



CONTROLLO DEGLI IMPIANTI HVAC NEGLI EDIFICI INTELLIGENTI



Progettazione, gestione
e soluzioni professionali

ENGINEERED
TO OUTFIT

INDICE

01. Introduzione	04
02. Benessere igrometrico e principali tipologie di impianto	08
03. Macchine per la produzione del caldo e del freddo	20
04. Unità trattamento aria	38
05. Logiche di regolazione	52
06. BACS: Building automation control systems	68
07. Normativa ISO 52120 e piano europeo	84
08. Contributo dei BACS alle Certificazioni Volontarie	92
09. Glossario	100

IMPIANTI HVAC PER EDIFICI INTELLIGENTI

L'automazione degli edifici e il controllo degli impianti rappresentano oggi strumenti fondamentali per promuovere la sostenibilità ambientale e migliorare l'efficienza energetica nel settore edilizio. Grazie a sistemi intelligenti e integrati, è possibile monitorare e gestire in modo coordinato aspetti chiave come l'illuminazione, la climatizzazione, la ventilazione, la sicurezza e altri servizi essenziali, con l'obiettivo di ridurre i consumi, contenere le emissioni e migliorare il comfort degli occupanti.

Uno dei principali benefici offerti dalla building automation è proprio la capacità di adattare in tempo reale il funzionamento degli impianti alle condizioni ambientali e all'uso effettivo degli spazi. Sensori di presenza, temperatura e umidità, insieme a sistemi di controllo evoluti, permettono ad esempio di regolare l'illuminazione e la climatizzazione in funzione della reale occupazione degli ambienti, evitando sprechi e ottimizzando l'impiego delle risorse. La gestione integrata delle fonti rinnovabili, come il fotovoltaico, in sinergia con i sistemi HVAC, consente inoltre di ridurre la dipendenza dalle fonti fossili, contribuendo a una transizione energetica concreta e misurabile. Parallelamente, l'analisi continua dei dati di consumo e funzionamento permette di individuare anomalie, anticipare guasti e pianificare interventi di manutenzione predittiva, riducendo i costi operativi e prolungando la vita utile degli impianti.

All'interno di questo ecosistema tecnologico, l'HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) gioca un ruolo centrale. Il controllo del clima interno è infatti uno degli aspetti più impattanti in termini di consumo energetico, ma anche uno dei più rilevanti per il benessere delle persone. I sistemi HVAC automatizzati, grazie a sensori e algoritmi di controllo, sono in grado di regolare temperatura, umidità e ventilazione in modo dinamico, adattandosi sia alle condizioni esterne sia alle esigenze specifiche degli ambienti. Una ventilazione controllata migliora significativamente la qualità dell'aria interna, riducendo la presenza di inquinanti, allergeni e agenti patogeni, con effetti positivi tangibili sulla salute e sulla produttività degli occupanti. Attraverso l'analisi dei dati raccolti in tempo reale, è possibile individuare margini di miglioramento, correggere inefficienze e personalizzare le impostazioni in base all'utilizzo effettivo degli spazi, offrendo un livello di comfort elevato senza rinunciare alla sostenibilità.

In definitiva, la building automation e, in particolare, **i sistemi HVAC, costituiscono il cuore della trasformazione intelligente degli edifici.**

Investire in queste tecnologie significa non solo ridurre l'impatto ambientale e contenere i costi, ma anche migliorare l'esperienza quotidiana di chi vive e lavora negli spazi costruiti. È una scelta strategica che guarda al futuro, con l'obiettivo di costruire ambienti più efficienti, sani e resilienti.



PERCENTUALI DI CONSUMO ENERGETICO

Gli impianti HVAC assorbono la quota maggiore di energia negli edifici, costituendo la principale voce sia di consumo energetico sia di costo operativo. Basti pensare che gli edifici nel loro complesso rappresentano circa il 40% dei consumi energetici a livello europeo e, all'interno di essi, i sistemi di climatizzazione (riscaldamento, ventilazione e condizionamento) coprono in media quasi la metà dei consumi totali.

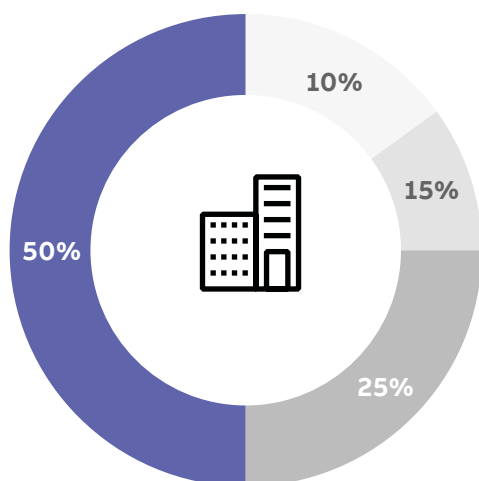
Per contestualizzare l'impatto di una gestione intelligente, la tabella seguente confronta la ripartizione tipica dei consumi energetici in edifici commerciali/uffici e in edifici residenziali:

Edifici commerciali e uffici

Nei complessi ad uso terziario l'**HVAC incide tipicamente attorno al 50% dei consumi energetici totali**.

Seguono:

- illuminazione - circa 25%
- apparecchiature IT - circa 15%
- (postazioni informatiche, server, ecc.,)
- i restanti usi (ascensori, acs, ecc.) - circa 10%

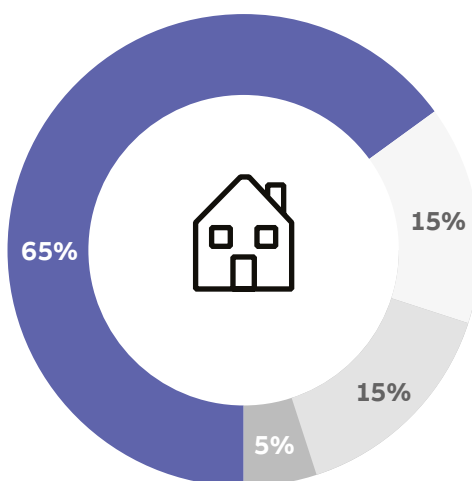


Edifici residenziali

Nelle abitazioni private il **riscaldamento/raffrescamento costituisce in media la quota più elevata (60-65% del consumo domestico)**.

Seguono:

- acqua calda sanitaria (ACS) - circa 15%
- illuminazione e elettrodomestici - circa 15%
- i consumi residui (stand-by, cottura, ecc.) - circa 5%



Questi dati mettono in evidenza come un controllo intelligente e automatizzato degli impianti HVAC sia una leva strategica per migliorare la sostenibilità e ottenere riduzioni drastiche dei costi operativi.

Considerato il peso energetico dell'HVAC, **ottimizzarne la gestione con sistemi avanzati di Building Automation and Control (BACS) permette di adattare finemente i consumi al fabbisogno effettivo, evitando sprechi.** Soluzioni BACS evolute (sensori, regolazione automatica, integrazione con fonti rinnovabili) possono ridurre il consumo energetico degli impianti di climatizzazione in modo significativo (spesso del 20–30% o più, a seconda del livello di automazione adottato). Non a caso, le normative più recenti – ad esempio la **Direttiva Europea 2018/844 (EPBD)** – hanno introdotto l'obbligo di dotare gli edifici di sistemi BACS per conseguire standard minimi di prestazione energetica.

In sintesi, l'efficienza energetica degli HVAC non è solo una buona pratica, ma una necessità progettuale: grazie all'automazione intelligente è possibile climatizzare gli ambienti garantendo comfort ottimale riducendo al minimo l'energia utilizzata e raggiungendo così gli obiettivi di sostenibilità prefissati.



02

BENESSERE IGROMETRICO E PRINCIPALI TIPOLOGIE DI IMPIANTO

INDICE

010	2.1. Introduzione
011	2.2. Il benessere igrometrico
	2.2.1 Sistema di raffreddamento
014	2.3. Principali tipologie di impianto HVAC
	2.3.1. Impianti tutto aria
	2.3.2. Impianti ad acqua
	2.3.3. Impianti misti (aria + acqua)
	2.3.4. Sistemi decentralizzati (unità autonome)
018	2.4. Evoluzione Digitale e Sostenibile degli Impianti HVAC

BENESSERE IGROMETRICO E PRINCIPALI TIPOLOGIE DI IMPIANTO

2.1. Introduzione

Un sistema HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning – Riscaldamento, Ventilazione e Condizionamento dell'Aria) è un insieme integrato di **tecnologie progettate per controllare il clima interno degli edifici**, garantendo comfort termico, qualità dell'aria e benessere per gli occupanti. Questi sistemi sono fondamentali per **riscaldare, raffreddare, ventilare e deumidificare l'aria**, adattandosi alle condizioni ambientali e alle esigenze specifiche degli spazi.

Il riscaldamento, ad esempio, viene assicurato tramite caldaie, pompe di calore o impianti a pavimento, mantenendo una temperatura piacevole nei mesi freddi. La ventilazione ha un ruolo altrettanto cruciale: assicura il ricambio dell'aria e la rimozione di umidità, inquinanti e odori, contribuendo a un ambiente salubre e vivibile. Sistemi composti da ventilatori, condotti e filtri permettono di mantenere costantemente elevata la qualità dell'aria interna. Nelle stagioni calde, invece, il condizionamento e la refrigerazione entrano in gioco per abbassare la temperatura e l'umidità, spesso con il supporto di deumidificatori per evitare la formazione di muffe e garantire un clima fresco e controllato.

Oltre al comfort, l'importanza degli impianti HVAC si riflette anche nella protezione di ambienti e attrezzature sensibili: musei, laboratori, data center e ambienti industriali richiedono condizioni climatiche stabili e precise. Inoltre, un sistema HVAC efficiente contribuisce a migliorare la produttività, ridurre i costi operativi e aumentare il valore degli immobili.

Nei moderni edifici residenziali, commerciali e industriali, il comfort ambientale non è più un'opzione, ma un requisito, anche alla luce degli standard energetici sempre più stringenti. Le persone trascorrono gran parte del loro tempo in ambienti chiusi, rendendo essenziale mantenere condizioni ottimali di temperatura, ventilazione e umidità.

Tecnologie avanzate come sensori ambientali, algoritmi predittivi e sistemi di controllo centralizzati consentono di regolare in tempo reale le condizioni climatiche interne, minimizzando gli sprechi e massimizzando il comfort. L'integrazione con fonti di energia rinnovabile – ad esempio pannelli solari o pompe di calore – e con sistemi di building automation consente di ottimizzare il consumo energetico e ridurre le emissioni di gas serra, trasformando gli edifici in ambienti più sostenibili, intelligenti e resilienti.

In conclusione, un impianto HVAC non è semplicemente un sistema per regolare la temperatura, ma una componente strategica per il benessere delle persone, la salvaguardia delle risorse e la sostenibilità ambientale. **Investire in soluzioni HVAC moderne ed efficienti rappresenta una scelta responsabile e lungimirante per il presente e per il futuro.**



2.2. Il benessere igrometrico

Il benessere igrometrico (o comfort termo-igrometrico) si riferisce allo stato di soddisfazione di una persona rispetto all'ambiente termico che la circonda. In termini pratici, un ambiente confortevole è quello in cui la maggior parte degli occupanti non prova né sensazione di freddo né di caldo eccessivo, e l'aria risulta piacevole da respirare. Mantenere questa condizione di equilibrio termico **è uno degli obiettivi fondamentali nella progettazione dei sistemi HVAC.**

Diversi parametri ambientali influenzano il comfort percepito. In particolare, i fattori fisici principali includono:

- **Temperatura dell'aria (e temperatura radiante)** – È il fattore più immediato: temperature troppo basse o troppo elevate causano rispettivamente disagio da freddo o da caldo. Idealmente la temperatura operativa (che combina aria e irraggiamento) dovrebbe mantenersi in un intervallo neutro per il corpo umano (indicativamente 20–26 °C a seconda delle attività).
- **Umidità relativa** – Indica il contenuto di vapore acqueo nell'aria. Un'umidità troppo alta riduce la capacità di evaporazione del sudore e accentua la sensazione di caldo afoso; al contrario un'aria troppo secca può causare secchezza delle mucose e discomfort. In ambienti climatizzati si raccomanda generalmente di mantenere l'umidità relativa tra 30% e 60% per bilanciare comfort e salute.
- **Velocità dell'aria** – Correnti d'aria eccessive (spifferi) possono far percepire più freddo di quanto indichi la sola temperatura, aumentando la dispersione di calore dal corpo. Al contempo, un leggero movimento d'aria in estate migliora il comfort favorendo l'evaporazione del sudore. È dunque importante controllare la ventilazione in modo da evitare sia zone con aria stagnante che correnti fastidiose. Il range consigliato per la velocità dell'aria è compreso tra 0,05 m/s e 0,2 m/s.
- **Qualità dell'aria interna** – Riguarda la pulizia e salubrità dell'aria che si respira. Un adeguato ricambio d'aria (ventilazione) serve a mantenere bassi i livelli di anidride carbonica (CO₂) e inquinanti indoor, prevenendo odori e garantendo aria fresca. La qualità dell'aria influenza indirettamente il benessere: aria viziata o carica di inquinanti causa malessere e riduce la percezione di comfort nonostante temperatura e umidità siano nei ranghi ideali. Un sistema HVAC efficiente gestisce quindi anche il ricambio e la filtrazione dell'aria per assicurare ambienti salubri.

Oltre a questi parametri oggettivi, vanno considerate variabili soggettive come il metabolismo individuale, il livello di attività svolta e l'abbigliamento: ad esempio, una persona seduta in abiti leggeri avrà comfort con temperature più alte rispetto a chi svolge attività fisica o indossa indumenti pesanti. I moderni standard di comfort termico, come la norma ISO 7730 e lo standard ASHRAE 55, tengono conto sia dei parametri ambientali sia di quelli personali per definire condizioni accettabili di benessere. Tali norme introducono indici come il **PMV (Predicted Mean Vote)** – che predice la sensazione termica media di un insieme di persone – e il **PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)** – che stima la percentuale di individui insoddisfatti nelle condizioni date. In generale, **un ambiente può dirsi confortevole quando il PMV si mantiene vicino allo zero (neutralità termica) e il PPD è basso (ad esempio <10%).** Secondo ASHRAE 55, la "comfort zone" è l'insieme di combinazioni di temperatura e umidità relativa per cui PMV è compreso tra -0,5 e +0,5, corrispondente appunto a meno del 10% di persone insoddisfatte.

2.2.1. Benessere bioclimatico

I metodi di analisi bioclimatica stabiliscono i limiti della zona di benessere termico in funzione del tipo di attività svolta e dell'abbigliamento adottato. Questa zona rappresenta l'intervallo di condizioni ambientali in cui oltre l'80% delle persone percepisce una sensazione di comfort.

I principali strumenti di rappresentazione sono:

- Il diagramma bioclimatico di Olgay
- Il diagramma psicrometrico-bioclimatico di Milne-Givoni

Il Diagramma Bioclimatico di Olgay

Nel 1963, Olgay ha sintetizzato numerose ricerche sul comfort termico in un diagramma che tiene conto di variabili ambientali come:

- Temperatura dell'aria
- Umidità relativa
- Movimento dell'aria
- Calore radiante

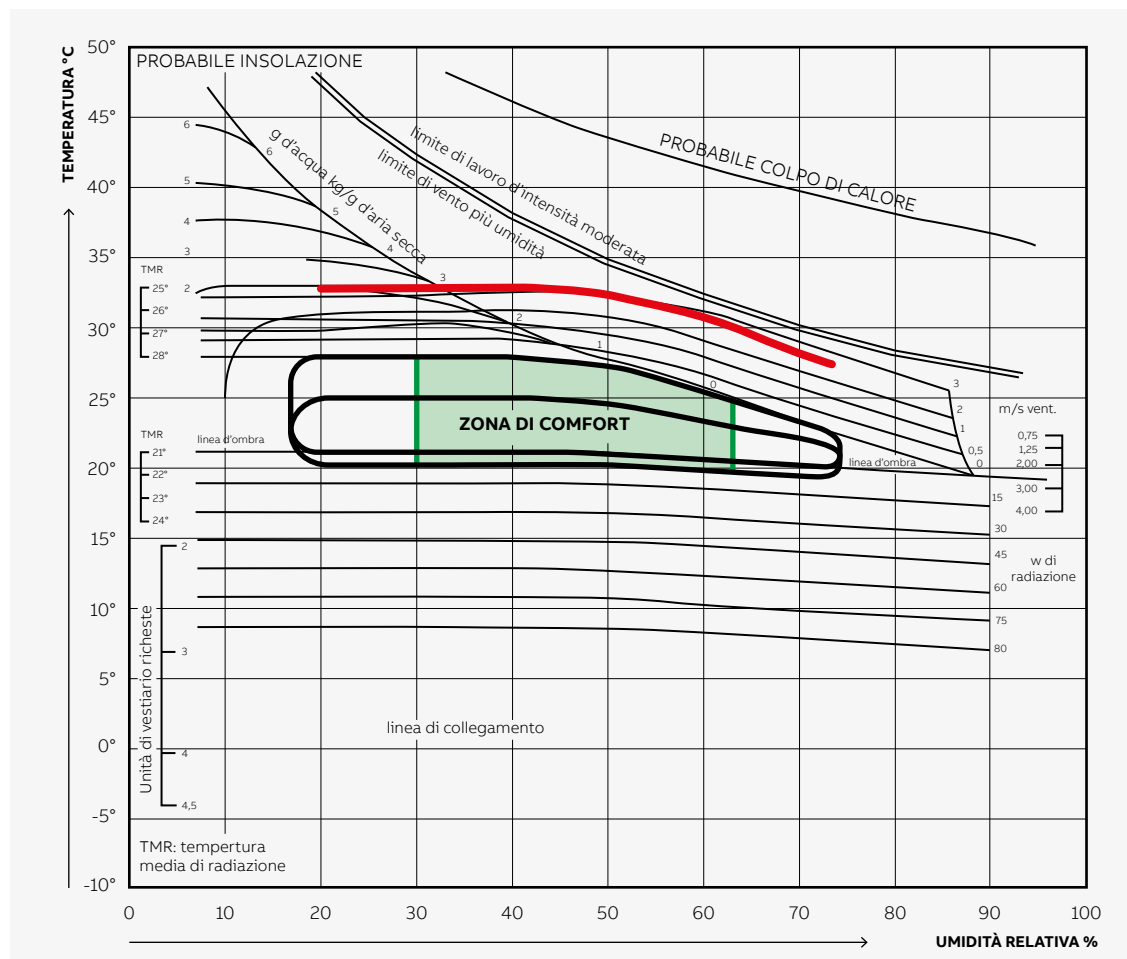
Oltre a fattori soggettivi:

- Attività fisica svolta
- Abbigliamento
- Grado di acclimatamento

Il comfort, secondo Olgay, è "la condizione in cui non si avverte alcuna sensazione di disagio". Nel centro del diagramma si trova la zona di comfort, mentre nelle aree circostanti vengono suggerite azioni correttive per rientrare in essa. La zona invernale è collocata più in basso rispetto a quella estiva, in quanto sono tollerate temperature inferiori.

Esempi di interpretazione:

01 Diagramma
Bioclimatico di Olgay

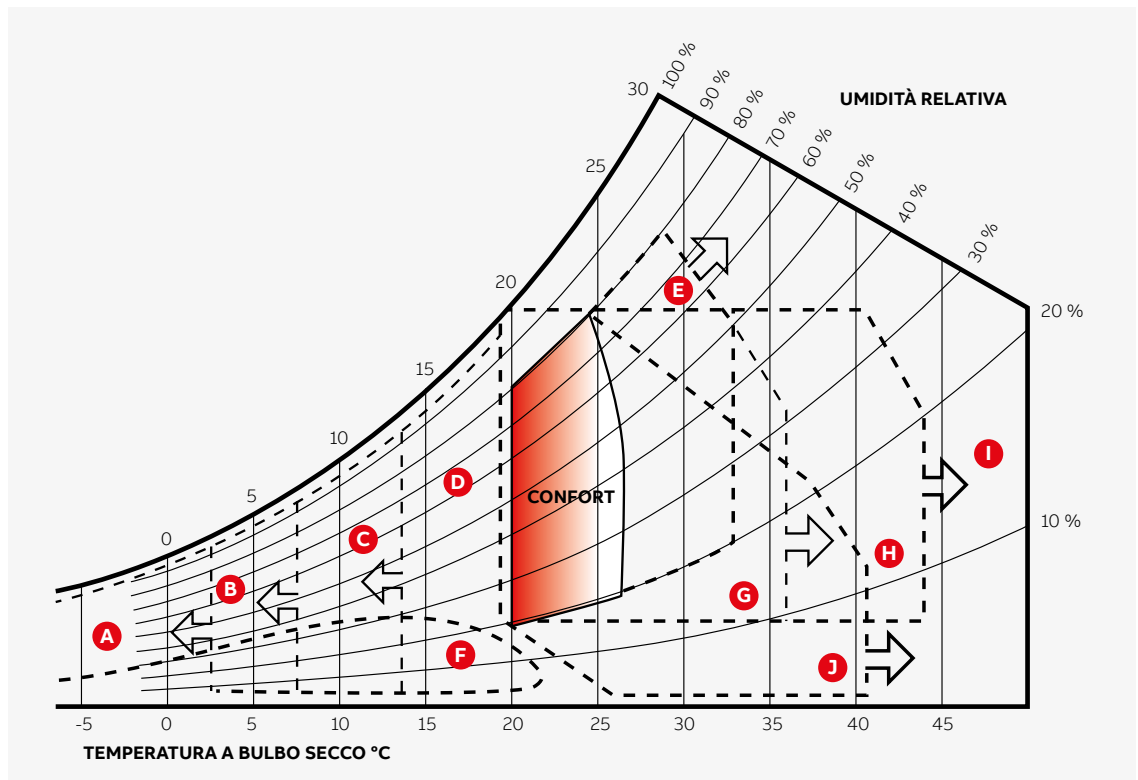


- Se il punto corrispondente alle condizioni ambientali (temperatura e umidità) si trova sopra la zona di comfort, è richiesta ventilazione.
- In condizioni di caldo secco, la ventilazione è poco efficace: si preferisce il raffrescamento evaporativo, che richiede l'aggiunta di umidità all'ambiente.
- Il diagramma include anche:
 - Una linea limite di attività moderata, oltre la quale l'attività fisica diventa sconsigliata.
 - Una linea di rischio colpo di calore.

Carta Bioclimatica di Givoni

La carta di Givoni è uno strumento progettuale che indica le strategie da adottare per riportare le condizioni ambientali entro la zona di comfort.

