno degli elementi chiave per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e resilienza richiesti dagli edifici del futuro (tabella 8).

Cinque implicazioni operative per il progettista HVAC

L'evoluzione normativa e scientifica della qualità dell'aria interna richiede un cambiamento di paradig-

ma nella progettazione degli impianti HVAC. Di seguito sono sintetizzati cinque principi operativi che caratterizzano l'approccio contemporaneo alla ventilazione e alla gestione della IAQ.

1. Progettare per l'esposizione e non solo per la portata

La definizione delle portate di ventilazione non può più rappresentare l'unico criterio progettuale. L'obiettivo deve essere il controllo dell'esposizione degli occupanti agli inquinanti presenti negli ambienti interni, considerando sorgenti emissive, densità di occupazione, destinazione d'uso e qualità dell'aria esterna. La prestazione del sistema deve essere valutata in termini di qualità dell'ambiente interno (IEQ) e non esclusivamente di ricambio d'aria.

2. Considerare la qualità dell'aria esterna (ODA)

L'aria esterna non è sempre sinonimo di aria pulita. La UNI EN 16798-1 introduce la classificazione della *Outdoor Air (ODA)* in funzione dei livelli di inquinamento atmosferico e delle sorgenti presenti nell'intorno dell'edificio. La progettazione della ventilazione deve quindi partire da una valutazione preventiva della qualità dell'aria esterna per definire correttamente strategie di presa d'aria, filtrazione e trattamento.

3. Integrare filtrazione e ventilazione

La ventilazione e la filtrazione devono essere considerate come componenti complementari di un unico sistema di controllo della qualità dell'aria. L'immissione di aria esterna priva di un adeguato trattamento può infatti introdurre particolato fine, pollini e altri contaminanti negli ambienti occupati. La scelta delle sezioni filtranti deve essere effettuata in coerenza

con la classificazione dell'aria esterna, con i requisiti di qualità dell'ambiente interno e con le prestazioni energetiche richieste.

4. Utilizzare il monitoraggio continuo della IAQ

L'adozione di sensori per il monitoraggio continuo di parametri quali CO₂, PM_{2.5}, VOC, temperatura e umidità relativa consente di valutare in tempo reale le condizioni ambientali e di verificare l'effettiva efficacia delle strategie di ventilazione. Il monitoraggio rappresenta oggi uno strumento essenziale non solo per la gestione degli edifici, ma anche per la validazione delle prestazioni progettuali e per il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e benessere degli occupanti.

5. Valutare recupero energetico e rischio di contaminazione in modo integrato

L'efficienza energetica non può essere perseguita a discapito della qualità dell'aria. La classificazione dei flussi aeraulici e delle categorie di aria estratta (ETA) introdotta dalla UNI EN 16798-3 consente di valutare correttamente la compatibilità tra recupero energetico, ricircolo e sicurezza igienica. La progettazione dei recuperatori di calore deve pertanto integrare considerazioni energetiche, sanitarie e funzionali, minimizzando il rischio di contaminazione crociata e garantendo al tempo stesso elevate prestazioni dell'edificio.

In sintesi, il progettista HVAC è oggi chiamato a sviluppare soluzioni capaci di coniugare salute, comfort, efficienza energetica, salubrità e sostenibilità, adottando un approccio prestazionale fondato sulla gestione integrata dell'intero sistema edificio-impianto.

Discussione e implicazioni progettuali

La transizione verso un approccio prestazionale alla qualità dell'aria interna evidenzia alcune implicazioni chiave per la progettazione contemporanea. In primo luogo, la crescente articolazione del quadro normativo – dalla serie UNI EN 16798-1 al rapporto tecnico **CEN/TR 167982** – richiede competenze proget-

tuali più avanzate, orientate alla valutazione integrata dei flussi aeraulici, delle sorgenti emmissive e delle condizioni di qualità dell'aria esterna.

In secondo luogo, la necessità di conciliare **IAQ ed efficienza energetica** rappresenta una sfida centrale. L'evidenza scientifica dimostra i benefici della ventilazione sulle prestazioni cognitive e sulla salute, ma l'aumento delle portate d'aria esterna può incidere sui consumi. Tecnologie come la **ventilazione adattiva**, i sistemi DCV e gli algoritmi predittivi consentono di superare questa tensione, ottimizzando simultaneamente salubrità e prestazioni energetiche.

Un ulteriore elemento riguarda la **gestione del rischio biologico**, resa evidente dalla pandemia. La classificazione ETA introdotta dalla UNI EN 167983 fornisce un quadro strutturato per valutare la compatibilità tra recupero energetico e sicurezza igienica, ma richiede un'applicazione rigorosa e basata su criteri oggettivi.

Infine, la crescente attenzione dei protocolli di sostenibilità – WELL, LEED, BREEAM – conferma che la IAQ è ormai un **fattore strategico di valore immobiliare**, oltre che un requisito tecnico. La progettazione della qualità dell'aria interna assume quindi una dimensione multidisciplinare, nella quale salute, comfort, efficienza energetica, salubrità e sostenibilità devono essere affrontati in modo integrato.

Conclusioni

La qualità dell'aria interna è destinata a consolidarsi come uno dei principali indicatori prestazionali degli edifici nel quadro della decarbonizzazione europea. L'integrazione tra ventilazione adattiva, monitoraggio continuo e sistemi di gestione predittiva consente di superare la tradizionale dicotomia tra salubrità ed efficienza energetica, trasformando la IAQ da requisito impiantistico a vero parametro di performance del sistema edificio-impianto. La transizione verso un approccio prestazionale rappresenta una trasformazione strutturale del settore HVAC, destinata a ridefinire gli standard di progettazione, gestione e valutazione degli edifici nei prossimi decenni.

Bibliografia

UNI EN 16798-1:2019 + Allegato Nazionale 2025, *Prestazione energetica degli edifici – Ventilazione per gli edifici – Parametri di ingresso dell'ambiente interno*.

UNI EN 16798-3:2025, *Prestazione energetica degli edifici – Ventilazione per gli edifici – Requisiti prestazionali dei sistemi di ventilazione e condizionamento degli ambienti*.

UNI EN ISO 16890 (Parti 1-4), *Filtri dell'aria per ventilazione generale*.
Direttiva (Ue) 2024/1275 (EPBD), *Energy Performance of Buildings Directive*.
World Health Organization, (2021), *WHO Global Air Quality Guidelines*.
ASHRAE, Standard 62.1-2022, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
ASHRAE, Standard 241-2023, *Control of Infectious Aerosols*.
WELL, *Building Standard v2*, International WELL Building Institute.
LEED, *v4.1 Building Design and Construction*.
REHVA, *Guidebook No. 19, Indoor Climate and Productivity in Offices*.
REHVA, *COVID Ventilation Guidance Document*.
ALLEN J.G. et al., *Associations of Cognitive Function Scores with Carbon Dioxide, Ventilation and VOC Exposures* (Environmental Health Perspectives, 2016).
FISK W.J., *Health and Productivity Gains from Better Indoor Environments*.
SUNDELL J., *On the History of Indoor Air Quality and Health*.
CEN/TR 167982.