02 Carta Bioclimatica di Givoni



Di seguito una sintesi delle aree presenti nella carta (rif. Architecture solaire passive pour la région méditerranéenne):

- COMFORT:** Nessun intervento richiesto, salvo ombreggiamento in estate e isolamento in inverno.
- (A) Riscaldamento convenzionale:** Condizioni troppo fredde, è necessario un sistema a combustibile.
- (B) Riscaldamento solare attivo:** Può essere sufficiente con un sistema di supporto.
- (C) Riscaldamento solare passivo:** Richiede buon isolamento; può servire un'integrazione in caso di maltempo.
- (D) Guadagni interni:** Il calore prodotto da persone e apparecchi è sufficiente.
- (E) Ventilazione:** Necessaria per garantire evaporazione e comfort con alte temperature e umidità.
- (F) Umidificazione:** Oltre al riscaldamento, serve aggiungere umidità all'aria.
- (G) Inerzia termica:** Climi caldi con notti fredde; si raffresca di notte per sfruttare il fresco di giorno.
- (H) Inerzia termica + ventilazione:** Notti troppo calde per raffrescare; serve ventilazione attiva/passiva.
- (I) Condizionamento dell'aria:** I sistemi naturali non bastano; è richiesto un impianto meccanico.
- (J) Raffrescamento evaporativo:** Possibile attraverso fontane, nebulizzatori, ecc.

Utilizzo dei diagrammi bioclimatici nella pratica progettuale

I diagrammi bioclimatici rappresentano uno strumento fondamentale sia in fase di analisi che di progettazione, consentendo di valutare in modo oggettivo le condizioni di benessere termo-igrometrico all'interno di un ambiente. Nella pratica, è necessario partire dalla rilevazione dei parametri climatici misurabili - come temperatura dell'aria, umidità relativa, velocità del vento e radiazione solare - per poi confrontarli con i valori di riferimento indicati nei diagrammi (Olgyay, Givoni, psicrometrico). Questo confronto consente di capire se l'ambiente analizzato ricade all'interno della cosiddetta zona di comfort, ovvero quell'intervallo di condizioni in cui la maggior parte delle persone (oltre l'80%) percepisce una sensazione termica gradevole.

Tuttavia, la semplice presenza all'interno della zona di comfort non garantisce automaticamente il benessere percepito. Alcuni fattori secondari, se trascurati, possono comprometterlo: ad esempio, un'eccessiva velocità dell'aria può generare fastidio o raffreddamento localizzato; un'umidità troppo bassa può causare secchezza delle mucose e disidratazione; forti gradienti termici tra zone diverse dell'ambiente possono provocare malessere; infine, una ventilazione eccessiva o mal direzionata può disturbare l'occupante anche in presenza di temperatura ottimale.

Durante la fase progettuale di edifici o impianti HVAC, l'uso di questi diagrammi permette di prevedere strategie passive e soluzioni architettoniche per sfruttare al meglio le condizioni climatiche locali (orientamento, ombreggiamenti, materiali ad alta inerzia, ventilazione naturale). L'obiettivo è quello di ridurre al minimo il ricorso a impianti meccanici come riscaldamento o condizionamento, promuovendo un'architettura energeticamente efficiente, resiliente e centrata sul comfort umano.

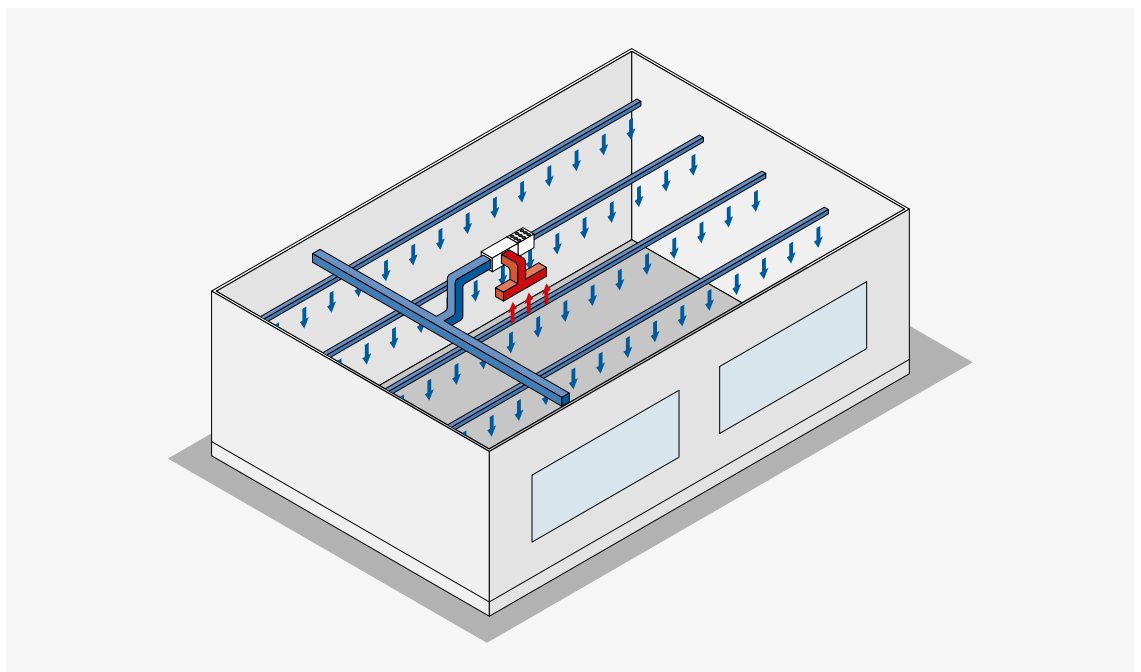
2.3. Principali tipologie di impianto HVAC

Esistono numerose configurazioni impiantistiche per ottenere il comfort termoigrometrico negli edifici. Ciascuna tipologia di impianto HVAC presenta caratteristiche tecniche specifiche, con propri vantaggi, svantaggi e campi di applicazione. Di seguito presentiamo una panoramica delle principali categorie di impianto:

- **Impianti tutto aria**
- **Impianti ad acqua**
- **Impianti misti (aria + acqua)**
- **Sistemi decentralizzati (unità autonome)**

2.3.1. Impianti tutto aria

03 Impianto tutto aria



Gli impianti ad aria veicolano tutta l'energia termica attraverso aria trattata. In questi sistemi, un'unità di trattamento aria (UTA) centralizzata condiziona l'aria (riscaldandola o raffreddandola, e regolando l'umidità) e la distribuisce negli ambienti tramite canalizzazioni e diffusori. L'aria di mandata, una volta immessa nei locali, provvede sia al controllo della temperatura sia alla ventilazione degli spazi occupati. A differenza dei sistemi ad acqua, infatti, gli impianti tutto aria possono gestire contemporaneamente temperatura e umidità relativa dell'ambiente, deumidificando o umidificando l'aria trattata secondo necessità.

Un impianto ad aria può servire una singola zona (ad esempio una grande sala open space) oppure essere multizona, rifornendo molteplici ambienti con esigenze diverse attraverso canalizzazioni separate. Nei sistemi multizona l'aria può essere distribuita a temperatura variabile per ogni zona (tramite serrande di miscelazione o batterie di post-riscaldamento), oppure – più comunemente nelle applicazioni moderne – a portata variabile. In un impianto a portata d'aria costante (CAV), il volume di aria immesso è fisso e il controllo della temperatura ambiente avviene modulando la temperatura dell'aria stessa; in un impianto a portata variabile (VAV), invece, la temperatura di mandata è mantenuta pressoché costante e si varia la portata (volume d'aria) fornita ad ogni ambiente in base al carico termico.

I sistemi VAV risultano in genere più efficienti, perché adeguano il flusso d'aria alle reali necessità: mediamente un impianto VAV lavora a portate d'aria intorno al 60% della portata massima, ottenendo notevoli risparmi energetici rispetto a un sistema CAV equivalente.

04 ABB Cylon CBV



Di contro, i VAV richiedono una regolazione più fine e presentano una maggiore complessità di controllo. I sistemi tutto aria si utilizzano tipicamente in edifici terziari di medio-grandi dimensioni (uffici open-space, ospedali, centri commerciali, teatri, ecc.), dove è necessario trattare grandi volumi d'aria per il ricambio e dove lo spazio per le canalizzazioni è disponibile. Il vantaggio principale è la possibilità di garantire un'elevata qualità dell'aria indoor con un controllo preciso dell'umidità; lo svantaggio può risiedere negli ingombri maggiori (canali aerulici) e nel potenziale rumore o correnti d'aria se il progetto non è eseguito a regola d'arte.

2.3.2. Impianti ad acqua

Negli impianti ad acqua (anche detti sistemi idronici), il fluido termovettore che trasferisce il calore è l'acqua calda o refrigerata. Un generatore centrale – tipicamente una caldaia, una pompa di calore o un chiller (gruppo frigorifero) – riscalda o raffredda l'acqua, che viene poi distribuita agli ambienti tramite tubazioni. Nei locali da climatizzare sono installati terminali come i fan-coil (ventilconvettori), le travi fredde o i pannelli radianti, che scambiano calore con l'aria ambiente utilizzando l'acqua come mezzo intermedio. A differenza dei sistemi tutto aria, i terminali idronici agiscono principalmente sulla temperatura dei locali, mentre non provvedono direttamente alla ventilazione: per garantire il ricambio d'aria è spesso abbinato un sistema di aerazione (ad esempio un'unità di ventilazione meccanica controllata per immettere aria primaria fresca).

Fan-coil: è il terminale idronico più comune: utilizza uno scambiatore attraversato da acqua calda o fredda e un ventilatore che forza il passaggio dell'aria per riscaldare o raffreddare l'ambiente. Offre buona potenza in dimensioni compatte, ma comporta consumo elettrico, rumorosità e la necessità di gestire la condensa in raffrescamento. Richiede inoltre acqua molto fredda, che riduce l'efficienza del chiller e aumenta i costi di deumidificazione. Va progettato con attenzione per garantire comfort acustico e termico, spesso tramite controlli elettronici e termostati ambiente.

Travi fredde: sono terminali idronici da soffitto che raffrescano (o riscaldano) l'ambiente tramite uno scambiatore attraversato da acqua. Nella versione attiva, integrano anche una piccola quantità di aria primaria, generando un effetto di induzione che migliora lo scambio termico senza l'uso di ventilatori locali, garantendo funzionamento silenzioso ed efficiente. Operano in raffrescamento a secco, con acqua a temperatura superiore al punto di rugiada (15–18 °C), evitando la formazione di condensa e migliorando l'efficienza energetica del sistema. Tuttavia, rispetto ai fan coil, hanno capacità frigorifera inferiore e richiedono controllo preciso dell'umidità ambientale. Sono ideali in ambienti come uffici e aule, dove il comfort acustico e la manutenzione ridotta sono prioritari. Le versioni passive (senza aria primaria) sono meno diffuse e funzionano solo per raffrescamento per convezione naturale.

Pannelli radianti: sono sistemi in cui l'acqua calda o fredda circola in tubazioni inserite in pavimenti, soffitti o pareti, oppure in moduli radianti a soffitto. Regolano la temperatura tramite irraggiamento, scambiando calore con le persone e l'ambiente circostante attraverso superfici ampie e uniformi. Offrono un elevato livello di comfort (niente aria forzata, silenziosità, temperatura omogenea) e ottima efficienza energetica, poiché funzionano con acqua a temperature moderate (30–40 °C per riscaldamento, 15–18 °C per raffrescamento). Di contro, non gestiscono il ricambio d'aria e richiedono deumidificazione ausiliaria in estate per evitare condensa. Inoltre, hanno elevata inerzia termica, quindi rispondono lentamente ai cambi di temperatura e necessitano di regolazioni anticipate. Sono ideali in edifici residenziali e di prestigio dove il comfort acustico e ambientale è fondamentale.

In sintesi, i sistemi ad acqua presentano il vantaggio di unità terminali compatte nell'ambiente, grande flessibilità (ogni locale ha il suo terminale controllabile) e spesso costi installativi inferiori per grandi edifici (l'acqua ha una capacità termica maggiore dell'aria; quindi, le tubazioni sono più piccole dei condotti aerulici equivalenti). Offrono inoltre inerzia termica che può contribuire alla stabilità della temperatura. Di contro, non controllando direttamente ventilazione e umidità, vanno quasi sempre integrati con un sistema di aria primaria per il rinnovo e la deumidificazione dell'aria. La presenza di acqua comporta anche potenziali rischi di perdite e una manutenzione concentrata su pompe, valvole e generatori.

2.3.3. Impianti misti (aria + acqua)

Come intuibile, gli impianti misti combinano le due tipologie precedenti, nel tentativo di sfruttarne i vantaggi complementari. In un sistema misto coesistono sia componenti tutto aria sia terminali idronici locali. Tipicamente, l'aria trattata viene utilizzata principalmente per garantire la qualità dell'aria indoor (ventilazione, filtrazione e controllo dell'umidità), mentre la componente ad acqua provvede al bilanciamento termico degli ambienti (carico di riscaldamento/raffrescamento).



Un esempio classico di impianto misto è dato dall'abbinamento di un sistema aria primaria con terminali fan-coil in ambiente: l'UTA centrale fornisce ad ogni locale una certa quantità di aria esterna pulita e deumidificata (a temperatura neutra), sufficiente a coprire il fabbisogno di ventilazione, mentre i ventilconvettori in ciascun ambiente gestiscono il mantenimento della temperatura desiderata.

In questo modo si ottiene un controllo completo sia del clima che della salubrità dell'aria. Un altro esempio sono proprio le travi fredde attive menzionate in precedenza, che richiedono sempre un apporto di aria primaria: le travi provvedono al raffrescamento locale per induzione, mentre l'aria primaria assicura il

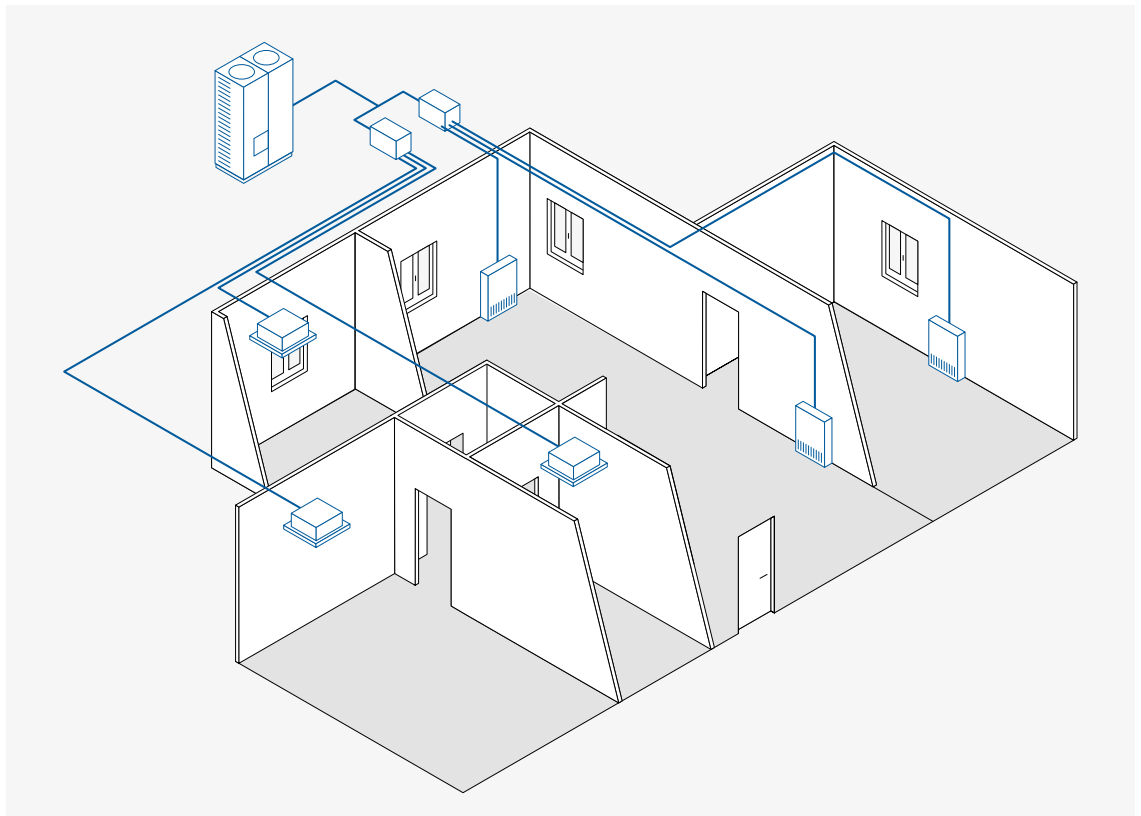
ricambio d'aria e asporta l'umidità in eccesso. Anche i sistemi a pannelli radianti sono spesso configurati in impianti misti, abbinando pannelli a soffitto o pavimento per il carico termico e unità di ventilazione dedicate per l'aria di rinnovo e la deumidificazione.

Gli impianti misti aria-acqua sono oggi molto diffusi negli edifici ad alte prestazioni, poiché consentono di ottimizzare il meglio dei due mondi: ad esempio, rispetto a un tutto aria, possono ridurre i volumi di aria da muovere (con risparmio energetico sui ventilatori e sezioni di trattamento aria più compatte) e migliorare il comfort acustico; rispetto a un sistema solo acqua, assicurano un controllo completo di umidità e qualità dell'aria. La complessità impiantistica risulta però maggiore, dovendo gestire due reti (canali aria e tubazioni acqua) e coordinare il controllo tra parte aria e parte acqua. Una progettazione accurata e un sistema di supervisione (BMS) sono fondamentali per sfruttare appieno i benefici degli impianti misti.

2.3.4. Sistemi decentralizzati (unità autonome)

Accanto ai grandi impianti centralizzati, esiste un'ampia famiglia di soluzioni HVAC decentralizzate, in cui il condizionamento è affidato a unità compatte poste localmente, senza un unico generatore centrale al servizio di tutto l'edificio. Queste soluzioni sono spesso scelte per edifici di piccola e media dimensione, per applicazioni residenziali o come retrofit in edifici esistenti dove non è presente una rete di distribuzione centralizzata.

05 Sistema decentralizzato



Un esempio tipico sono i condizionatori **split** e **multi-split**: sistemi a espansione diretta in cui il fluido refrigerante viene compresso e condensato in un'unità esterna e inviato direttamente alle unità interne installate nei vari locali. Ogni unità interna (split) contiene una batteria attraverso cui il refrigerante evapora (in raffreddamento) o condensa (in riscaldamento), scambiando calore con l'ambiente. I sistemi mono-split collegano una singola unità interna a una esterna (adatti per climatizzare un singolo ambiente), mentre i multi-split consentono di collegare più unità interne a un unico compressore esterno. Queste soluzioni decentralizzate hanno il vantaggio di una notevole semplicità impiantistica (niente centrali termiche o tubazioni idroniche) e costi iniziali contenuti; inoltre, permettono di controllare in modo indipendente ogni ambiente tramite telecomando o termostato locale. Sono molto utilizzate nel settore residenziale (ad esempio negli appartamenti, dove ogni stanza può avere il suo split) e in piccoli uffici o negozi. Di contro, quando il numero di ambienti climatizzati cresce, la moltiplicazione di unità esterne e interne può diventare poco efficiente e antiestetica, e la manutenzione di tanti dispositivi separati può risultare onerosa.

Inoltre, gli split tradizionali gestiscono solo aria/temperatura: non ricambiano l'aria (se non prelevandola dalla stessa stanza) e quindi non migliorano l'IAQ se non abbinati a sistemi di ventilazione dedicati.

Evoluzione dei multi-split sono i **sistemi VRF/VRV (Variable Refrigerant Flow/Volume)**, nei quali un'unica rete di tubazioni frigorifere collega numerose unità interne a uno o più gruppi esterni, con la possibilità di modulare in continuo il flusso di refrigerante verso ciascun locale. Il principio di funzionamento è sempre quello della pompa di calore a espansione diretta, ma grazie a compressori inverter e valvole di regolazione elettroniche, il VRF adatta la portata di refrigerante in base alle richieste termiche delle singole zone. Ciò consente di servire un elevato numero di ambienti con un solo sistema, ottenendo climatizzazione multizona altamente flessibile. I VRF possono funzionare sia in raffrescamento sia in riscaldamento; alcune configurazioni a recupero di calore sono in grado di raffrescare e riscaldare contemporaneamente ambienti diversi, trasferendo il calore dalle zone in freddo a quelle in caldo tramite appositi scambiatori.

I vantaggi principali di questa tecnologia sono la personalizzazione del clima in ogni ambiente (ogni unità interna è regolabile indipendentemente) e l'assenza di un fluido intermedio: l'energia termica viene fornita o rimossa direttamente nel locale, senza perdite di scambio con circuiti idronici. Ciò si traduce spesso in un'ottima efficienza energetica, specialmente a carico parziale, e nella possibilità di modularità: i sistemi VRF sono scalabili e adatti sia a edifici medio-piccoli che a grandi strutture con decine di zone (uffici multi-piano, hotel, ospedali). Alcuni VRF possono collegare l'unità esterna alle interne con tubazioni molto estese (fino a >100 metri), offrendo grande flessibilità progettuale. Di contro, l'installazione e la progettazione di un VRF richiede competenze specifiche (calcolo accurato delle tubazioni, gestione dell'olio lubrificante, rispetto delle normative sui refrigeranti F-Gas). Inoltre, la dipendenza da refrigerante come fluido termovettore impone limiti sulla carica massima ammissibile all'interno degli edifici per ragioni di sicurezza.

Oltre agli split e VRF, rientrano nei sistemi decentralizzati anche le pompe di calore autonome (ad esempio le unità rooftop o i sistemi packaged): apparecchi monoblocco installati in copertura o a parete, che integrano al loro interno compressore, batterie di scambio e ventilatori per distribuire direttamente aria trattata nell'ambiente. Ogni unità opera autonomamente su una zona specifica. Questo tipo di soluzione è frequente in capannoni industriali, piccoli supermercati, ristoranti o edifici senza impianto centralizzato, in cui si installano uno o più rooftop per climatizzare ciascun volume. Le unità autonome sono relativamente semplici da installare e possono essere accese/spente in base all'utilizzo dei locali, garantendo flessibilità d'esercizio. D'altro canto, possono risultare meno efficienti di un sistema centralizzato ben progettato (ogni unità ha il proprio compressore, senza condivisione ottimizzata del carico) e possono introdurre più rumore nell'ambiente servito, trovandosi spesso vicine agli occupanti. La manutenzione distribuita su molte unità è un ulteriore fattore da considerare.

In sintesi, la scelta tra impianti centralizzati (aria, acqua o misti) e decentralizzati dipende da variabili come le dimensioni e la destinazione d'uso dell'edificio, il budget, la necessità di controllo fine per zona, la disponibilità di spazio tecnico e le preferenze in termini di efficienza e manutenzione. Ogni tipologia presenta pro e contro: gli impianti centralizzati offrono in genere un controllo più integrato e potenzialmente maggiori efficienze su larga scala, mentre le soluzioni decentralizzate brillano per semplicità e indipendenza operativa delle singole zone. Spesso, nelle realizzazioni pratiche, si adottano combinazioni di queste soluzioni (ad esempio VRF per uffici + ventilazione centralizzata, oppure pannelli radianti + split in supporto, ecc.) per soddisfare al meglio le esigenze specifiche di comfort ed esercizio.

2.4. Evoluzione Digitale e Sostenibile degli Impianti HVAC

Il settore HVAC è in continua evoluzione per rispondere alle sfide poste dalla transizione digitale e dalla necessità di una maggiore sostenibilità ambientale. Da un lato, la digitalizzazione e l'automazione stanno rivoluzionando la gestione degli impianti; dall'altro, cresce la richiesta di soluzioni più efficienti e integrate per ridurre i consumi e l'impatto ambientale. Gli edifici tendono così a diventare sempre più intelligenti, connessi e a basso impatto energetico.

Tra le tendenze più significative spicca la diffusione dell'Internet of Things (IoT) e dei sistemi di controllo digitali. Gli impianti moderni utilizzano reti di sensori ambientali (temperatura, umidità, CO₂, presenza, ecc.) che forniscono dati in tempo reale. Queste informazioni alimentano algoritmi in grado di modulare automaticamente il funzionamento degli impianti HVAC, adattando parametri come la portata d'aria o il setpoint di climatizzazione in base all'occupazione o alla qualità dell'aria.

Il risultato è un comfort ottimizzato e una significativa riduzione dei consumi, impensabile con i vecchi sistemi a regolazione fissa. Inoltre, la connettività consente monitoraggio e controllo da remoto, migliorando l'efficienza operativa e la capacità di intervento.

Un'evoluzione ulteriore è rappresentata dall'intelligenza artificiale (AI) e dal controllo predittivo. Grazie al machine learning, i sistemi HVAC possono apprendere dai dati storici e dalle condizioni esterne per anticipare i fabbisogni: ad esempio, prevedendo l'aumento di temperatura legato all'irraggiamento solare e intervenendo in anticipo per evitare picchi di carico. Questo tipo di ottimizzazione può portare a risparmi energetici fino al 25% e a una riduzione dell'impronta carbonica tra il 20 e il 40%, migliorando al contempo il benessere degli occupanti.

Altro elemento chiave è la crescente interoperabilità tra sottosistemi dell'edificio: climatizzazione, illuminazione, controllo accessi, sicurezza e antincendio possono ora dialogare tra loro attraverso BMS integrati e protocolli di comunicazione standardizzati (es. BACnet, KNX, Modbus). Un sistema di gestione unificato consente, ad esempio, di coordinare climatizzazione e schermature solari in base all'irraggiamento e all'occupazione, o di attivare il ricambio d'aria solo quando necessario. Tutte le informazioni convergono in una piattaforma centralizzata, abilitando diagnostica avanzata, manutenzione predittiva e una gestione più consapevole dei consumi.

06 ABB Cylon FBXi Series



La sostenibilità ambientale resta un obiettivo primario. L'attenzione alle normative su edifici a energia quasi zero (NZEB), all'uso di refrigeranti naturali e alle energie rinnovabili sta guidando l'adozione di soluzioni sempre più efficienti: motori elettrici ad alte prestazioni, ventilatori e pompe a velocità variabile, sistemi di recupero di calore, free-cooling e pompe di calore geotermiche. Anche la progettazione dell'involucro edilizio riveste un ruolo centrale nella riduzione dei carichi termici e quindi nel miglioramento dell'efficienza complessiva. Sistemi evoluti di regolazione e azionamenti intelligenti permettono di adattare finemente il funzionamento dei componenti, evitando sprechi e ottimizzando l'uso dell'energia.

Sta emergendo infine il concetto di intelligenza distribuita, secondo cui i dispositivi periferici (come valvole smart, controllori di zona o VAV, termostati digitali) sono dotati di logica locale e comunicano direttamente in rete. Questo approccio riduce la latenza, consente una risposta più rapida alle condizioni ambientali e garantisce continuità operativa anche in caso di disconnessione dalla supervisione centrale. I vari dispositivi possono così cooperare e regolare in autonomia i parametri locali, migliorando resilienza ed efficienza.

In conclusione, il comfort termoigrometrico dipende da un equilibrio tra tecnologie impiantistiche, qualità dell'aria e controllo dinamico dei parametri ambientali. I moderni sistemi HVAC — siano essi ad aria, ad acqua, centralizzati o decentralizzati — offrono soluzioni sempre più mirate e adattabili ai diversi contesti applicativi. L'integrazione tra automazione, IoT, AI e gestione energetica consente oggi di ottenere livelli di comfort, efficienza e sostenibilità un tempo impensabili. Progettisti, installatori e gestori hanno a disposizione strumenti avanzati per creare ambienti più salubri, intelligenti e rispettosi del pianeta.

03

**MACCHINE
PER LA PRODUZIONE
DEL CALDO
E DEL FREDDO**

INDICE

022	3.1. Introduzione
022	3.2. Macchine per la produzione del caldo
	3.2.1. Caldaie (tradizionali e a condensazione)
	3.2.2. Pompe di calore per riscaldamento
	3.2.3. Teleriscaldamento
	3.2.4. Sistemi ibridi (pompa di calore + caldaia)
	3.2.5. Biomassa e solare termico (accenni)
028	3.3. Macchine per la produzione del freddo
	3.3.1. Chiller aria-acqua e acqua-acqua (gruppi frigoriferi)
	3.3.2. Pompe di calore in raffrescamento
	3.3.3. Sistemi a espansione diretta (split, VRF)
	3.3.4. Free cooling
033	3.4. Criteri di scelta e confronto
	3.4.1. Efficienza (COP, EER, SCOP, SEER)
	3.4.2. Flessibilità operativa (modularità, inverter, adattamento al carico)
	3.4.3. Tipologie di edificio (residenziale, commerciale, industriale)
	3.4.4. Integrazione con fonti rinnovabili e sistemi di accumulo
037	3.5. Conclusione

MACCHINE PER LA PRODUZIONE DEL CALDO E DEL FREDDO

3.1. Introduzione

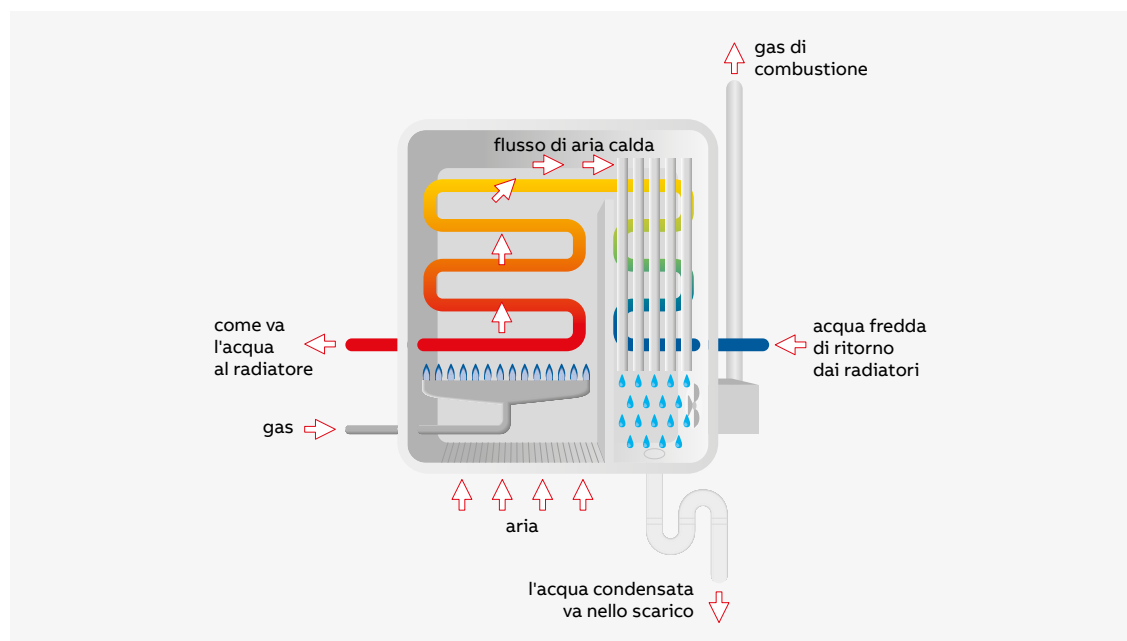
Negli impianti HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) le macchine termiche e frigorifere svolgono un ruolo fondamentale nel mantenere le condizioni di comfort termoigrometrico. Queste “macchine” sono responsabili di fornire energia termica (caldo) durante la stagione invernale e energia frigorifera (freddo) durante l'estate. La progettazione di tali sistemi richiede di bilanciare efficienza energetica, affidabilità e dimensionamento: l'impianto deve essere abbastanza potente da coprire i picchi di carico ma senza grossi sovradimensionamenti che penalizzerebbero il rendimento. Un eccesso di capacità, infatti, può portare a cicli di accensione/spegnimento troppo frequenti e funzionamento in regime inefficiente, mentre un dimensionamento preciso unito a soluzioni modulari o variabili permette di adattare la fornitura di caldo/freddo al reale fabbisogno. In parallelo, l'affidabilità del sistema è cruciale: l'uso di ridondanze (ad esempio più unità in parallelo) o sistemi ibridi garantisce continuità di servizio anche in caso di guasti o condizioni climatiche estreme. In sintesi, le macchine HVAC costituiscono il “cuore” degli impianti di climatizzazione, e la scelta oculata tra le diverse tecnologie disponibili consente di ottenere ambienti confortevoli minimizzando i consumi energetici e le emissioni.

3.2. Macchine per la produzione del caldo

Le macchine per la generazione di calore negli impianti HVAC servono principalmente al riscaldamento degli ambienti e alla produzione di acqua calda sanitaria (ACS). Negli edifici tradizionali il calore veniva fornito quasi esclusivamente da caldaie alimentate a combustibili fossili (gas naturale, gasolio), mentre oggi si dispone di una gamma più ampia di soluzioni comprendente pompe di calore elettriche, sistemi centralizzati come il teleriscaldamento, nonché opzioni rinnovabili (biomasse, solare termico). Di seguito presentiamo le principali tipologie di macchine per il caldo, con il loro funzionamento di base, l'efficienza, i pro e contro e gli scenari applicativi tipici.

3.2.1. Caldaie (tradizionali e a condensazione)

07 Processo di combustione nella caldaia



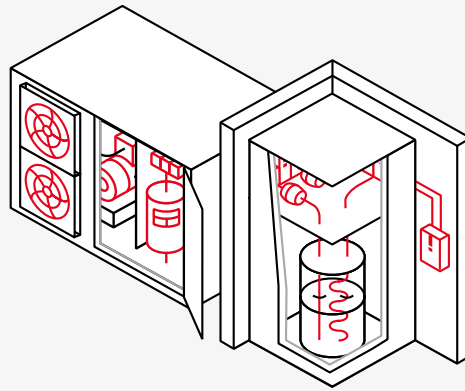
Le caldaie trasformano l'energia chimica di un combustibile in calore mediante un processo di combustione, riscaldando l'acqua che poi viene distribuita ai corpi scaldanti (termosifoni, pannelli radianti, unità ventilanti, etc.). Nelle **caldaie tradizionali a gas**, i fumi caldi generati dalla combustione vengono espulsi tramite il camino, e con essi si perde una parte significativa del calore prodotto. In una caldaia standard di vecchia generazione, infatti, fino al 10-15% dell'energia può disperdersi nei fumi, limitando l'efficienza massima attorno all'85%. Le **caldaie a condensazione**, introdotte su larga scala negli ultimi decenni, migliorano drasticamente questo aspetto recuperando il calore latente del vapore acqueo presente nei fumi di scarico. Nei modelli a condensazione i fumi vengono raffreddati all'interno di uno scambiatore aggiuntivo fino a far condensare il vapore, cedendo così calore all'acqua di ritorno dell'impianto. Questo consente rendimenti termici ben superiori a quelli delle caldaie tradizionali, con valori tipici che sfiorano il 100% o addirittura lo superano (98-110% rispetto al potere calorifico inferiore). In termini pratici, una caldaia a condensazione consuma meno combustibile per fornire la stessa quantità di calore utile, con un risparmio energetico che può arrivare al 15-30% rispetto a una caldaia convenzionale e conseguenti riduzioni delle emissioni di CO₂ e altri inquinanti. Di contro, le caldaie a condensazione richiedono uno smaltimento dell'acqua di condensa prodotta e rendono al meglio in impianti a basse temperature (es. riscaldamento a pavimento) dove massimizzano la condensazione; nei sistemi con radiatori tradizionali funzionanti ad alta temperatura, il guadagno di efficienza si riduce. In generale, oggi la caldaia a gas a condensazione rappresenta ancora la scelta prevalente per il riscaldamento domestico e piccolo-commerciale quando non si adottano soluzioni in pompa di calore, grazie alla sua affidabilità, compattezza e costo iniziale relativamente basso. Le evoluzioni moderne includono bruciatori modulanti e controlli avanzati che migliorano la flessibilità operativa, adattando la potenza termica erogata al carico ed evitando continui spegnimenti.

3.2.2. Pompe di calore per riscaldamento

Le pompe di calore sono macchine in grado di trasferire calore da una sorgente a bassa temperatura (aria esterna, acqua di falda, terreno) all'acqua dell'impianto di riscaldamento, sfruttando un ciclo termodinamico alimentato da energia elettrica. A differenza di una caldaia, dunque, una pompa di calore non genera calore tramite combustione ma "pompa" energia termica da una sorgente naturale all'edificio per effetto del lavoro di un compressore frigorifero. Questo processo è analogo a quello di un comune frigorifero domestico, ma applicato al riscaldamento degli ambienti: un fluido refrigerante circola in un circuito chiuso attraverso evaporatore, compressore, condensatore ed espansione, trasferendo calore dall'esterno (che nonostante le basse temperature invernali contiene sempre energia termica utilizzabile) all'acqua dell'impianto interno.

Il grande vantaggio delle pompe di calore è la loro efficienza energetica: riescono a fornire più energia termica di quanta ne consumino sotto forma di elettricità, poiché la maggior parte del calore erogato è prelevato dall'ambiente esterno e solo una frazione deriva dall'energia elettrica spesa per il ciclo.

08 Pompe di calore per riscaldamento



L'efficienza istantanea di una pompa di calore si misura attraverso il coefficiente di prestazione (COP, Coefficient of Performance), definito come il rapporto tra la potenza termica fornita all'impianto e la potenza elettrica assorbita dal compressore. Ad esempio, un $COP = 4$ indica che con 1 kW di elettricità la macchina fornisce 4 kW di calore; la differenza (3 kW in questo caso) proviene dall'energia termica "gratuita" sottratta alla sorgente esterna. In condizioni ottimali (ad esempio aria esterna a $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ e impianto a pavimento radiante a $35\text{ }^{\circ}\text{C}$) le moderne pompe di calore aria-acqua raggiungono COP anche di 4–5, significando un rendimento del 400–500% rispetto all'energia primaria elettrica impiegata. Ovviamente il COP effettivo varia al variare delle temperature di lavoro: con clima più rigido o se è richiesta acqua a temperatura elevata (es. $60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ per radiatori tradizionali), l'efficienza scende. Per tener conto delle variazioni stagionali, si usa il parametro SCOP (Seasonal COP), che rappresenta il COP medio ponderato sull'intera stagione di riscaldamento. In ogni caso, installare una pompa di calore al posto di una caldaia può portare riduzioni dei consumi dal 30% fino al 70% a parità di calore fornito, specialmente se abbinata a fonti rinnovabili.

Dal punto di vista ambientale, inoltre, **la pompa di calore non brucia combustibili fossili, non emette direttamente CO_2 né altri inquinanti in sito** – un beneficio importante per la qualità dell'aria urbana e la riduzione dei gas serra, soprattutto se l'energia elettrica impiegata proviene da fonti rinnovabili.

Le pompe di calore per riscaldamento trovano impiego sia in ambito residenziale che nel terziario. Le più diffuse sono quelle **aria-acqua**, costituite da un'unità esterna che scambia calore con l'aria ambiente (prelevando calore dall'aria in inverno) e da un'unità interna con scambiatore acqua/refrigerante che riscalda l'acqua dell'impianto. Esistono poi **pompe di calore geotermiche** (acqua-acqua o salamoia-acqua), che scambiano calore con il terreno o con acque sotterranee: queste hanno rendimenti molto alti e stabili (poiché la temperatura del sottosuolo resta pressoché costante tutto l'anno) ma richiedono costosi sistemi di captazione (sonde geotermiche verticali o orizzontali, perforazioni, ecc.).

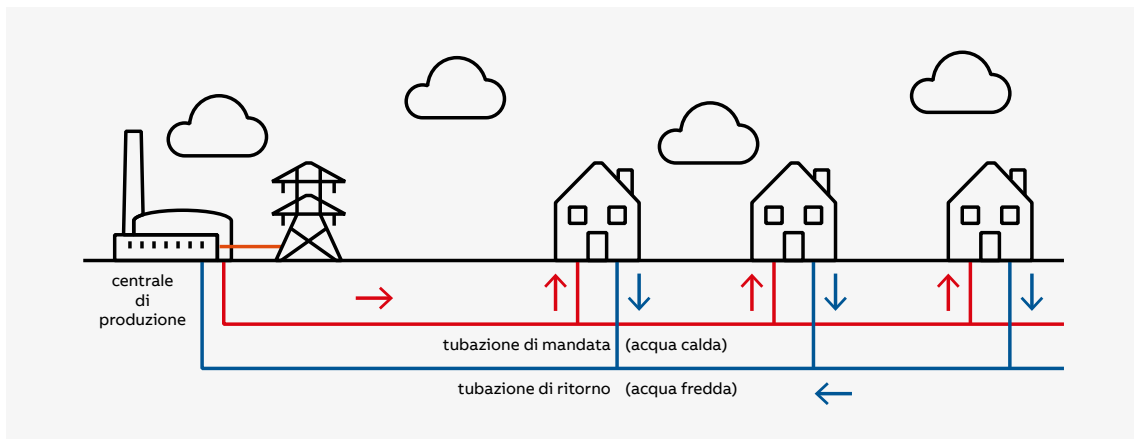
In contesti condominiali o commerciali sono usate anche **pompe di calore aria-aria** (ad espansione diretta), dove il fluido refrigerante circola direttamente nei terminali interni e cede calore all'aria ambiente tramite batterie alettate – concettualmente simili ai comuni climatizzatori split, ma reversibili in pompa di calore. Va notato che, al di sotto di certe temperature esterne, l'efficienza delle pompe di calore aria-acqua/aria-aria cala sensibilmente e può rendersi necessario integrare la fornitura di calore con resistenze elettriche ausiliarie o sistemi ibridi. Nonostante ciò, grazie ai progressi tecnici (circuiti a iniezione di vapore, refrigeranti migliorati, inverter, ecc.) molte pompe di calore aria-acqua moderne riescono a operare anche con aria esterna a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, garantendo una quota significativa del riscaldamento in climi rigidi.

In sintesi, la pompa di calore rappresenta un pilastro della elettrificazione del riscaldamento: consente di utilizzare energia elettrica (potenzialmente rinnovabile) per climatizzare gli edifici, con efficienze elevate e benefici ambientali evidenti nel lungo termine.

3.2.3. Teleriscaldamento

Il teleriscaldamento è un sistema centralizzato in cui il calore viene prodotto in una centrale e distribuito a distanza alle utenze attraverso una rete di tubazioni isolate. Si tratta di un approccio “di sistema” al riscaldamento: invece di avere molte piccole caldaie individuali in ciascun edificio, un'unica centrale termica (o alcune centrali di quartiere) fornisce acqua calda o surriscaldata che scorre tramite condotte interrate fino alle abitazioni, dove tramite scambiatori di calore cede energia termica agli impianti interni degli edifici. Il teleriscaldamento non implica una specifica tecnologia di generazione: **la centrale di produzione può essere alimentata con varie fonti energetiche, sia fossili che rinnovabili.** Ad esempio, esistono reti di teleriscaldamento alimentate da caldaie a gas (o a olio combustibile), da impianti a biomassa, da impianti di termovalorizzazione (inceneritori di rifiuti urbani che recuperano calore), da cogeneratori (turbine o motori che producono simultaneamente energia elettrica e calore), da grandi pompe di calore che sfruttano fonti a bassa temperatura (acqua di fiume, lago, mare, geotermia), oppure integrate con solare termico. **Questa flessibilità consente di sfruttare al meglio fonti energetiche localmente disponibili e ad alta efficienza.** In una rete tradizionale, l'acqua di distribuzione viene inviata alle utenze a temperature elevate (80–120 °C a seconda dei casi) e restituita alla centrale a temperatura più bassa, dove viene riscaldata di nuovo in un ciclo continuo. I moderni sistemi di teleriscaldamento di quarta generazione tendono ad abbassare le temperature di rete (ad esempio 50–60 °C) per ridurre le perdite e poter integrare più facilmente fonti rinnovabili a bassa temperatura.

09 Teleriscaldamento



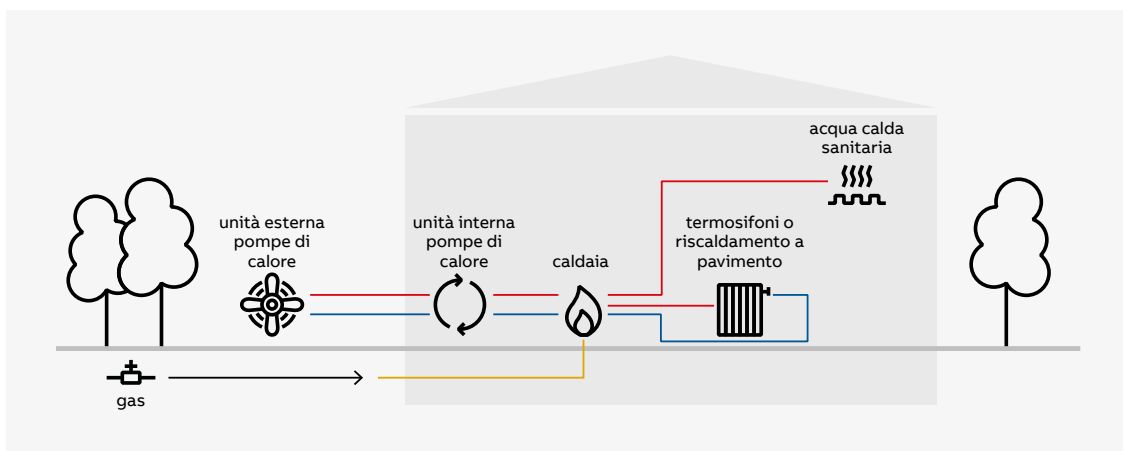
I vantaggi del teleriscaldamento includono una **maggiore sicurezza** (nell'edificio non vi sono fiamme libere né combustione diretta, eliminando rischi di fughe di gas e incidenti domestici), la **comodità** per l'utente finale (manutenzione centralizzata anziché su ogni singola caldaia) e soprattutto i potenziali **benefici energetici ed ecologici** su scala urbana. Concentrando la produzione di calore in pochi impianti di grande taglia, si possono ottenere rendimenti complessivi elevati grazie ad apparecchiature industriali più efficienti e all'utilizzo del calore cogenerato dall'elettricità. Inoltre, si realizza un miglior controllo delle emissioni: è più facile abbattere inquinanti e polveri in un grande impianto dotato di sistemi di filtrazione, rispetto a migliaia di piccoli camini distribuiti. Di fatto, l'attivazione di una rete di teleriscaldamento permette di spegnere numerose caldaie autonome che sarebbero altrettante fonti di inquinamento locale, con benefici immediati sulla qualità dell'aria in città. Dal punto di vista ambientale e di efficienza, il top si raggiunge nei sistemi in cogenerazione o trigenerazione: la centrale produce elettricità e con il calore di scarto riscalda l'acqua della rete (cogenerazione), e volendo può anche alimentare gruppi ad assorbimento per fornire acqua refrigerata per il condizionamento estivo (trigenerazione). In questo modo si sfrutta al massimo ogni unità di combustibile, ottenendo bilanci energetici molto favorevoli.

Di converso, il teleriscaldamento presenta limitazioni e svantaggi: richiede un'elevata densità abitativa per essere economicamente sostenibile (deve esserci un numero sufficiente di utenze concentrate, come nei centri urbani o quartieri ad alta intensità); i costi iniziali di realizzazione delle reti di distribuzione sono ingenti (scavi, tubazioni coibentate, sottostazioni di scambio in ogni edificio); inoltre, il sistema vincola l'utente a un fornitore unico di calore e non sempre le tariffe risultano più convenienti dei combustibili tradizionali. Va poi assicurata una continuità del servizio molto alta, spesso garantita con centrali di backup o serbatoi di accumulo termico per sopperire ai guasti o ai picchi improvvisi di richiesta. Nonostante queste criticità, **dove esistono le condizioni adatte il teleriscaldamento rappresenta una soluzione efficiente e sempre più pulita, in linea con la transizione energetica:** città come Milano, Torino, Brescia, Bolzano e molte altre in Italia ed Europa hanno investito in reti di calore che sfruttano in misura crescente energie rinnovabili o recuperi termici altrimenti dissipati.

3.2.4. Sistemi ibridi (pompa di calore + caldaia)

I sistemi ibridi combinano in un'unica soluzione una pompa di calore elettrica e una caldaia a condensazione a gas, sfruttando i vantaggi di entrambe. Questa configurazione consente di operare in modo flessibile, utilizzando di volta in volta il generatore più adatto alle condizioni operative e garantendo così sia efficienza che affidabilità. In pratica, il sistema è gestito da un controllore intelligente che attiva la pompa di calore quando le condizioni esterne sono favorevoli (temperatura non troppo bassa, richiesta termica moderata), privilegiando l'energia rinnovabile e il minor costo, e accende invece la caldaia quando è più conveniente o necessario (ad esempio durante le ore più fredde, quando il COP della pompa di calore calerebbe, oppure per coprire picchi di domanda termica). Il risultato è che l'abitazione ottiene sempre comfort garantito, con bollette ridotte e minori emissioni inquinanti grazie all'uso della pompa di calore per la maggior parte del tempo. Nel contempo, la presenza della caldaia assicura che anche nelle situazioni più gravose (gelate intense, guasti della pompa di calore, ecc.) l'impianto possa fornire tutto il calore richiesto – risolvendo uno dei limiti percepiti delle sole pompe di calore in climi rigidi.

10 Sistema ibrido



Dal punto di vista tecnologico, i sistemi ibridi in commercio spesso presentano le due macchine integrate in un unico prodotto compattato, con gestione elettronica unificata (requisito talvolta necessario per accedere a incentivi). La pompa di calore tipicamente ha potenza termica inferiore a quella della caldaia (spesso dimensionata intorno al 30–50% della potenza di picco richiesta) ma copre la maggior parte del fabbisogno annuo di riscaldamento, poiché i carichi nominali massimi si verificano solo per poche ore all'anno.

Per esempio, in una villetta che richiede 20 kW di potenza alla temperatura di progetto (-5°C esterna), un'ibrida potrebbe montare una pompa di calore da 6 kW e una caldaia da 20 kW: la pompa di calore lavorerà in autonomia nelle mezze stagioni e nelle giornate non troppo fredde, coprendo magari l'80% dell'energia termica stagionale, mentre la caldaia interverrà solo nelle ore più fredde invernali o per sopperire rapidamente alle richieste di ACS ad alta temperatura. Questa sinergia permette notevoli riduzioni dei consumi di gas e delle emissioni, mantenendo al contempo la flessibilità di funzionamento su qualunque impianto (anche esistente con termosifoni ad alta temperatura). I sistemi ibridi sono particolarmente indicati nelle riqualificazioni di edifici esistenti: dove non è possibile (o conveniente) soddisfare tutto il carico con una pompa di calore, l'ibrido consente di abbattere comunque una parte consistente dei consumi fossili senza dover stravolgere l'impianto.

Di contro, occorre valutare attentamente la convenienza economica: l'impianto è più complesso e costoso, e la reale convenienza dipende dai prezzi energetici (elettricità vs gas) e dal profilo climatico. Inoltre, è necessario spazio per installare entrambe le unità. In prospettiva, i sistemi ibridi rappresentano comunque un valido passo verso la decarbonizzazione, specie come soluzione di transizione nelle zone climatiche fredde, in attesa di reti elettriche completamente rinnovabili o di ulteriori miglioramenti delle pompe di calore.



3.2.5. Biomassa e solare termico (accenni)

Oltre alle tecnologie principali sopra descritte, esistono **soluzioni che sfruttano fonti rinnovabili termiche** per la produzione di caldo, spesso impiegate come integrazione o in specifici contesti. Tra queste meritano un cenno:

Generatori a biomassa: includono caldaie e stufe alimentate a legna, pellet, cippato o altre biomasse vegetali. La combustione della biomassa produce calore esattamente come nelle caldaie fossili, ma con la differenza che la CO₂ emessa è bilanciata dalla CO₂ assorbita dalle piante durante la crescita (bilancio neutro a livello climatico, se la risorsa è gestita in modo sostenibile). Le caldaie a pellet, in particolare, sono usate per riscaldamento domestico in zone non servite dal gas metano: hanno automatizzazione nell'alimentazione del combustibile e rendimenti attorno all'85-90%. Vantano costi di combustibile più bassi e incentivi per l'energia rinnovabile, ma presentano criticità nelle emissioni di polveri sottili e ossidi di azoto; inoltre richiedono spazio per lo stoccaggio del pellet/legna e una manutenzione più frequente (pulizia ceneri, ecc.). Spesso la biomassa viene impiegata in abbinamento ad accumulatori inerziali (puffer) per ottimizzarne il funzionamento e ridurre accensioni/spegnimenti. In ambito rurale o in edifici con disponibilità di risorse legnose, le caldaie a biomassa possono sostituire completamente o integrare le caldaie a gas, mentre in città il loro uso è limitato a causa delle emissioni locali.

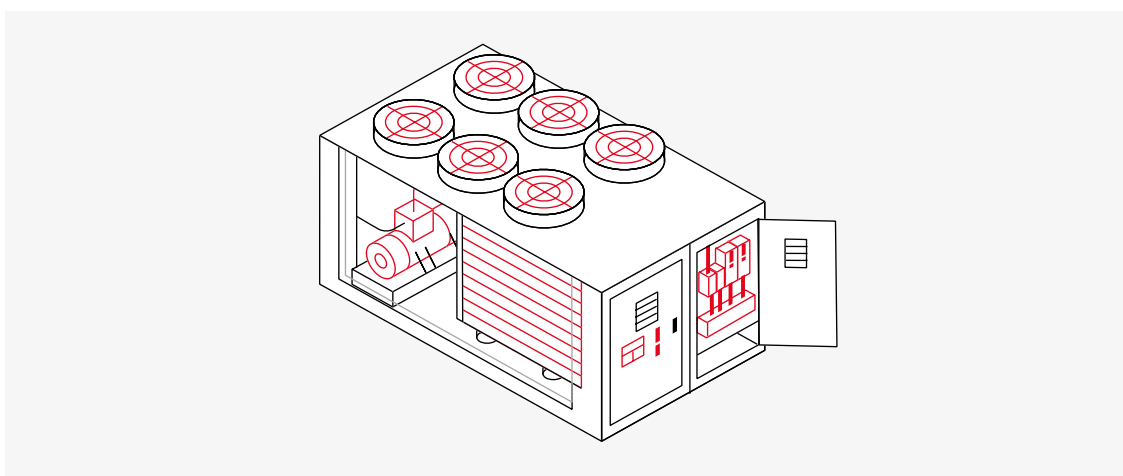
Solare termico: sfrutta collettori solari termici (pannelli piani vetrati o tubi sottovuoto) per convertire l'energia solare in calore, tipicamente impiegato per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria e, in alcuni casi, a supporto del riscaldamento degli ambienti. Un impianto solare termico ben dimensionato può coprire dal 50% fino all'80% del fabbisogno annuo di ACS di una famiglia, azzerando di fatto i consumi di gas in estate. In inverno, la radiazione solare è minore e spesso insufficiente da sola a scaldare gli ambienti, ma il contributo solare può pre-riscaldare l'acqua riducendo il lavoro della caldaia/pompa di calore. I sistemi solari termici richiedono un serbatoio di accumulo isolato dove stoccare l'acqua calda raccolta durante il giorno per poi usarla quando serve (ad es. la sera). Si tratta di tecnologie semplici e affidabili, con costi di esercizio quasi nulli una volta installate. Lo svantaggio principale è la variabilità della fonte solare: in integrazione al riscaldamento è utile solo in case ben coibentate e con ampie superfici di collettori, e in ogni caso necessita di un sistema ausiliario per coprire i periodi senza sole. Malgrado ciò, l'abbinamento solare termico + caldaia/pompa di calore è una soluzione comune per aumentare la quota di rinnovabili negli edifici residenziali.

3.3. Macchine per la produzione del freddo

Passando alla produzione di **energia frigorifera**, le macchine impiegate per il raffrescamento estivo degli ambienti (o per la refrigerazione di processi industriali) si basano prevalentemente su cicli a compressione di vapore analoghi a quelli descritti per le pompe di calore, ma “orientati” alla sottrazione di calore dagli ambienti interni per ottenere l’effetto di raffreddamento. Possiamo distinguere due grandi categorie di sistemi di climatizzazione estiva: **quelli che producono acqua refrigerata** destinata a ventilconvettori, pannelli radianti, unità di trattamento aria, ecc., e **quelli che agiscono direttamente sull’aria degli ambienti** mediante espansione diretta del refrigerante (split, VRF). Inoltre, esistono tecniche di **free cooling che consentono di raffrescare gli ambienti senza l’uso di cicli frigoriferi**, sfruttando condizioni favorevoli dell’ambiente esterno. In questa sezione passiamo in rassegna le principali tipologie di macchine frigorifere, evidenziandone principi di funzionamento e ambiti di utilizzo.

3.3.1. Chiller aria-acqua e acqua-acqua (gruppi frigoriferi)

1.1 Chiller



I **chiller** (termine comunemente usato per i gruppi frigoriferi a compressione) **sono macchine che producono acqua refrigerata da inviare ai terminali di climatizzazione (fan-coil, ecc.) o ad altri scambiatori per il raffreddamento di ambienti e processi**. Il loro funzionamento si basa su un circuito frigorifero con compressore, condensatore, valvola di espansione ed evaporatore, in tutto analogo a quello di una pompa di calore, con la differenza che l’obiettivo primario è sottrarre calore all’acqua che circola nell’evaporatore (raffreddandola, tipicamente a 7 °C) e cedere quel calore all’esterno tramite il condensatore. A seconda di come viene realizzato lo scambio termico sul lato esterno, si distinguono principalmente due categorie: chiller condensati ad aria (aria-acqua) e chiller condensati ad acqua (acqua-acqua). Nei primi, il condensatore è raffreddato da un flusso d’aria esterna (spinto da ventilatori) e tipicamente costituisce l’unità motocondensante esterna visibile negli impianti rooftop o nei cortili; nei chiller ad acqua, invece, il condensatore cede calore ad un circuito d’acqua (detto circuito di condensazione), il quale poi scarica il calore nell’atmosfera tramite una torre evaporativa o altro dissipatore esterno. I chiller aria-acqua sono più semplici da installare (non richiedono torri di raffreddamento) e adatti a taglie medio-piccole; quelli acqua-acqua offrono prestazioni migliori nelle giornate molto calde (poiché l’acqua di torre può essere più fresca dell’aria esterna) e sono preferiti nelle grandi installazioni dove l’efficienza e il controllo acustico sono prioritari.

Un gruppo frigorifero a compressione è caratterizzato principalmente dal tipo di compressore impiegato, che ne determina potenza, efficienza e modalità di parzializzazione. Le tecnologie di compressore più diffuse nei chiller moderni sono:

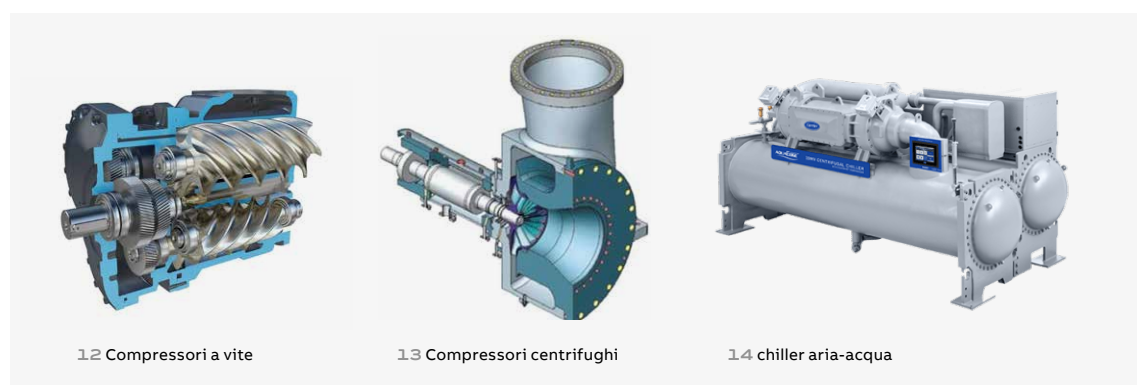
Compressori scroll: utilizzano due spirali a incastro per comprimere il refrigerante. Sono impiegati su chiller di piccola e media potenza (indicativamente fino a ~200 kW per circuito). Offrono diversi vantaggi: poche parti in movimento e assenza di valvole (quindi alta affidabilità e bassa rumorosità), ottimo rendimento volumetrico e buona tolleranza a piccole quantità di liquido. Spesso più compressori scroll vengono montati in parallelo su circuiti frigoriferi multipli per ottenere maggiori potenze e una modulazione a gradini della capacità frigorifera. Con l’adozione di inverter, è possibile anche variare in continuo la velocità di rotazione di alcuni compressori scroll, così da adattare finemente la potenza erogata al carico termico.

I chiller scroll dominano il mercato residenziale e terziario fino a qualche centinaio di kW, grazie al buon compromesso tra efficienza, costo e silenziosità.

Compressori a vite (screw): impiegati in chiller di media-alta potenza (indicativamente da qualche centinaio kW fino a qualche MW). Il compressore a vite utilizza due rotori elicoidali accoppiati che comprimono il gas refrigerante in modo continuo. Rispetto agli scroll, i compressori a vite possono raggiungere portate e potenze frigorifere molto più elevate per singolo circuito. Hanno anch'essi poche parti in contatto (il rotolamento dei rotori evita vibrazioni eccessive) e possono modulare la capacità tramite un sistema di valvola slide o controllo dell'apertura di aspirazione, oppure tramite inverter. I chiller con viti sono tipici di edifici commerciali e industriali di medie dimensioni (es. uffici di grandi volumetrie, centri commerciali, ospedali) e spesso impiegano due circuiti frigoriferi per ampliare il campo di modulazione e la ridondanza. Il loro EER (indice di efficienza in raffreddamento) a pieno carico è buono, sebbene leggermente inferiore a quello dei centrifughi sulle grandi potenze; tuttavia presentano ottimi rendimenti ai carichi parziali, specialmente quando dotati di controllo inverter, rendendoli molto efficienti nell'operatività reale variabile.

Compressori centrifughi: utilizzano la forza centrifuga di una girante rotante ad alta velocità per comprimere il refrigerante e sono impiegati in chiller di grandissima potenza (dell'ordine di >2000 kW per singola unità) – tipicamente i grandi impianti centralizzati di telerinfrescamento, aeroporti, grattacieli, centri direzionali, ecc. Questi compressori assomigliano a turbomacchine e possono raggiungere rendimenti elevatissimi a pieno carico grazie all'assenza di attriti e all'ottimizzazione fluidodinamica: i migliori chiller centrifughi acqua-acqua superano un EER = 7 (cioè 1 kW elettrico per 7 kW frigoriferi prodotti) in condizioni nominali. Inoltre, l'introduzione di cuscinetti magnetici e motori a velocità variabile (es. compressori oil-free tipo Turbocor) ha permesso di migliorare le prestazioni ai carichi parziali ed eliminare perdite meccaniche, rendendo questi chiller competitivi su tutto il range di funzionamento. I vantaggi dei centrifughi sono la grande capacità frigorifera unitaria, l'efficienza e il funzionamento continuo; gli svantaggi includono un costo molto elevato e una complessità tecnica maggiore (problemi di surge o stallo aerodinamico a carichi molto bassi, necessità di controllo preciso, ecc.), per cui si usano solo dove strettamente giustificati.

Dal punto di vista applicativo, i **chiller aria-acqua sono comuni in edifici medio-piccoli** (uffici, hotel, centri commerciali di dimensioni contenute, ospedali, ecc.) dove installare una macchina compatta all'esterno è pratico; i **chiller acqua-acqua con torre di raffreddamento si trovano in impianti più grandi e prestigiosi**, dove l'efficienza energetica e acustica giustifica l'infrastruttura aggiuntiva. Spesso, per aumentare la resilienza e l'adattamento al carico, si installano più chiller in parallelo: ad esempio, invece di un unico gruppo da 1000 kW, se ne possono mettere due da 500 kW, così che in mezze stagioni ne funzioni solo uno (più vicino al suo optimum di efficienza) e in estate entrambi per coprire i picchi, assicurando anche backup in caso di fermo di una macchina. Un'ulteriore possibilità è l'utilizzo di **chiller polivalenti** (detti anche reversible chillers): macchine in grado di funzionare sia in modalità refrigeratore che in modalità pompa di calore, invertendo il ciclo frigorifero. In pratica, d'estate forniscono acqua fredda all'impianto di climatizzazione, mentre d'inverno possono invertire il funzionamento e fornire acqua calda per il riscaldamento. Alcuni modelli polivalenti sofisticati sono capaci perfino di produrre simultaneamente acqua calda e fredda su circuiti distinti (utili per edifici con aree da raffreddare e altre da riscaldare contemporaneamente, o per produrre ACS tutto l'anno). I gruppi frigoriferi a compressione rappresentano lo standard di mercato per la climatizzazione di medie e grandi dimensioni grazie alla loro affidabilità e scalabilità; per completezza, si menzionano anche i gruppi ad assorbimento (che producono freddo usando calore come fonte di energia, ad esempio bruciando gas o sfruttando acqua calda da cogenerazione) ma si tratta di soluzioni di nicchia utilizzate solo dove il costo dell'energia termica di scarto è molto basso, poiché hanno coefficienti di prestazione (COP ~0.7) ben inferiori ai chiller a compressione elettrica e costi elevati.



1.2 Compressori a vite

1.3 Compressori centrifughi

1.4 chiller aria-acqua

3.3.2. Pompe di calore in raffrescamento

Come accennato in precedenza, una pompa di calore può operare inversamente per fornire raffreddamento anziché calore. Moltissimi dispositivi per climatizzazione estiva non sono altro che pompe di calore aria-aria o aria-acqua usate in modalità frigorifera: ad esempio, il classico climatizzatore split installato in casa è tecnicamente una pompa di calore aria-aria reversibile (infatti quasi tutti i modelli odierni possono fare sia freddo che caldo invertendo il ciclo). In modalità raffrescamento, il ciclo funziona esattamente come quello di un frigorifero: l'unità interna funge da evaporatore, assorbendo calore dall'aria ambiente e raffreddandola, mentre l'unità esterna funge da condensatore, espellendo all'esterno il calore prelevato dall'interno. Lo stesso vale per una pompa di calore aria-acqua: d'estate può invertire il processo, producendo acqua refrigerata da inviare ai fan-coil per il condizionamento, proprio come farebbe un chiller.

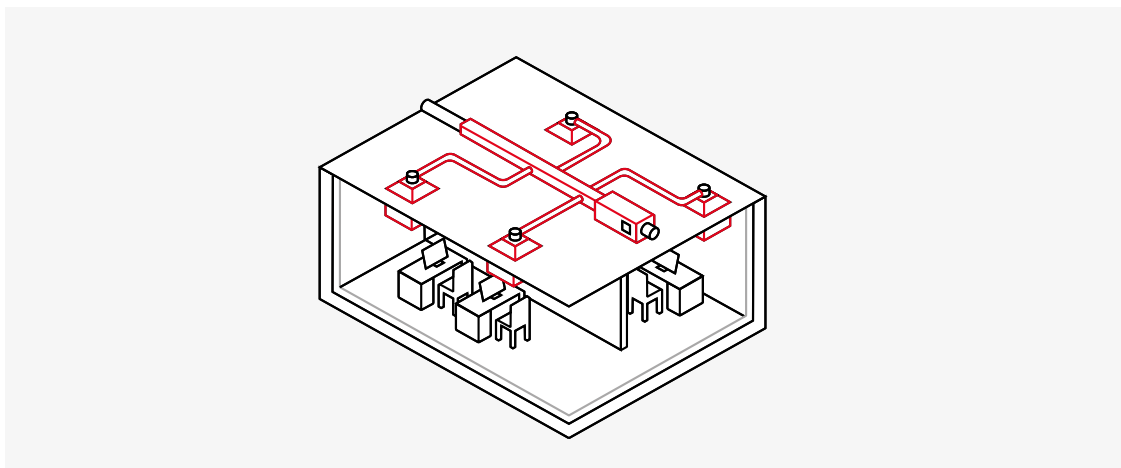
Vale la pena sottolineare che, di fatto, chiller e pompe di calore condividono la medesima tecnologia di base e spesso l'unica distinzione è nelle temperature di lavoro: un chiller è ottimizzato per produrre freddo (es. acqua a 7 °C) e cede calore a temperature medio-alte (aria a 35–40 °C o acqua di torre a 30 °C), mentre una pompa di calore per riscaldamento è dimensionata per rendere al meglio fornendo acqua calda (es. 45 °C) e prelevando calore dall'aria fredda (2–7 °C). Tuttavia, le macchine moderne sono quasi tutte reversibili: molti produttori commercializzano unità “2 in 1” in grado di funzionare come chiller d'estate e come pompe di calore d'inverno, massimizzandone l'utilizzo annuale. In tal modo lo stesso investimento in capitale e spazio copre sia il fabbisogno di freddo che di caldo, in ottica di efficienza economica. I limiti si riscontrano durante condizioni estreme: quando fa molto caldo, la resa frigorifera cala; quando fa molto freddo, la resa termica cala – come discusso in precedenza per le pompe di calore. In contesti misti, talvolta si preferisce separare la funzione di freddo e di caldo installando un chiller dedicato e una pompa di calore dedicata, in modo da massimizzare l'efficienza in ciascun ruolo e garantire ridondanza (in estate resta spenta la pompa di calore, in inverno il chiller, fungendo da riserva di emergenza l'uno per l'altro se necessario).

In generale, comunque, possiamo considerare equivalenti le discussioni fatte per i chiller e per le pompe di calore: entrambe le macchine usano un ciclo a compressione di vapore con analoghi componenti, e i parametri di efficienza (EER per il freddo, COP per il caldo) si misurano nello stesso modo. Nel settore residenziale e piccoli uffici, parlare di “pompa di calore in raffrescamento” è semplicemente riferirsi ai normali climatizzatori o sistemi mini-split impiegati per il condizionamento estivo, che sono appunto pompe di calore aria-aria. Nel settore industriale/terziario, invece, l'uso del termine chiller è più comune quando l'obiettivo primario è produrre freddo per un impianto centralizzato (acqua refrigerata). In quest'ultimo caso, se il gruppo è reversibile e può fare caldo viene spesso chiamato pompa di calore; se è solo frigorifero, viene chiamato chiller. La distinzione è sottile ma convenzionale.



3.3.3. Sistemi a espansione diretta (split, VRF)

1.5 Sistema VRF



I sistemi a espansione diretta sono impianti in cui il fluido refrigerante del circuito frigorifero circola direttamente negli scambiatori posti negli ambienti da climatizzare, senza intermediari come l'acqua. I più noti sono i climatizzatori split utilizzati in ambito residenziale: un'unità esterna comprime il gas e lo raffredda (funzione di condensatore in estate) inviandolo allo split interno, dove tramite una valvola di espansione ed evaporatore avviene il raffreddamento dell'aria ambiente. Negli ultimi decenni questa tecnologia si è evoluta nei sistemi VRF (Variable Refrigerant Flow), noti anche come sistemi multi-split o VRV. In un impianto VRF, un'unica unità esterna è collegata a molteplici unità interne distribuite nell'edificio, e tramite una rete di tubazioni refrigerante e apposite valvole di controllo, è in grado di modulare la portata di refrigerante verso ogni unità interna in base al carico termico di ciascun locale. Il termine "flusso di refrigerante variabile" indica proprio la capacità del sistema di adattare la quantità di refrigerante circolante (e quindi la capacità frigorifera/termica erogata) in tempo reale alle esigenze, grazie a compressori inverter e a valvole di regolazione elettroniche. I VRF rappresentano una soluzione estremamente flessibile per edifici commerciali di medio-grandi dimensioni (uffici, alberghi, negozi, ecc.), perché consentono di climatizzare numerose zone con un solo sistema, offrendo controllo individuale della temperatura in ogni ambiente. Inoltre, esistono configurazioni VRF a recupero di calore che permettono il funzionamento simultaneo in caldo e in freddo: ad esempio, in mezza stagione possono riscaldare alcuni locali freddi (lato nord) e contemporaneamente raffrescare altri locali surriscaldati dal sole (lato sud), trasferendo calore dall'uno all'altro attraverso il circuito frigorifero comune. Ciò evita sprechi dovuti a raffreddare con un chiller e contemporaneamente riscaldare con una caldaia (come avverrebbe in un impianto tradizionale a due tubi non indipendenti) e aumenta notevolmente l'efficienza energetica negli edifici con carichi termici variabili spazialmente.

Dal punto di vista installativo, un sistema VRF richiede tubazioni frigorifere che si diramano dall'unità esterna a tutte le unità interne (possono essere decine per macchina) e un cablaggio di comunicazione per il controllo centralizzato. L'efficienza dei VRF moderni è molto alta, grazie all'impiego esclusivo di compressori a velocità variabile e scambiatori di calore ottimizzati: i valori di SEER (indice di efficienza stagionale in raffrescamento) e SCOP (in riscaldamento) raggiungono classe A++ o superiori. In particolare, il vantaggio dei VRF è evidente ai carichi parziali: poiché modulano esattamente la potenza richiesta, evitano cicli on/off e lavorano spesso in condizioni favorevoli (il compressore inverter riduce il consumo in modo non lineare all'aumentare del carico, con rendimenti istantanei elevati nelle fasi di carico parziale). Inoltre, eliminando lo stadio intermedio dell'acqua, si riducono alcune perdite termiche e si semplifica l'impianto (niente pompe di circolazione per l'acqua refrigerata, niente scambiatori aggiuntivi). D'altro canto, i sistemi a espansione diretta presentano delle sfide: limiti dimensionali (la lunghezza totale delle tubazioni e il dislivello fra unità interna più alta e più bassa sono limitati per ragioni di equilibrio del circuito e lubrificazione), costi di installazione spesso elevati (richiedono manodopera specializzata frigorista, attenta posa delle linee, ecc.), e soprattutto la gestione dei refrigeranti: poiché grandi quantità di gas refrigerante circolano all'interno dell'edificio, vanno rispettate normative di sicurezza (ad es. per evitare che una fuga di refrigerante tossico/infiammabile saturi un ambiente chiuso). I refrigeranti odierni sono a ridotto GWP (potenziale di effetto serra), ma spesso leggermente infiammabili (es. miscele HFC/HFO come l'R32 o R454B di classe A2L) il che impone precauzioni e sensori in taluni casi. In ogni caso, i VRF rappresentano una tecnologia chiave per il condizionamento contemporaneo, con un mercato in crescita specialmente in retrofit di uffici e hotel, grazie alla loro adattabilità e all'elevata efficienza in esercizio.

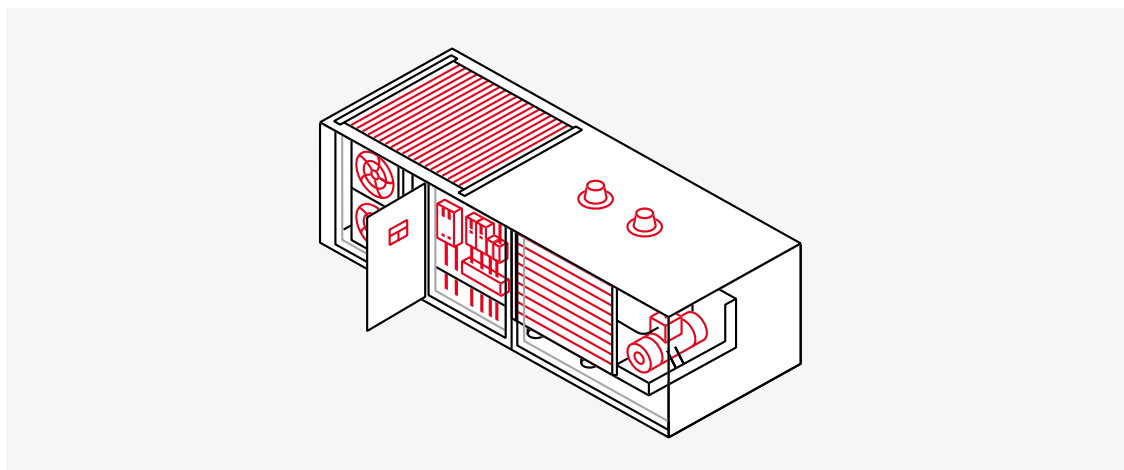
3.3.4. Free cooling

Con free cooling si indica una strategia di raffreddamento che sfrutta direttamente le basse temperature esterne per climatizzare gli ambienti o raffreddare un fluido, riducendo (o evitando temporaneamente) l'uso dei compressori frigoriferi. In altre parole, quando le condizioni meteo lo permettono, si utilizza il freddo gratuito disponibile nell'aria esterna (o in acqua di fiume, lago, ecc.) anziché attivare macchine frigorifere energivore. Il free cooling può essere implementato in vari modi. Il più semplice è il free cooling diretto in un impianto aria-aria: se fuori la temperatura è bassa (ad esempio notti estive fresche o giornate autunnali), i sistemi di ventilazione immettono aria esterna nell'edificio in quantità maggiore, bypassando le batterie di raffreddamento meccaniche, così da sfruttare l'aria fredda per abbassare la temperatura interna. Questo è il principio dei cicli economizzatori usati negli impianti di condizionamento di molti uffici: serrande regolano l'ingresso di aria esterna quando conveniente, ottenendo un raffrescamento gratuito.

Un altro approccio è il free cooling indiretto negli impianti aria-acqua (con chiller): in questo caso si usa l'aria fredda esterna per raffreddare l'acqua dell'impianto tramite uno scambiatore di calore. Ad esempio, molti chillers condensati ad aria sono dotati di coil aggiuntivi per free cooling: quando l'aria esterna scende sotto, diciamo, 10 °C, un'apposita batteria alettata consente all'aria di raffreddare l'acqua dell'impianto direttamente, facendola bypassare il circuito frigorifero. Se il clima è sufficientemente freddo, il compressore può restare spento e l'acqua refrigerata prodotta "gratis" (si consumano solo i ventilatori e le pompe di circolazione). In mezza stagione il free cooling potrebbe coprire solo parzialmente il carico, quindi spesso si usa in modalità combinata: parte dell'acqua passa nello scambiatore free-cooling, parte va comunque attraverso il chiller acceso, così il carico viene condiviso. Quando invece l'aria esterna è molto fredda (inverno), spesso il free cooling è in grado di soddisfare tutta la domanda di raffreddamento (che in certi edifici, come i data center o grandi open-space affollati, può sussistere anche con temperature esterne basse a causa dei carichi interni). In queste situazioni, il risparmio energetico è significativo: si stima che utilizzare l'aria esterna al posto dei compressori possa ridurre i consumi elettrici del raffrescamento anche del 50–75% nei periodi favorevoli.

Da notare che il free cooling non è affatto free in senso assoluto, in quanto rimangono comunque in funzione ausiliari (ventilatori, pompe) e potrebbe servire uno scambiatore intermedio (ad esempio un dry cooler esterno o uno scambiatore a piastre acqua-acqua) per evitare di contaminare l'acqua dell'impianto con aria o impurità esterne. Inoltre, l'efficacia del free cooling dipende fortemente dalle condizioni climatiche: è ideale nelle regioni con notti estive fresche o in edifici con grandi carichi interni costanti (es. ced di server, impianti di processo) che possono essere raffreddati di notte accumulando "freddo" per il giorno successivo. Un ulteriore metodo di free cooling sfrutta acqua di fiume o falda: alcune città (es. Parigi con il sistema Climespace, Helsinki, Stoccolma, ecc.) hanno reti di "teleraffrescamento" dove acqua naturalmente fredda (o raffreddata d'inverno e immagazzinata in bacini) viene distribuita per il condizionamento, evitando del tutto l'uso di chillers nelle utenze.

In sintesi, il free cooling rappresenta un elemento importante per aumentare l'efficienza negli impianti di climatizzazione, riducendo l'uso di energia elettrica quando le condizioni ambientali sono favorevoli. L'aggiunta di modalità free cooling in un sistema HVAC (ad esempio in un **AHU – Air Handling Unit** – con sezioni economizzatrici, o in un chiller con dry-cooler) comporta un costo aggiuntivo, ma spesso si ripaga rapidamente nei climi appropriati grazie al risparmio energetico conseguito.



3.4. Criteri di scelta e confronto

Data l'ampia varietà di macchine disponibili per produrre caldo e freddo, è fondamentale disporre di criteri chiari per confrontarne le prestazioni e scegliere la soluzione più adatta per una determinata applicazione. I principali fattori di confronto includono l'efficienza energetica, la flessibilità operativa, la scalabilità in base al tipo di edificio, e la possibilità di integrazione con fonti rinnovabili e sistemi di accumulo. Analizziamo ciascuno di essi.

3.4.1. Efficienza (COP, EER, SCOP, SEER)

L'efficienza energetica quantifica quanta energia utile (caldo o freddo) si ottiene per ogni unità di energia di alimentazione consumata. Per i sistemi di riscaldamento si usa il COP (Coefficient of Performance), definito come il rapporto tra potenza termica erogata in riscaldamento e potenza elettrica assorbita. Ad esempio, $COP = 3$ indica che la macchina fornisce 3 kW di calore per ogni kW elettrico consumato. Un valore più alto implica minori consumi a parità di calore prodotto. Per i sistemi di raffrescamento si utilizza invece l'EER (Energy Efficiency Ratio), definito in modo analogo come il rapporto tra la potenza frigorifera fornita in raffreddamento e la potenza elettrica assorbita. Spesso COP ed EER sono espressi in condizioni standard (norma EN14511, ad esempio) e indicati nelle schede tecniche: essi danno un'idea dell'efficienza nominale dell'apparecchio in determinate condizioni di prova (che per i climatizzatori residenziali sono 7 °C esterna e 35 °C interna in caldo, 35 °C esterna e 27 °C interna in freddo). Poiché però le condizioni reali variano, oggi si fa maggior riferimento a indici stagionali: SCOP (Seasonal COP) per il riscaldamento e SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) per il raffrescamento. Questi parametri tengono conto delle prestazioni della macchina su un intero periodo stagionale, includendo diverse condizioni di carico e di temperatura esterna (ad esempio la norma definisce un profilo con temperature variabili e periodi di carico parziale). Inoltre, considerano anche consumi ausiliari in stand-by, sbrinamento, ecc., fornendo quindi un indice più realistico dell'efficienza annua. Sull'etichetta energetica degli apparecchi oggi vengono indicati i valori di SEER (per il funzionamento in freddo) e SCOP (per il funzionamento in caldo) insieme alla classe energetica di efficienza. Valori elevati di SEER/SCOP significano costi di esercizio più bassi e minore impatto ambientale. Ad esempio, un climatizzatore con $SEER = 6$ e $SCOP = 4$ significa che mediamente in estate fornisce 6 kW frigoriferi per 1 kW elettrico e in inverno 4 kW termici per 1 kW elettrico: sarà in classe A++ in freddo e A+ in caldo, garantendo consumi ridotti. Quando si confrontano diverse tecnologie (es. caldaia vs pompa di calore vs teleriscaldamento), occorre anche guardare all'efficienza globale nel contesto: una caldaia a condensazione ha rendimento vicino al 95%, ma utilizza gas; una pompa di calore ha $COP > 3$ ma usa elettricità che a sua volta può avere perdite di generazione/trasmissione; il teleriscaldamento potrebbe avere un rendimento di produzione del 90% ma recuperare calore da cogenerazione. Per confronti equi a livello di energia primaria o di emissioni, si introducono coefficienti di conversione e parametri come il PEF (Primary Energy Factor) dell'energia elettrica, ecc., ma ciò esula dagli scopi di questo capitolo. In sintesi, l'efficienza intrinseca di una macchina è un indicatore chiave: COP/EER alti significano migliore tecnologia o ciclo termodinamico, e SCOP/SEER alti significano prestazioni mantenute anche fuori dalle condizioni ideali, il che spesso distingue le macchine di qualità o più innovative.

3.4.2. Flessibilità operativa (modularità, inverter, adattamento al carico)

Un secondo criterio di valutazione è quanto bene una data soluzione riesce ad adattare la propria capacità alle effettive esigenze termiche, e come gestisce le variazioni di carico nel tempo. Gli impianti HVAC raramente operano sempre al 100% del carico: per gran parte del tempo la richiesta è parziale (mezze stagioni, notti, occupazione ridotta, ecc.). Disporre di macchine capaci di modulare la potenza termica/frigorifera erogata permette di mantenere un rendimento elevato in ogni condizione e di evitare sprechi. In quest'ottica, sono apprezzate:

la tecnologia inverter: ormai diffusa in pompe di calore, climatizzatori e persino grandi chiller, consente di variare in continuo la velocità di compressori, ventilatori e pompe, regolando la capacità all'istante. Un climatizzatore inverter non accende e spegne bruscamente il compressore, ma ne modula la velocità per mantenere la temperatura costante, evitando continui picchi di assorbimento elettrico. Ciò comporta risparmi energetici notevoli (meno cicli on-off riducono le perdite e gli spunti di corrente) e un miglior comfort (temperatura più stabile, senza sbalzi). Ad esempio, un condizionatore inverter elimina i "colpi di

freddo” tipici dei vecchi on/off e riduce i consumi del 30-40% circa su un periodo prolungato. L'inverter inoltre allunga la vita dei compressori, sottoposti a meno stress meccanici dovuti ad accensioni frequenti.

la modularità degli impianti: anziché un unico generatore di grande potenza, spesso è vantaggioso utilizzare più unità di taglia inferiore in parallelo. Si pensi a una centrale termica con tre caldaie ciascuna da 200 kW invece di una singola da 600 kW: in questo modo, in estate o nelle mezze stagioni se ne accenderà solo una (vicino al suo regime ottimale di efficienza), nelle giornate più fredde due, e solo nei picchi eccezionali tutte e tre. Questo garantisce sia efficienza ai carichi parziali che ridondanza (se una caldaia è guasta, le altre due possono supplire). Lo stesso vale per gruppi frigoriferi: combinazioni di moduli più piccoli forniscono scalabilità e adattamento migliore della capacità frigorifera alle richieste variabili, oltre a permettere la manutenzione alternata senza fermare completamente il servizio. Naturalmente troppi moduli aumentano la complessità e il costo, quindi va trovato un compromesso; ma nei grandi impianti è prassi comune installare almeno N+1 unità (dove N è il numero necessario a coprire il carico, +1 è di riserva).

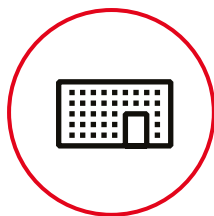
la capacità di risposta e controllo: alcune tecnologie si adattano meglio a rapidi cambi di carico. Ad esempio, una caldaia a gas modulante può passare dal 30% al 100% della potenza in pochi minuti, seguendo la curva di domanda, mentre un sistema di teleriscaldamento potrebbe rispondere più lentamente a variazioni improvvise (a causa dell'inerzia della rete e della regolazione centralizzata). Analogamente, i VRF grazie al flusso variabile riescono a servire zone con carichi molto differenti tra loro simultaneamente, mostrando grande flessibilità; un chiller centralizzato con una singola zona di controllo potrebbe avere più difficoltà a gestire situazioni di carico parziale estremo senza sprecare energia. In generale, quindi, valvole di regolazione, algoritmi di controllo evoluti, sensori e automazione spinta sono elementi che contribuiscono alla flessibilità operativa di una soluzione HVAC. Un buon criterio di scelta è preferire sistemi dotati di controlli intelligenti, comunicazione BMS (Building Management System) e capacità di integrazione in logiche di ottimizzazione globale dell'edificio.

3.4.3. Tipologie di edificio (residenziale, commerciale, industriale)

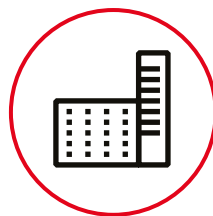
Non esiste una “migliore” macchina in assoluto: la scelta dipende sempre dal contesto applicativo. Un criterio fondamentale è dunque il tipo di edificio e di utilizzo:



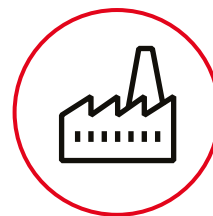
**EDIFICI RESIDENZIALI
UNIFAMILIARI O
BIFAMILIARI**



**EDIFICI
COMMERCIALI
LEGGERI**



**EDIFICI COMMERCIALI
DI GRANDI DIMENSIONI
E TERZIARIO AVANZATO**



**EDIFICI
INDUSTRIALI**

In edifici residenziali unifamiliari o bifamiliari, i carichi termici sono relativamente piccoli e distribuiti su zone limitate. Qui contano molto il costo iniziale, la semplicità e l'affidabilità: soluzioni tipiche sono la caldaia a condensazione per il riscaldamento + scaldacqua o caldaia combinata per ACS, oppure la pompa di calore aria-acqua monoblocco/split se si vuole eliminare il gas. Nelle case indipendenti spesso conviene installare anche pannelli solari termici (per ACS) o fotovoltaici (per alimentare la pompa di calore). Per il raffrescamento, nelle abitazioni singole la scelta più comune sono i climatizzatori split o multi-split: economici, facili da installare e utilizzabili al bisogno stanza per stanza. In abitazioni nuove ben coibentate, si diffonde l'uso di pompe di calore aria-aria canalizzate o sistemi VRF mini-residenziali che possono fare caldo/freddo con unità interne nascoste (canalizzate o a cassetta) per maggiore comfort estetico. Le case rurali isolate talvolta optano per caldaie a pellet o legna, mentre in condominio piccolo è frequente ancora la caldaia murale a gas per ogni appartamento. La tendenza attuale comunque vede il residenziale andare verso l'elettrificazione: pompe di calore abbinate a pannelli radianti a bassa temperatura e impianti fotovoltaici sul tetto, con la caldaia relegata a integrazione o rimossa del tutto nelle nuove costruzioni NZEB (Near Zero Energy Buildings).

Negli edifici commerciali leggeri (uffici di piccole dimensioni, negozi, ristoranti, filiali di banche, ecc.), i carichi sono ancora relativamente contenuti ma spesso serve sia riscaldamento che condizionamento attivo. In questi casi sono molto diffusi i sistemi VRF: consentono di climatizzare l'intero negozio/ufficio con un'unica macchina esterna e varie unità interne, controllando separatamente i vari ambienti. In alternativa, per uffici di medie dimensioni si usano impianti idronici con piccoli chiller condensati ad aria (sul tetto) che producono acqua refrigerata per i fan-coil, e caldaie a gas per l'acqua calda in inverno (oppure un'unica pompa di calore reversibile per fare entrambi). La scelta VRF vs impianto ad acqua dipende da preferenze progettuali: i VRF offrono più efficienza a carico parziale e facilità di installazione modulare; i sistemi ad acqua offrono maggiore flessibilità in fase di manutenzione (ad es. si può sostituire il chiller senza toccare i terminali interni) e riducono i rischi legati al refrigerante in ambiente. Nei piccoli negozi il classico climatizzatore a cassetta o canalizzato (che è sempre una pompa di calore DX) resta la soluzione più immediata. Per il riscaldamento puro, qualora serva solo quello, si usano ancora caldaie o sistemi ad aria calda (robbur, aerotermini) alimentati a gas, ma sempre più spesso si preferiscono soluzioni elettriche (pompe di calore) specie dove c'è molto carico di raffrescamento.

Per edifici commerciali di grandi dimensioni e terziario avanzato (grandi uffici multipiano, hotel, ospedali, centri commerciali, aeroporti, ecc.), i carichi termici e frigoriferi sono ingenti e servono sistemi robusti e centralizzati. Tipicamente in questi casi si impiegano centrali termofrigorifere con uno o più chiller (spesso condensati ad acqua con torri evaporative per l'efficienza) per la produzione di acqua refrigerata, e caldaie a condensazione (o cogeneratori) per l'acqua calda. L'acqua fredda e calda vengono distribuite tramite reti di tubazioni agli air handling units (UTA) e ai terminali ambientali (fan-coil, travi fredde, ecc.). In alternativa alle caldaie, sempre più spesso troviamo pompe di calore di grande potenza inserite in questi impianti, magari abbinate ai chiller in configurazioni polivalenti che recuperano calore di condensazione per riscaldare l'ACS o altri ambienti. Gli edifici come gli ospedali hanno esigenze particolari (affidabilità estrema, ridondanza N+1 o N+2, ecc.) quindi spesso mantengono caldaie di backup anche se installano pompe di calore. Gli hotel possono sfruttare molto bene pompe di calore polivalenti, perché hanno contemporaneamente bisogno di ACS calda e climatizzazione fredda. I centri commerciali possono preferire i VRF se la struttura è aperta (molti negozi indipendenti) o grandi impianti rooftop packaged. Insomma, nel terziario la scelta è tailor-made: impianti idronici centralizzati offrono robustezza e facilità di manutenzione su grandi portate, impianti VRF offrono flessibilità zona per zona e installazione graduale.

In ambito industriale, spesso il caldo e freddo non sono solo per comfort ambientale ma per processi produttivi. Ciò porta a specifiche esigenze: ad esempio, refrigeratori di processo che mantengono fluidi a temperature molto basse (sotto 0 °C) o caldaie a vapore per alimentare processi chimici o linee di produzione. In tali casi, le macchine HVAC vanno dimensionate e scelte soprattutto in base a affidabilità, controllo fine e continuità. Nel freddo industriale si utilizzano anche refrigeranti alternativi (es. ammoniaca NH₃ per impianti frigoriferi di grandi dimensioni nelle industrie alimentari) e soluzioni come banchi di ghiaccio per accumulo del freddo. Nell'industria l'approccio modulare è comune: gruppi frigoriferi multipli, caldaie in serie, ecc., per garantire ridondanza. Un trend importante è l'integrazione con il processo: se un impianto industriale genera calore di scarto, lo si può usare per il riscaldamento degli ambienti tramite scambiatori (o addirittura per alimentare un chiller ad assorbimento per il freddo). D'altro canto, se un impianto ha bisogno di raffreddamento anche in inverno, si userà free cooling o torri evaporative. Nei siti industriali spesso conviene implementare una rete di teleriscaldamento/teleraffrescamento interna allo stabilimento per collegare varie utenze e fonti.

Riassumendo, **il tipo di edificio e di utilizzo determina fortemente la scelta delle macchine: occorre valutare potenza necessaria, profilo di carico** (costante vs intermittente), **spazi disponibili, rumore ammesso, presenza o meno di personale tecnico** (un impianto complesso ha senso solo se c'è manutenzione qualificata), ecc. Un piccolo condominio tenderà a qualcosa di semplice come caldaie o una pompa di calore centralizzata; un grattacielo con uffici userà un impianto centralizzato sofisticato; un supermercato potrebbe usare il gruppo frigorifero dei banchi frigo alimentando anche l'aria condizionata, e così via.

3.4.4. Integrazione con fonti rinnovabili e sistemi di accumulo

Un criterio sempre più rilevante nella progettazione contemporanea è la capacità di integrazione delle macchine termiche con fonti energetiche rinnovabili e con sistemi di accumulo, nell'ottica di migliorare la sostenibilità e l'indipendenza energetica. Diversi esempi possono illustrarlo:

Integrazione con fotovoltaico: l'accoppiata pompa di calore + impianto fotovoltaico è considerata vincente per avvicinarsi ad edifici "zero emissioni". Durante le ore diurne di soleggiamento, l'energia elettrica prodotta dai pannelli FV può alimentare la pompa di calore per il riscaldamento/raffrescamento o per produrre ACS, riducendo o annullando il prelievo dalla rete. Quando c'è surplus di produzione solare, un sistema smart può attivare la pompa di calore in modalità "boost" scaldando di più un accumulo termico (puffer) – ad esempio portando l'acqua del boiler a una temperatura maggiore – immagazzinando così energia sotto forma di calore per usarla nelle ore serali. Di fatto l'edificio e i suoi serbatoi diventano una sorta di "batteria termica" che assorbe l'eccesso di energia rinnovabile e lo restituisce quando serve. Questa integrazione consente di massimizzare l'autoconsumo fotovoltaico e di diminuire i picchi di prelievo elettrico in orari notturni. Molte pompe di calore oggi dialogano già con l'inverter fotovoltaico o con un energy manager domestico per modulare la potenza in funzione della disponibilità solare. Con opportuni sistemi, si può arrivare a coprire con il fotovoltaico anche 80% e oltre dei consumi elettrici della pompa di calore, rendendo i costi di climatizzazione molto bassi e le emissioni quasi zero.

Accumuli termici: l'uso di serbatoi di accumulo sia di acqua calda che di acqua refrigerata è un importante complemento per molte macchine HVAC. Ad esempio, un grande serbatoio di acqua calda tecnica collegato a una pompa di calore permette di farla lavorare nelle ore di minor costo dell'energia (o quando il COP è più alto, ad esempio pomeriggio con 10 °C esterni invece che notte con 0 °C) accumulando calore per poi usarlo nelle ore più fredde. Analogamente, serbatoi di acqua gelida (o sistemi a ghiaccio, ice storage) possono essere caricati dai refrigeratori durante la notte (quando la temperatura esterna più bassa aumenta l'EER e l'elettricità costa meno) per poi fornire capacità frigorifera aggiuntiva durante i picchi diurni o per permettere ai chiller di restare spenti nelle ore di punta. L'integrazione accumulo + macchine termiche garantisce così un funzionamento più spalmato e ottimizzato, migliorando l'efficienza globale e riducendo i costi operativi. Inoltre, aumenta la resilienza: un accumulo funge da "cuscino" in caso di fermo macchina o di picchi improvvisi. Molti edifici all'avanguardia implementano accumuli termici come parte integrante della centrale frigorifera/termica.

Fonti rinnovabili termiche: come già visto, l'integrazione di solare termico con caldaie o pompe di calore consente di ridurre i consumi di combustibile o elettricità sfruttando il sole per l'ACS e parte del riscaldamento. Anche le biomasse possono essere usate in parallelo: ad esempio caldaie a pellet accoppiate a pompe di calore, dove la pompa di calore copre il base load e la biomassa interviene nei picchi o come backup (soluzione meno comune, ma attuabile in zone non metanizzate).

Smart grid e Demand Response: in un'ottica di rete elettrica intelligente, gli impianti HVAC possono giocare un ruolo importante modulando i loro consumi in base ai segnali di rete. Ad esempio, un grande parco di pompe di calore residenziali può essere lievemente modulato dall'utility per assorbire surplus rinnovabile sulla rete o per ridurre carichi nei momenti critici. Questo è facilitato da sistemi di controllo centralizzati e dalla presenza di accumuli: si può temporaneamente abbassare di mezzo grado la temperatura di setpoint di 10.000 edifici (senza impatto sul comfort) per ridurre di qualche MW il carico in rete, oppure al contrario anticipare la produzione di ACS in alcuni orari per sfruttare il solare di mezzogiorno. ABB è sta investendo in piattaforme di controllo integrato che consentano tali strategie, combinando building automation con smart metering e algoritmi cloud di ottimizzazione.

In definitiva, **la capacità di integrarsi con le rinnovabili e gli accumuli è oggi un plus fondamentale nella scelta delle macchine.** Una pompa di calore ben si presta a essere pilotata in funzione del fotovoltaico, mentre una caldaia tradizionale no; un sistema modulare con accumulo supporta strategie di load shifting che un impianto senza inerzia non consentirebbe. Si tratta di guardare non solo alla macchina in sé, ma al suo inserimento in un sistema edificio-impianto più ampio, in vista di obiettivi di decarbonizzazione e risparmio energetico.



3.5. Conclusione

In questo capitolo abbiamo esaminato le principali macchine impiegate nella generazione di caldo e freddo per gli impianti HVAC, evidenziandone i principi di funzionamento, le performance e gli ambiti applicativi. Dalle tradizionali caldaie alle avanzate pompe di calore, dai chiller industriali ai sistemi VRF, il panorama tecnologico offre molteplici soluzioni che, se sapientemente combinate, possono soddisfare qualunque esigenza di climatizzazione garantendo al contempo efficienza e sostenibilità. La sintesi che emerge è che non esiste una soluzione unica ideale per tutto: la chiave sta nell'integrazione intelligente di diverse macchine e fonti energetiche, scegliendo di volta in volta lo schema ottimale. Ad esempio, un edificio moderno potrebbe impiegare una pompa di calore elettrica come generatore principale di calore, supportata da una caldaia a gas di picco (ibrido), con accumulo termico e magari connessa a una rete di teleriscaldamento come backup; allo stesso tempo usare chiller/pompe di calore reversibili per il freddo, integrati con free cooling e controllati da un sistema BMS centralizzato. Ciò che conta è che tutti i componenti "comunichino" e operino in sinergia per un obiettivo comune: massimizzare l'efficienza energetica e il comfort, minimizzando i consumi e le emissioni.

La visione di aziende come ABB nel settore HVAC e dell'automazione va proprio in questa direzione: **promuovere l'elettificazione dei sistemi di climatizzazione** (facendo leva sulle pompe di calore e sull'uso dell'energia elettrica da fonti pulite al posto dei combustibili fossili), **migliorare l'efficienza attraverso tecnologie avanzate** (inverter, recuperi di calore, sistemi a velocità variabile) e **implementare un controllo integrato e intelligente di tutti gli impianti**. Un **sistema edificio** ABB Building Sync integrato, ad esempio, può gestire riscaldamento, ventilazione e condizionamento in un'unica piattaforma, coordinando caldaie, pompe di calore, ventilconvettori, VAV, ecc., per ottimizzare i consumi e ridurre i costi operativi. L'automazione e la digitalizzazione permettono inoltre di monitorare in tempo reale le prestazioni, prevedere le esigenze (manutenzione predittiva, adattamento ai cambiamenti meteo) e anche interfacciarsi con la rete elettrica esterna per servizi di demand-response.

In conclusione, **le macchine per la produzione del caldo e del freddo stanno convergendo verso sistemi sempre più efficienti, elettrici e interconnessi. L'obiettivo finale** – in linea con la transizione energetica globale – **è quello di edifici climatizzati con il minimo impatto ambientale, dove l'energia necessaria sia utilizzata in modo razionale e in gran parte proveniente da fonti rinnovabili**. Il percorso per arrivarci passa attraverso l'innovazione tecnologica nelle macchine (pompe di calore sempre più performanti, utilizzo di nuovi refrigeranti a basso GWP, caldaie alimentate da gas verdi come l'idrogeno, ecc.) ma anche e soprattutto attraverso una visione di sistema, in cui l'integrazione intelligente di componenti e il controllo avanzato consentano di ottenere sinergie significative. I prossimi capitoli affronteranno nel dettaglio aspetti come l'accumulo energetico, la distribuzione fluida e la regolazione fine, che completano il quadro di un impianto HVAC all'avanguardia. Per ora, possiamo concludere rimarcando che la scelta oculata e la combinazione opportuna di macchine termiche e frigorifere costituisce il fulcro di ogni progetto di climatizzazione efficiente e sostenibile, e rappresenta uno dei campi più affascinanti dove ingegneria, energia e innovazione si incontrano.

04

UNITÀ TRATTAMENTO ARIA

INDICE

040	4.1. Cos'è una UTA
041	4.2. Componenti principali
044	4.3. Tipologie di UTA
045	4.4. Funzionamento di una UTA
047	4.5. Regolazione e controllo
049	4.6. Manutenzione e normative

UNITÀ TRATTAMENTO ARIA

Dopo aver esaminato il benessere termo-igrometrico e le macchine per la produzione di caldo e freddo nei capitoli precedenti, passiamo a un elemento centrale degli impianti HVAC: l'**Unità di Trattamento Aria (UTA)**. Questa apparecchiatura costituisce il **fulcro della ventilazione meccanica di un edificio, poiché preleva aria fresca esterna, la filtra da particelle e inquinanti e la condiziona in temperatura e umidità prima di immetterla negli ambienti**. In altre parole, la UTA **assicura il ricambio e la qualità dell'aria indoor, riscaldandola o raffreddandola e umidificandola o deumidificandola a seconda delle esigenze stagionali**. Ad esempio, durante l'inverno una UTA provvede in genere ad aumentare la temperatura e l'umidità dell'aria immessa, mentre in estate provvede a abbassarne la temperatura e ridurre l'umidità per garantire il comfort termo-igrometrico richiesto. Questa funzione è fondamentale in tutti quegli ambienti chiusi dove un semplice ricambio naturale d'aria (aprendo porte o finestre) non è sufficiente o praticabile – pensiamo a uffici moderni sigillati, sale conferenze, centri commerciali, strutture sanitarie, cinema, piscine coperte, ecc. In tali contesti la UTA diventa indispensabile per assicurare aria salubre, confortevole e conforme alle normative igienico-sanitarie.

Dal punto di vista terminologico, in impianti di grande taglia ci si riferisce spesso alla UTA come Centrale Trattamento Aria (CTA), sottolineando il ruolo “centralizzato” dell'unità nel servire più zone o tutto l'edificio. Indipendentemente dal nome, il principio è lo stesso: la macchina tratta l'aria in modo da controllare i parametri fondamentali del microclima indoor – temperatura, umidità, quantità (portata) e purezza dell'aria – tramite i relativi componenti che vedremo di seguito.

4.1. Cos'è una UTA

Una Unità di Trattamento Aria (UTA) è un dispositivo meccanico progettato per il trattamento completo dell'aria immessa in ambiente e, in molti casi, anche dell'aria estratta. Si tratta di un insieme modulare di componenti racchiusi in un robusto involucro coibentato (tipicamente pannelli in lamiera d'acciaio zincato o alluminio con isolamento termico/acustico interno) da collegare a una rete di canalizzazioni aerauliche. La funzione primaria di una UTA è assicurare un ricambio d'aria controllato e mantenere le condizioni di comfort fissate in termini di temperatura e umidità, oltre a mantenere alta la qualità dell'aria interna tramite filtrazione.

In pratica, la UTA preleva una certa quantità di aria esterna (aria di rinnovo) e la tratta mediante filtrazione e scambio termico, prima di distribuirla come aria di mandata nei locali attraverso i canali. Contestualmente, un'UTA può riprendere parte dell'aria esausta interna (aria di ritorno dagli ambienti) per espellerla all'esterno, spesso recuperandone il calore sensibile e/o latente grazie a scambiatori dedicati. In impianti a tutt'aria tradizionali era comune mescolare una porzione di aria di ricircolo con l'aria fresca esterna; tuttavia, nei moderni sistemi a doppio flusso questa miscela è sostituita da dispositivi di recupero di calore che trasferiscono energia tra flusso di espulsione e flusso di immissione senza contaminazione diretta. In ogni caso, l'aria immessa negli ambienti tramite una UTA è opportunamente riscaldata o raffreddata, umidificata o deumidificata e depurata da polveri e altri inquinanti, così da garantire condizioni ottimali di comfort e salubrità per gli occupanti.

Le UTA trovano impiego in una vasta gamma di edifici e applicazioni. Oltre ai contesti già menzionati (uffici, centri commerciali, sale conferenze, palestre, cinema, piscine coperte), sono utilizzate in settori con esigenze speciali: ad esempio in ospedali e laboratori (dove servono filtrazioni ad alta efficienza e controlli rigorosi di temperatura/umidità per garantire la sterilità), nei musei o archivi d'arte (dove è fondamentale mantenere range termoigrometrici molto ristretti per la conservazione delle opere), nei data center (dove spesso si adotta un elevato ricircolo d'aria e sistemi di free cooling/adiabatico per smaltire il calore con efficienza), oppure in industrie farmaceutiche o alimentari (clean-room e ambienti di processo con



aria ultra-filtrata e controllata). In ciascun caso la UTA viene configurata e dimensionata per soddisfare i requisiti specifici: portate d'aria molto elevate per grandi spazi affollati (es. aeroporti, fiere), range di temperatura/umidità estremamente stabili per processi produttivi, materiali e design "igienici" (facili da pulire, resistenti alla corrosione, senza punti di accumulo di sporco) per ambienti sanitari, e così via. Questa versatilità progettuale fa della UTA un elemento chiave sia negli impianti comfort (per il benessere delle persone) sia negli impianti tecnologici dove serve garantire determinate condizioni ambientali.

Riassumendo, una UTA assicura contemporaneamente: **adeguata ventilazione (apporto di aria nuova), controllo termo-igrometrico (riscaldamento/raffrescamento e umidificazione/deumidificazione) e filtrazione dell'aria**. Nel far ciò, essa funge da interfaccia tra le macchine di generazione termica (come caldaie, refrigeratori o pompe di calore che producono acqua calda/fredda, trattati nel Capitolo 2) e gli ambienti serviti dall'impianto, realizzando la distribuzione aeraulica del caldo e del freddo in forma di aria trattata. Di seguito analizzeremo la struttura di una UTA nei suoi componenti, le tipologie esistenti, il suo funzionamento di base, i sistemi di regolazione e controllo impiegati, nonché gli aspetti di manutenzione e normative da tenere presenti.

4.2. Componenti principali

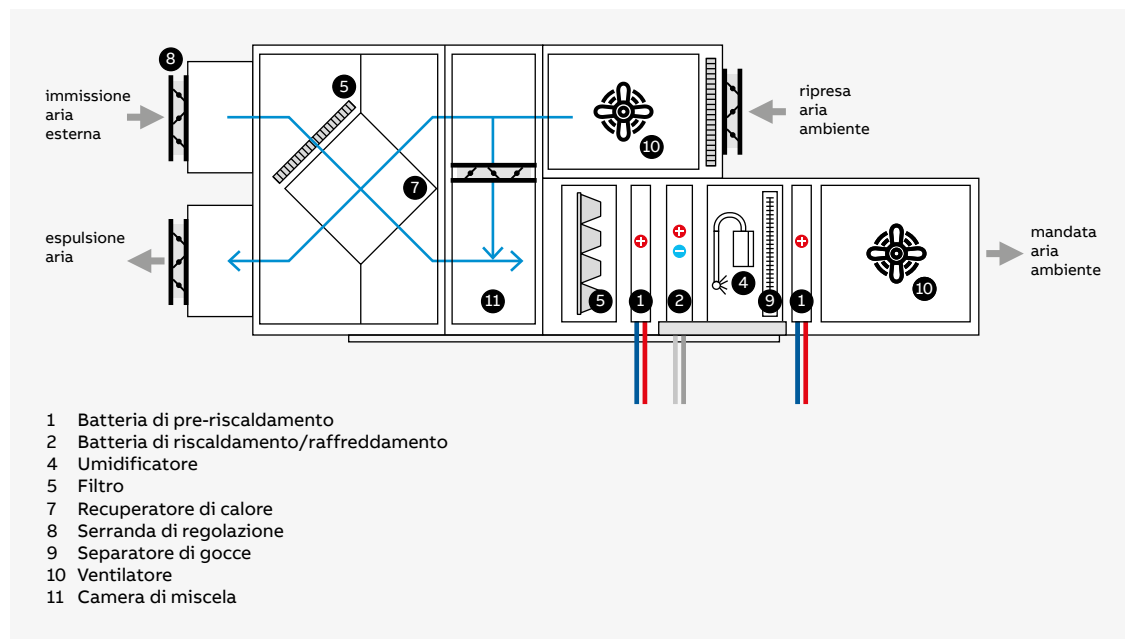
Una UTA è costituita da diversi componenti assemblati in sequenza, ognuno con una funzione specifica nel processo di trattamento dell'aria. I componenti principali includono:

- **Serrande di aria esterna e di ricircolo:** all'ingresso dell'UTA sono presenti serrande regolabili che controllano il flusso d'aria esterna immessa e, se previsto, dell'aria di ricircolo. A UTA spenta, le serrande si chiudono per isolare l'unità dall'ambiente esterno, impedendo l'ingresso di aria non trattata, polvere o insetti. Durante il funzionamento, modulano le portate di aria esterna e di eventuale ricircolo in base alle esigenze (ad esempio, possono chiudersi parzialmente in modalità free cooling o per regolare la miscela in impianti a portata variabile). Le serrande sono azionate da attuatori motorizzati (in genere elettrici) che il sistema di controllo comanda automaticamente (possono essere attuatori a tutto/niente, modulanti 0-10V, oppure integrati in rete BMS tramite protocolli standard).
- **Filtri aria:** subito dopo l'ingresso, l'aria passa attraverso uno o più stadi di filtrazione. I filtri rimuovono polveri, pollini, smog e altri contaminanti dall'aria esterna, proteggendo sia la salute degli occupanti sia l'UTA stessa (componenti come batterie e ventilatori verrebbero altrimenti sporcati rapidamente, perdendo efficienza o subendo guasti). Esistono vari tipi di filtri: filtri grossolani per particolato di dimensioni maggiori (spesso in classe ISO Coarse, ex "G" secondo la vecchia EN 779), filtri fini ad alta efficienza per polveri sottili (PM10, PM2.5, PM1 – in classe ad esempio ISO ePM1 70% equivalente al vecchio F7), fino a filtri assoluti HEPA/ULPA (H13, H14, U15...) utilizzati in contesti critici dove è richiesta aria praticamente sterile (ospedali, camere bianche). La scelta della classe filtrante dipende dall'applicazione: ad uso civile generalmente si impiegano prefiltri e filtri medi/fini (ad esempio combinazione F7 + F9),

mentre in ambienti sanitari o industriali avanzati si aggiungono filtri assoluti a monte dell'immissione. È importante monitorare lo stato dei filtri tramite pressostati differenziali o sensori di pressione: l'aumento di perdita di carico indica filtro intasato e la necessità di sostituzione per evitare cali di portata e sprechi energetici.

- Sezioni di scambio termico (batterie):** cuore della UTA sono le batterie di riscaldamento e raffreddamento attraverso cui l'aria viene rispettivamente riscaldata o raffreddata (e deumidificata). Le batterie di riscaldamento possono essere ad acqua calda (collegate a caldaia o pompa di calore), elettriche (resistenze), a vapore (in alcuni impianti industriali con vapore di processo) o a gas diretto. Nei contesti civili la soluzione più comune è la batteria ad acqua calda alimentata da caldaia (oggi spesso a condensazione ad alta efficienza) oppure da circuito in pompa di calore; in alcuni casi, per piccoli impianti, si usano batterie elettriche integrate come post-riscaldamento. La batteria di raffreddamento può essere ad acqua refrigerata (alimentata dall'acqua fredda prodotta da un chiller/gruppo frigorifero) oppure a espansione diretta (DX), ovvero un evaporatore in cui circola direttamente un gas refrigerante fornito da un'unità condensatrice esterna (tipico nei sistemi rooftop package o negli accoppiamenti con VRF/condizionatori). Attraversando la batteria fredda, l'aria cede calore (raffrescamento) e, se la temperatura di superficie è sotto il punto di rugiada, condensa parte dell'umidità che contiene ottenendo così un effetto deumidificante. Le batterie sono in genere scambiatori a pacco alettato (tubi con alette in alluminio) e sono dotate di vaschetta raccolta condensa con scarico sifonato per evacuare l'acqua raccolta. In climi molto freddi, a monte della sezione fredda può essere installata anche una batteria di pre-riscaldamento: serve a scaldare leggermente l'aria esterna in ingresso nelle giornate più rigide, prevenendo il rischio di gelo sulla batteria fredda o sulle altre sezioni. Viceversa, in uscita dalla batteria fredda a volte è presente una batteria di post-riscaldamento (di solito ad acqua calda o elettrica) usata per riportare la temperatura dell'aria al valore desiderato quando è stato necessario raffreddare molto per deumidificare (reheat). Tutte le batterie sono asservite a valvole di regolazione (valvole a 2 o 3 vie modulate da servomotore) oppure, nel caso di batterie DX, a espansori o controlli on/off sul compressore, per dosare la potenza termica immessa in funzione del setpoint da raggiungere.
- Sezione umidificazione:** in applicazioni dove è richiesto il controllo dell'umidità relativa anche nella stagione invernale (ad esempio musei, sale ospedaliere, laboratori, oppure semplicemente uffici in climi molto secchi), la UTA può includere un umidificatore. Esistono diversi tipi: umidificatori a vapore (generano vapore acqueo tramite resistenze elettriche o usando vapore da una caldaia, immettendolo nell'aria), umidificatori adiabatici a ugelli o a pannello evaporativo (spruzzano acqua nebulizzata o la fanno evaporare tramite un pacco bagnato, raffreddando anche leggermente l'aria), o ancora umidificatori ad ultrasuoni. La sezione umidificante è posta di solito dopo la sezione di riscaldamento invernale, così che l'aria calda e secca possa acquisire umidità fino al livello richiesto. In estate, al contrario, non si umidifica l'aria (già umida di per sé) ma si provvede semmai a deumidificarla tramite la batteria di raffreddamento come detto sopra. Non tutte le UTA includono l'umidificazione: questa è omessa negli impianti di semplice trattamento termico dove l'umidità interna non è critica.
- Ventilatori:** elemento imprescindibile, i ventilatori dell'UTA generano il flusso d'aria e superano le perdite di carico del circuito (filtri, batterie, condotte) per distribuire l'aria trattata nei locali. In una UTA possono esserci due ventilatori separati – uno di mandata (supply fan) che spinge l'aria trattata verso le zone, e uno di ripresa/estrazione (exhaust or return fan) che aspira l'aria dall'ambiente convogliandola all'esterno o verso un recuperatore. Nelle UTA più piccole talvolta è presente un solo ventilatore che provvede alla mandata, mentre la ripresa avviene per gravità o tramite estrattori separati nell'impianto; nei sistemi bilanciati moderni, comunque, si tende a usare due ventilatori integrati per poter controllare meglio portate e pressioni. I ventilatori impiegati sono in genere di tipo centrifugo (a doppia aspirazione o plug-fan) per garantire prevalenze medio-alte con buona efficienza e bassa rumorosità, montati su supporti antivibranti. Due sono gli elementi fondamentali del ventilatore: la girante (rotore con pale) e il motore di azionamento. Oggi i motori più diffusi per UTA sono di due tipi: motori AC tradizionali (asincroni trifase) accoppiati magari con trasmissione a cinghie e pulegge, oppure moderni motori EC (Electronically Commutated) a commutazione elettronica, integrati direttamente nel gruppo ventilante. Questi ultimi, essendo motori in corrente continua senza spazzole con elettronica di controllo incorporata, offrono un'elevata efficienza e facilità di regolazione in velocità. In ogni caso, normative europee recenti hanno reso obbligatorio l'uso di ventilatori a velocità variabile o multi-velocità per modulare la portata d'aria in base al carico richiesto. La regolazione avviene tramite inverter (VFD) per i motori tradizionali o tramite il controllo elettronico integrato per i motori EC. Ciò permette di ridurre drasticamente i consumi energetici del sistema ventilante, soprattutto quando l'impianto non richiede il pieno carico d'aria (principio della portata variabile).

1.7 UTA - componenti principali



- Recuperatore di calore:** la maggior parte delle UTA di recente progettazione a servizio di edifici medio-grandi è dotata di un sistema di recupero energetico sul flusso d'aria. Il recuperatore consente di trasferire calore (e talvolta umidità) dall'aria di espulsione verso l'aria esterna in ingresso, riducendo il fabbisogno termico dell'impianto. Ad esempio, in inverno l'aria calda estratta dagli ambienti cede gran parte del suo calore all'aria fredda entrante; in estate, il flusso di ritorno (più fresco e deumidificato dagli ambienti climatizzati) sottrae calore e aiuta a raffreddare e predeumidificare l'aria calda esterna. I tipi principali di recuperatori sono tre: scambiatori a piastre (flussi separati che attraversano sottili piastre in alluminio a flussi incrociati o controcorrente, con efficienze termiche tipicamente 50-70% e totale separazione dei flussi), rotori entalpici o rotativi (grandi volani cilindrici in materiale alveolare igroscopico che ruotano tra i due flussi, con efficienze anche >70%, capaci di trasferire anche umidità dall'aria umida all'aria secca), e scambiatori a circuito intermedio fluido (run-around coils) costituiti da due batterie collegate da un circuito chiuso di acqua/glicole e pompa, posti uno sul flusso di espulsione e uno su quello di presa aria: il fluido si scalda in una batteria assorbendo calore da un flusso e lo cede nell'altra batteria all'altro flusso (sistema flessibile che consente di collocare le batterie anche lontane, con efficienze più basse ~50% e niente contaminazione odori). In alternativa, quando non è possibile un recuperatore "passivo", alcune UTA adottano sistemi a pompa di calore di recupero: un ciclo frigorifero inverso che trasferisce calore dall'aria di espulsione a quella di mandata (o viceversa) con efficienze elevate ma maggiore complessità impiantistica. È importante notare che il Regolamento UE 1253/2014 (Direttiva Ecodesign) impone il recuperatore di calore sulle UTA a doppio flusso (mandata/espulsione) di nuova installazione, salvo casi particolari, con un'efficienza termica minima prescritta (prima 67% dal 2016, elevata al 73% dal 2018 per recuperatori statici/rotativi) e la presenza di bypass sul recuperatore per abilitare il free cooling estivo. Questo ha reso di fatto obbligatorio il recupero di calore nella maggioranza dei nuovi impianti di ventilazione meccanica, sia per ragioni energetiche che di sostenibilità ambientale. Esistono ancora UTA prive di recuperatore (ad esempio unità solo ricircolo o impianti con esigenze speciali), ma sono sempre più rare e generalmente limitate a piccoli impianti o casi particolari.
- Struttura e altri componenti:** oltre ai suddetti elementi, l'UTA comprende una struttura modulare (telai, pannelli) che garantisce tenuta all'aria e isolamento termo-acustico, porte di accesso per ispezione e manutenzione delle varie sezioni (filtri, batterie, ventilatori), silenziatori o pannelli fonoassorbenti (spesso collocati prima del ventilatore e/o in mandata per attenuare il rumore aerodinamico trasmesso nei condotti), sensori di temperatura e umidità (integrati per controllare le condizioni dell'aria in vari punti), lampade UV-C (talvolta installate a valle della batteria umida per inibire proliferazioni batteriche e muffe), nonché tutta la componentistica elettrica e di controllo necessaria come i quadri elettrici, cablaggi, schede di regolazione o moduli di comunicazione BMS, ecc. Insieme, questi elementi permettono all'UTA di funzionare come un sistema coeso e sicuro: ad esempio, sono presenti dispositivi di sicurezza anti-gelo (termostati che bloccano il ventilatore e chiudono l'aria esterna se la batteria rischia di ghiacciare), allarmi di filtro intasato attivati dai pressostati, sensori di portata o pressione per verificare il corretto movimento dell'aria, e serrande tagliafuoco (dove richiesto) per isolare l'UTA in caso d'incendio.

4.3. Tipologie di UTA

Pur condividendo le stesse funzioni di base, le Unità di Trattamento Aria possono presentarsi in diverse tipologie costruttive e applicative, a seconda delle esigenze dell'impianto. Di seguito alcune categorizzazioni principali:

- UTA modulari vs. UTA compatte (monoblocco):** le UTA modulari sono costituite da sezioni assemblabili in cantiere, con dimensioni su misura e disposizione flessibile dei componenti. Si usano tipicamente in grandi impianti centralizzati, installate in apposite centrali tecnologiche o locali macchine; consentono di personalizzare portate d'aria molto elevate e di aggiungere sezioni speciali (es. più stadi di filtrazione, recuperi particolari, umidificazione, ecc.). Le UTA compatte o monoblocco, invece, integrano tutti i componenti in un singolo involucro compatto prefabbricato dal costruttore. Sono utilizzate per impianti di taglia medio-piccola o per servire zone specifiche; un esempio tipico sono i rooftop o unità da tetto: macchine monoblocco posizionate all'esterno (tetto o piano terra) che trattano aria per capannoni, negozi, cinema, ecc., spesso complete di batterie a espansione diretta e gruppi frigoriferi integrati (funzionando come pacchetti autonomi di climatizzazione). Le monoblocco hanno installazione più semplice plug-and-play, a fronte però di minore flessibilità e accessibilità rispetto a una modulare.
- UTA da interno vs. UTA da esterno:** a seconda della collocazione, alcune UTA sono progettate per essere installate all'interno di locali tecnici (ad esempio in un vano macchina dedicato, un locale sottotetto, un vano interrato) ed altre per stare all'aperto esposte agli agenti atmosferici. Le UTA da esterno sono costruite con pannelli rinforzati e tettoia, verniciature resistenti alla corrosione e alla pioggia/UV, e spesso includono resistenze antigelo nelle vaschette di condensa o nei tratti di scarico, dato che operano anche in inverno sottozero. Molte UTA compatte rooftop rientrano in questa categoria. Le UTA da interno invece possono essere più semplici come struttura, ma richiedono idonee predisposizioni nel locale (spazio sufficiente per manutenzione, bocche di presa/espulsione aria esterna attraverso pareti, attenuatori di rumore, ecc.).
- UTA a singolo flusso vs. doppio flusso:** un'UTA a singolo flusso gestisce solo l'aria di mandata (immissione) prelevandola dall'esterno, senza occuparsi direttamente dell'estrazione dell'aria esausta (che viene affidata ad altri ventilatori/estrattori separati). Questo è il caso, ad esempio, di sistemi di Ventilazione Meccanica Controllata residenziale unidirezionale dove immetti aria nuova e i flussi di uscita sono da griglie passive, oppure di piccole UTA che trattano aria esterna in immissione mentre l'aria ambiente defluisce attraverso estrattori indipendenti. Le UTA a doppio flusso, invece, integrano sia il ventilatore di mandata che quello di ripresa/espulsione: realizzano un sistema di ventilazione bilanciata dove la stessa unità gestisce entrambi i flussi. Come visto, in queste è quasi sempre presente un recuperatore di calore tra i due flussi. Oggi la gran parte degli impianti non residenziali adotta UTA a doppio flusso per massimizzare l'efficienza energetica e il controllo della ventilazione.
- UTA a tutta aria esterna vs. UTA a ricircolo:** le UTA a tutta aria esterna lavorano con il 100% di aria di rinnovo, senza reimmettere aria dagli ambienti (se non tramite recuperatore passivo). Questo è tipico in situazioni dove il ricircolo è sconsigliato o vietato (ad esempio in ambienti sanitari infettivi, oppure in tempi di pandemia per evitare ricircolo di virus, o semplicemente per scelta progettuale legata alla qualità dell'aria interna). L'aria estratta viene completamente espulsa. Viceversa, molte UTA consentono un ricircolo parziale: mediante serrande di miscela, parte dell'aria interna (generalmente recuperata dal ritorno) viene rimescolata con l'aria esterna in ingresso. Il ricircolo può far risparmiare energia (riducendo la quantità di aria fredda o calda esterna da trattare), ma riduce la quota di aria fresca immessa. Le normative attuali tendono a limitare l'uso del ricircolo in favore del recupero di calore: come accennato, per le UTA nuove a doppio flusso il concetto di camera di miscela tradizionale è di fatto superato. Tuttavia, qualche percentuale di ricircolo può essere prevista in modo controllato per ottimizzare il funzionamento (ad esempio UTA con free cooling indiretto che in estate di notte sfruttano più aria esterna fresca e di giorno aumentano il ricircolo se l'aria esterna è troppo calda/umida, sempre compatibilmente coi requisiti di ventilazione igienica).
- UTA per comfort vs. UTA di processo:** un'altra distinzione riguarda l'ambito d'uso. Le UTA per climatizzazione comfort (uffici, scuole, negozi, edifici residenziali collettivi, ecc.) sono progettate per garantire condizioni piacevoli alle persone e un'aria salubre, con livelli di filtrazione standard e range termoigrometrici moderati (es. 20-26 °C, 40-60% UR). Le UTA per uso industriale o di processo, invece, possono dover mantenere condizioni microclimatiche molto specifiche (es. 18°C ±1, 20% UR in un laboratorio,

oppure 30°C in un'essiccazione industriale) e spesso includono sezioni aggiuntive (filtri speciali, sistemi ridondanti, deumidificatori a essiccanti, ecc.). Spesso per usi speciali si ricorre a UTA "igieniche" certificate secondo standard come VDI 6022 o ISO 846, costruite con materiali e finiture che consentono pulizia approfondita, con scarichi condensa speciali, angoli interni arrotondati anti-accumulo, guarnizioni antimicrobiche, ecc. Tali unità sono tipiche di ospedali, camere bianche farmaceutiche, industria alimentare. In generale, le UTA comfort privilegiano efficienza energetica e silenziosità, mentre quelle di processo enfatizzano precisione di controllo, robustezza e spesso ridondanza (unità o componenti duplicati per garantire continuità).

- **Altre tipologie specifiche:** esistono poi varianti progettuali particolari, come le UTA plug-and-play con controlli integrati (fornite dal costruttore già complete di centralina di controllo montata a bordo, per facilitare l'installazione e il collaudo), le UTA multizona (che servono più zone con esigenze diverse mediante sistemi a doppia batteria o miscelazione di flussi, ma sono meno comuni), oppure le unità di trattamento primario abbinate a terminali locali (ad esempio UTA che trattano solo aria primaria fresca a temperatura neutra, demandando ai terminali in ambiente il completamento del carico termico – questo avviene nei sistemi misti aria-acqua come fan-coil con aria primaria). Infine, in ambito residenziale si parla spesso di VMC – Ventilazione Meccanica Controllata: di fatto sono piccole UTA decentralizzate (a singolo ambiente o per appartamento) dotate di ventilatori di immissione/estrazione e recuperatore, utilizzate per assicurare ricambio d'aria in case ad alta efficienza energetica. Pur essendo concettualmente delle UTA in miniatura, queste unità residenziali hanno portate ridotte e costruzione semplificata, per cui vengono di solito trattate come categoria a sé.

4.4. Funzionamento di una UTA

Dopo aver visto quali componenti costituiscono una UTA, descriviamo come funziona nel complesso il processo di trattamento dell'aria. Possiamo scomporre il funzionamento in una sequenza di fasi attraverso l'unità:

1. **Presa dell'aria esterna (e ricircolo):** Il ciclo inizia con l'aria esterna che viene aspirata attraverso la serranda di presa d'aria. Se l'impianto lo prevede, contemporaneamente una parte di aria di ritorno dall'edificio viene aspirata nella sezione di miscela attraverso la serranda di ricircolo. Le proporzioni fra aria esterna e aria ricircolata possono variare in base alle necessità: ad esempio, in condizioni normali potrebbe entrare il minimo di aria esterna necessario per garantire i ricambi igienici, mentre in free cooling notturno la serranda di ricircolo si chiude privilegiando il 100% di aria fresca più fresca esterna. Nei sistemi a doppio flusso moderni, come detto, la miscela diretta è sostituita da un recuperatore; in tal caso, l'aria esterna e quella di ripresa scorrono in due circuiti separati convergendo poi nello scambiatore di calore. Durante il funzionamento a regime, il flusso d'aria è regolato dal ventilatore di mandata (e di ripresa, se presente), che mantengono la portata o pressione ai livelli di progetto.
2. **Filtrazione:** Subito dopo l'ingresso, l'aria attraversa il primo stadio di filtri. Qui polvere, pollini e impurità grossolane vengono intrappolate nel media filtrante. Se l'unità dispone di filtri multistadio, l'aria prosegue attraverso filtri via via più fini. Ad esempio, un'aria esterna inizialmente filtrata da un pannello G4 può poi passare in un filtro fine F7 che rimuove le particelle sottili restanti. Alla fine della sezione di filtrazione, l'aria è pulita a un livello adeguato per l'immissione negli ambienti (o per proteggere le successive sezioni di scambio termico da sporcamento). I filtri operano creando una perdita di carico: mano a mano che si accumula sporco, la resistenza aumenta. Il sistema di ventilazione quindi può aumentare leggermente la prevalenza per mantenere la portata (se dotato di controllo adattativo), fino a che un segnale di pressostato non indica che i filtri sono intasati e vanno sostituiti.
3. **Pre-trattamento (eventuale):** In certi impianti, soprattutto in climi freddi, l'aria filtrata può incontrare una batteria di preriscaldamento. Questa interviene quando la temperatura esterna è molto bassa (sotto 0 °C) per riscaldare leggermente l'aria ed evitare problemi di congelamento sulla batteria fredda o di condensa sul recuperatore. Il preriscaldamento mantiene l'aria in ingresso ad una temperatura di sicurezza (ad esempio >5 °C). Se invece l'aria esterna è molto calda/umida, alcune UTA potrebbero avere sistemi di pre-raffreddamento/deumidifica (non comuni, di solito ci si affida all'azione diretta della batteria fredda principale). Altri eventuali pre-trattamenti possono essere filtri a carboni attivi (per rimuovere odori/gas dall'aria esterna in ambienti molto inquinati) posti dopo i filtri antipolvere.

4. **Recupero di calore:** Se l'UTA è dotata di recuperatore, in questa fase l'aria fresca filtrata attraversa lo scambiatore di recupero in controcorrente (piastre o rotore) oppure la prima batteria di un sistema run-around, assorbendo energia termica dall'aria esausta in uscita. Questo processo preriscalda l'aria di inverno (o la preraffredda d'estate) prima ancora che incontri le batterie attive, riducendo così il lavoro richiesto a caldaia o chiller. Nel caso di rotori entalpici, c'è anche trasferimento di umidità (in inverno l'aria esterna guadagna un po' di umidità dall'estratta umida degli ambienti interni, e viceversa in estate cede umidità riducendo il carico di deumidifica). Nei recuperatori a piastre, spesso è presente una serranda di bypass: quando le condizioni esterne sono favorevoli (es. aria notturna fresca in estate), il controllo chiude la sezione recuperatore e manda l'aria direttamente in bypass per fare free cooling, evitando che il recuperatore la riscaldi con l'aria di ripresa. In alcune situazioni invernali miti, il bypass viene usato al contrario per evitare sovra-riscaldamento dell'aria esterna se l'interno è in eccesso di calore. Tutto questo è gestito automaticamente dalla logica di controllo in base alle temperature.
5. **Riscaldamento/Raffreddamento e Deumidifica:** Ora l'aria, già pretrattata, passa attraverso le batterie di scambio termico principali. In inverno incontrerà la batteria calda, dove viene riscaldata fino a raggiungere la temperatura di mandata desiderata (ad esempio 30 °C se poi verrà miscelata con aria ambiente nei diffusori, o 20 °C se immessa direttamente). In estate, l'aria attraversa la batteria fredda (di raffreddamento), dove viene raffreddata ben al di sotto della temperatura ambiente desiderata, in modo da sottrarre calore ed umidità. Tipicamente la batteria fredda raffredda l'aria fino a, poniamo, 10-14 °C, facendo condensare l'umidità in eccesso. L'aria in uscita dalla batteria sarà fresca e deumidificata, con UR spesso intorno al 95-100% (essendo prossima alla saturazione a quella temperatura). Se il progetto prevede anche un post-riscaldamento, subito dopo la batteria fredda l'aria può venire leggermente riscaldata per abbassare l'umidità relativa finale e raggiungere la temperatura di mandata ottimale (ad esempio riscaldandola da 13 °C a 18 °C, l'UR scende dal 95% a ~60% rendendo l'aria confortevole e asciutta). Tutto questo avviene modulando opportunamente le valvole della batteria calda e fredda: tramite sonde di temperatura (e umidità) l'unità regola la potenza scambiata per raggiungere il setpoint di mandata impostato dal progettista o dall'utenza.
6. **Umidificazione (se presente):** Nella stagione fredda, se l'aria dopo il riscaldamento risulta troppo secca rispetto al setpoint di umidità relativa desiderato, entra in funzione la sezione umidificatore. A valle della batteria calda (o talvolta direttamente in mandata nei canali) viene immesso vapore acqueo o nebulizzata acqua, così che l'aria incrementi il suo contenuto di umidità fino al valore target (es. portandola dal 20% UR al 45% UR). L'umidificazione è controllata da un igrostat o sensore di umidità che modula la produzione di vapore/acqua finché l'UR di mandata non raggiunge il set desiderato. Durante l'estate normalmente l'umidificatore rimane spento, a meno di esigenze particolari.
7. **Ventilazione e distribuzione ai locali:** A questo punto l'aria è trattata – pulita, alla giusta temperatura e umidità – e viene convogliata verso l'uscita dell'UTA. Qui il ventilatore di mandata provvede a mantenerla in pressione e a spingerla dentro la rete di condotte di distribuzione dell'edificio. Attraverso i canali, l'aria climatizzata raggiunge i vari ambienti dove viene immessa tramite diffusori, griglie o bocchette, assicurando un ricambio costante e condizioni di comfort nelle zone servite. La portata d'aria immessa in ciascun locale può essere regolata da serrande tarate o, in impianti avanzati, da dispositivi VAV (Variable Air Volume) che modulano la portata in funzione della domanda termica locale – il che a sua volta influenza la pressione nelle condotte e viene compensato dal ventilatore mediante controllo in inverter per mantenere la pressione costante.
8. **Espulsione aria esausta:** Parallelamente all'immissione, il ventilatore di ripresa (nelle UTA a doppio flusso) estrae l'aria viziata dagli ambienti attraverso una rete di condotte di ripresa. Quest'aria di ritorno, dopo aver eventualmente ceduto calore nel recuperatore, viene convogliata all'esterno tramite la serranda di espulsione, completando il ciclo. Prima di essere espulsa definitiva, l'aria di ripresa potrebbe passare attraverso un ultimo filtro (detto filtro di espulsione) per trattenere polveri eventualmente raccolte nelle condotte e non contaminare l'ambiente esterno. In alcuni casi, l'aria espulsa può anche essere trattata per evitare emissioni odorose o inquinanti (es. filtri ai carboni se proviene da cucine, o abbattitori se ci sono solventi). L'aria viene infine rilasciata all'esterno, lontano dalle prese di aria fresca, completando così il ricambio.

Durante tutto questo processo, la UTA lavora in maniera continua e automatizzata, adattandosi alle condizioni variabili: ad esempio modulando le valvole delle batterie per compensare cambiamenti della temperatura esterna o dei carichi interni, aumentando la velocità dei ventilatori se alcuni filtri iniziano a sporcare e oppongono più resistenza, o aprendo/chiedendo serrande per mantenere la qualità dell'aria (tramite sensori di CO₂ o VOC che possono richiedere più aria esterna se i livelli di anidride carbonica

salgono in ambiente). Nei periodi di mezza stagione, la UTA può operare in free cooling: se l'aria esterna è più fresca dell'interno, viene aumentata la portata di aria esterna (anche al 100%) e spenta la batteria fredda, raffreddando gli ambienti gratis. Viceversa, esistono modalità di night purge (spurgo notturno) in cui a fine giornata estiva l'UTA rimane accesa immettendo aria esterna fresca per raffreddare la massa termica dell'edificio. Tutte queste strategie di funzionamento ottimizzato richiedono un sistema di regolazione e controllo efficiente, di cui parleremo ora.

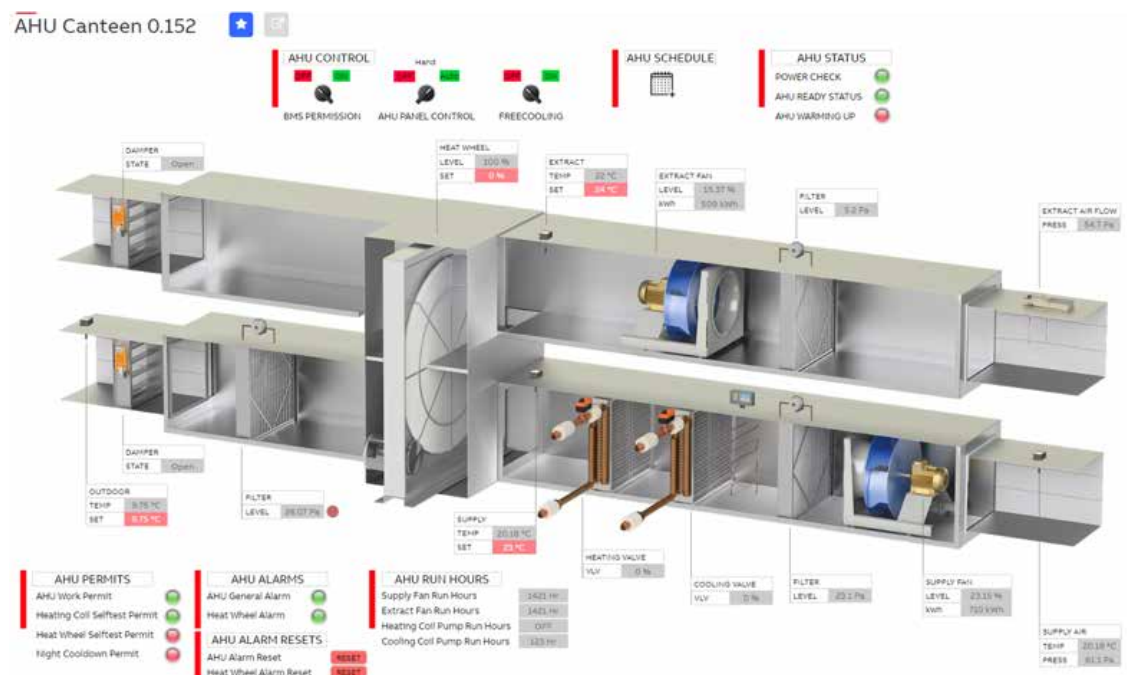
4.5. Regolazione e controllo

Il funzionamento di una UTA è governato da un sistema di regolazione automatica che coordina i vari componenti – ventilatori, valvole, serrande, umidificatori, resistenze, ecc. – al fine di mantenere le condizioni desiderate con la massima efficienza. Un tempo le UTA potevano essere controllate da centraline elettromeccaniche o pneumatiche, ma **oggi sono quasi universalmente gestite da sistemi elettronici digitali (PLC, DDC, Direct Digital Control) spesso integrati in un Building Management System (BMS) centralizzato.**

Ecco gli aspetti chiave della regolazione di una UTA:

- **Sensori ambientali e di processo:** La UTA si avvale di numerosi sensori per monitorare le grandezze termofisiche rilevanti. Tra questi, tipicamente: sonde di temperatura sull'aria esterna, sull'aria di mandata (in uscita UTA) e talvolta sull'aria di ritorno; sensori di umidità relativa sull'aria di mandata e/o ambiente; sonde di qualità dell'aria (come sensori di CO₂ o VOC nei locali, utili per la ventilazione a domanda); pressostati differenziali su filtri e ventilatori (per rilevare intasamenti o cali di prestazione); termostati antigelo sulla batteria fredda; sensori di pressione nei canali (per controllo in pressione costante); flussostati e manometri su circuiti idronici delle batterie, ecc. I dati raccolti da questi sensori alimentano i loop di controllo a logica programmata.
- **Attuatori e organi finali:** In parallelo, la UTA dispone di vari attuatori che eseguono i comandi della centralina di controllo. Abbiamo le valvole motorizzate sulle batterie (che modulano l'apertura per regolare il flusso di acqua calda/fredda); gli attuatori delle serrande di presa/ricircolo/bypass (che aprono o chiudono le serrande in funzione delle richieste di aria esterna o free cooling); i controlli di velocità dei ventilatori (inverter per i motori AC, segnali di controllo 0-10V per motori EC) per regolare la portata d'aria o mantenere la pressione impostata; i generatori di vapore dell'umidificatore (controllati a step o modulazione continua per immettere la corretta quantità di umidità); eventuali compressori o circuiti frigoriferi integrati (nel caso di rooftop autonomi, regolati tramite termostati o valvole di espansione elettroniche); e infine dispositivi di sicurezza come allarmi sonori/visivi, relè di interblocco (es. che fermano il ventilatore se una porta UTA viene aperta, per protezione).

1.8 UTA - Esempio supervisione



- Logiche di controllo:** Il “cervello” dell’UTA è costituito da un controllore programmabile (come FBXi-8r8-96). Questo controllore esegue un software di regolazione che implementa varie logiche in cascata. Ad esempio, la regolazione della temperatura di mandata avviene modulando la valvola acqua fredda o calda: il controllore confronta la temperatura di mandata rilevata con il setpoint desiderato (impostato dall’utente o calcolato in base a curve climatiche esterne) e tramite un algoritmo PID aziona le valvole per ridurre l’errore (se l’aria è troppo fredda in inverno, apre di più la valvola acqua calda; se è troppo calda in estate, apre la valvola acqua fredda, e così via). In parallelo, può esserci una regolazione dell’umidità: il controllore legge l’umidità di mandata o ambiente, e se è inferiore al setpoint in inverno attiva l’umidificatore modulandolo, oppure se è superiore al setpoint in estate può abbassare ulteriormente il set-point di temperatura per deumidificare di più (o attivare sistemi ausiliari se presenti). Un’altra logica tipica è la regolazione del flusso d’aria: in un impianto a portata variabile, il controllore modula la velocità del ventilatore per mantenere una pressione costante nei canali di mandata (es. 200 Pa) o per fornire una certa portata di aria esterna minima (ad esempio 30% della portata nominale per garantire i ricambi). Vi è poi la gestione delle serrande di free cooling: il software confronta temperatura interna, esterna ed eventualmente umidità, decidendo se conviene aumentare l’apporto di aria esterna per raffrescare gratis; in tal caso apre progressivamente la serranda esterna fino al 100% e chiude il ricircolo, eventualmente attivando anche il bypass del recuperatore, mentre spegne o riduce al minimo il chiller. Al contrario, se fa molto freddo fuori, la logica può limitare l’aria esterna al minimo igienico per non gravare sul sistema di riscaldamento. Tutte queste sequenze sono programmate ad hoc durante la messa in servizio dell’impianto, seguendo schemi di regolazione standard (spesso ispirati a normative ASHRAE Guideline 36 o specifiche di progetto).
- Supervisione e BMS:** Nelle installazioni moderne, più UTA (e altri sotto-sistemi HVAC) sono collegate a un sistema centrale di supervisione o BMS. Questo permette di controllare in modo integrato l’intero impianto edificio. Tramite il BMS si possono impostare orari di funzionamento (es. spegnere o andare in economia durante la notte o il weekend se l’edificio è vuoto), definire setpoint diversi per fasce orarie o stagioni, ricevere allarmi (ad esempio segnalazione immediata di ventole bloccate, filtri da cambiare, ecc.), e ottimizzare la gestione energetica (coordinando anche caldaie, chiller, terminali locali). Ad esempio, il BMS può evitare di far partire contemporaneamente tutte le UTA dopo un blackout (per non avere picchi elettrici), oppure mettere temporaneamente in ricircolo alcune unità se rileva consumi anomali, o ancora abbassare di 1-2 °C i set-point di tutte le UTA la notte prima di un picco di domanda energetica (funzioni di peak shaving o pre-conditioning).
- Esempi di sistemi di controllo:** Sul mercato esistono molte soluzioni per la regolazione delle UTA, dai dispositivi “stand-alone” integrati forniti dai produttori, a piattaforme aperte. Un esempio significativo è dato dai controllori logici ABB Cylon, parte di sistemi BMS: tali controllori offrono un controllo HVAC avanzato e flessibile, integrandosi via protocolli standard (BACnet, Modbus, ecc.) e permettendo sia la regolazione in tempo reale di una UTA, sia funzioni di supervisione, data logging e ottimizzazione energetica a livello edificio. Soluzioni di questo tipo consentono di implementare strategie sofisticate mantenendo al contempo un’interfaccia user-friendly per il facility manager o il tecnico manutentore, che può monitorare da remoto lo stato di ogni UTA, vedere trend storici (temperature, portate, consumi) e intervenire con comandi manuali o modifiche ai setpoint se necessario. Inoltre, la connettività dei moderni controllori rende possibili funzionalità di monitoraggio da remoto, manutenzione predittiva (grazie all’analisi dei dati di funzionamento si possono prevenire guasti, ad esempio notando un assorbimento anomalo di un motore ventilatore prima che si guasti) e integrazione con piattaforme IoT di smart building. Tutto ciò va nella direzione di impianti HVAC sempre più intelligenti ed efficienti, in cui le UTA giocano un ruolo di primo piano non solo nel garantire comfort ma anche nel contribuire al risparmio energetico complessivo dell’edificio (riducendo sprechi grazie a una regolazione fine e coordinata con il resto dei sistemi tecnici).

In sintesi, **la regolazione e il controllo trasformano la UTA da semplice assemblaggio di componenti in un sistema dinamico capace di adattarsi alle condizioni interne ed esterne.** Un’UTA ben regolata **manterrà costanti e confortevoli i parametri ambientali con il minimo consumo energetico necessario**, segnalando tempestivamente eventuali anomalie. Viceversa, una regolazione scadente può portare a disservizi (temperature fuori range, correnti d’aria, rumore) o a sprechi notevoli (ad esempio batterie caldo e freddo in conflitto, ventilazione eccessiva o insufficiente). Ecco perché la fase di taratura e collaudo della logica di controllo è cruciale, così come l’aggiornamento periodico dei setpoint operativi in base all’uso effettivo degli spazi e alle politiche energetiche vigenti.

4.6. Manutenzione e normative

La manutenzione di un'UTA riveste un'importanza fondamentale, sia per garantire la salute e sicurezza degli occupanti sia per assicurare nel tempo le prestazioni energetiche dell'impianto. Un'UTA trascurata può infatti diventare fonte di problemi: nel corso del funzionamento all'interno dei suoi componenti si accumulano polveri, sporco, microrganismi, che non solo riducono l'efficienza dei macchinari ma rischiano anche di contaminare l'aria immessa negli ambienti. Disturbi respiratori, allergie, irritazioni fino a gravi infezioni possono insorgere in edifici serviti da impianti sporchi (la cosiddetta Sick Building Syndrome). In casi estremi, la mancanza di igiene nelle UTA può favorire la proliferazione di patogeni come la *Legionella pneumophila* nei ristagni d'acqua delle vaschette di condensa, con conseguente rischio di diffusione di legionellosi negli ambienti serviti. D'altro canto, depositi e incrostazioni su filtri e batterie portano a cali di portata d'aria, scambi termici meno efficaci e aumenti dei consumi (ventilatori che lavorano sotto sforzo, chiller e caldaie che devono compensare inefficienze), causando sprechi economici.

Per questi motivi, pulizia e manutenzione periodica delle UTA sono sia una buona pratica professionale sia, in molti casi, un obbligo normativo. Vediamo alcuni punti fondamentali:

- **Attività ordinarie di manutenzione:** Su base regolare (tipicamente trimestrale o semestrale, a seconda dell'uso e dell'ambiente), vanno controllati e sostituiti i filtri dell'aria. I filtri sono generalmente l'elemento da sostituire più frequentemente: quando sono saturi di polvere, vanno rimpiazzati con elementi nuovi della stessa classe (o puliti se sono del tipo rigenerabile, es. filtri metallici). Contestualmente, è buona norma pulire le batterie alettate (aspirando o soffiando via il deposito di polvere sulle alette, e sanificando con prodotti specifici soprattutto la batteria fredda dove l'umidità può far proliferare muffe). Le vaschette di condensa vanno ispezionate e pulite per rimuovere fanghi e biofilm, verificando che gli scarichi non siano otturati e disinfettando contro la proliferazione batterica. Anche i ventilatori richiedono attenzione: periodicamente occorre verificare lo stato di usura delle cinghie (nei ventilatori a trasmissione), la pulizia delle giranti (polveri sulle pale sbilanciano e riducono l'efficienza), il serraggio dei giunti, e lubrificare i cuscinetti se previsto. Gli umidificatori vanno decalcificati e bonificati per evitare crescita di alghe o batteri (soprattutto i sistemi ad acqua). Inoltre, tutti i sensori vanno calibrati o almeno testati (una sonda di temperatura fuori taratura può mandare fuori controllo la regolazione); gli attuatori e valvole vanno azionati manualmente per assicurarne la mobilità e l'assenza di blocchi; i contatti elettrici stretti e i cablaggi integri. Infine, è opportuno eseguire un check funzionale: provare ad esempio le sequenze di free cooling, le protezioni antigelo (simulando temperatura bassa e verificando che la serranda esterna si chiuda e la pompa acqua calda si attivi), gli allarmi (un test di filtro sporco, di arresto ventilatore, ecc.), così da assicurarsi che in caso di necessità i sistemi di sicurezza intervengano correttamente.
- **Sanificazione impianti aeraulici:** Oltre alla manutenzione tecnica, riveste crescente importanza la sanificazione igienica delle UTA e delle relative canalizzazioni. Secondo normative e linee guida sanitarie, negli ambienti di lavoro gli impianti di climatizzazione devono essere puliti e bonificati periodicamente per prevenire rischi per la salute. In Italia, ad esempio, l'Allegato IV del D.Lgs. 81/2008 (Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro) richiede esplicitamente che "gli impianti [di ventilazione] siano periodicamente sottoposti a controlli, manutenzione, pulizia e sanificazione per la tutela della salute dei lavoratori", rimuovendo tempestivamente qualsiasi contaminante che possa costituire pericolo. Inoltre, la Conferenza Stato-Regioni nel febbraio 2013 ha emanato linee guida operative che stabiliscono la frequenza di ispezioni visive e tecniche degli impianti di trattamento aria (almeno una volta l'anno e sempre prima della rimessa in funzione stagionale). Esiste anche la norma tecnica UNI EN 15780:2011 che definisce gli standard di pulizia per sistemi di ventilazione, indicando criteri e livelli di accettabilità dello sporco nei condotti e unità (classi di pulizia "bassa, media, alta" in base all'ambiente servito) e dando indicazioni sulle metodologie di ispezione e bonifica. In pratica, per mantenere l'UTA in condizioni igieniche ottimali, ci si affida a ditte specializzate che effettuano interventi di sanificazione aeraulica: pulizia meccanica accurata delle superfici interne (anche con robot e spazzole per i condotti), aspirazione con filtri HEPA, e disinfezione con appositi agenti biocidi delle sezioni sensibili (batterie, vaschette, canalizzazioni), il tutto certificato da analisi microbiologiche se necessario. Dal punto di vista legale, solo ditte abilitate (secondo D.M. 274/1997) possono rilasciare la certificazione di avvenuta sanificazione dell'impianto.
- **Aspetti documentali e normativi:** La gestione di un impianto di climatizzazione come quello con UTA richiede anche di tenere aggiornati i documenti obbligatori. In Italia, dal 2014 è in vigore l'obbligo di dotare ogni impianto termico (sia di riscaldamento che di climatizzazione con potenza >12 kW) di un

Libretto di impianto conforme al D.M. 10 febbraio 2014. Nel libretto vanno registrate tutte le manutenzioni e i controlli di efficienza energetica. Infatti, il D.P.R. 74/2013 impone verifiche periodiche dell'efficienza per impianti di climatizzazione invernale ed estiva sopra soglie di potenza: ad esempio, per impianti di condizionamento estivo >12 kW occorre eseguire un controllo di efficienza energetica almeno ogni 4 anni (che in pratica coincide con il controllo del gruppo frigorifero). Nel caso delle UTA, se esse fanno parte di un sistema di climatizzazione con potenza termica maggiore di 12 kW, questi controlli devono essere effettuati e riportati sul libretto (pur non essendoci, per la parte aria, un "rendimento" da misurare come per le caldaie, si verifica comunque lo stato generale e si ottimizzano i parametri di regolazione). Inoltre va ricordato che, se l'UTA include circuiti frigoriferi (come nei rooftop con compressori) contenenti gas refrigeranti fluorurati, scattano gli obblighi dei regolamenti F-Gas: controllo periodico delle fughe, registrazione dei quantitativi di refrigerante, ecc., secondo D.P.R. 146/2018 e Regolamento EU 517/2014, ma questo riguarda più la macchina frigorifera integrata che la UTA in sé.

- **Normative tecniche di riferimento:** Il settore della climatizzazione è guidato da normative tecniche in evoluzione. Per la progettazione e gestione degli impianti aerulici di comfort, in Italia per molti anni ha fatto testo la UNI 10339:1995 (impianti aerulici ai fini di benessere) che definiva portate minime di aria esterna per persona, criteri di filtrazione, etc. Tale norma, ormai superata, è stata ritirata nel 2024 e sostituita dall'applicazione delle norme europee della serie UNI EN 16798 (che riprendono la EN 15251 e EN 13779 precedenti). Queste normative definiscono i livelli di qualità dell'aria interna (categorie di IAQ) e danno indicazioni sulle portate di ventilazione da garantire in funzione di occupanti e destinazione d'uso, nonché raccomandazioni su temperature, umidità e controllo. Dal lato dell'efficienza energetica, abbiamo già citato il Regolamento Ecodesign UE n.1253/2014 che impone requisiti minimi per le UTA immesse sul mercato europeo: oltre al recupero di calore e ai ventilatori a velocità variabile, esso introduce limiti sul SFP int (Specific Fan Power interno) cioè sull'assorbimento specifico dei ventilatori, incentivando progettazioni con perdite di carico contenute e ventilatori efficienti. In sostanza, un'UTA moderna deve consumare poca energia per movimentare l'aria e recuperare molta dell'energia termica dall'aria espulsa. Anche sul fronte filtrazione c'è stato un aggiornamento normativo: la vecchia classificazione dei filtri (G, M, F, H, U) della EN 779 è stata rimpiazzata dallo standard ISO 16890, che classifica i filtri in base all'efficacia di trattenimento delle polveri sottili (ePM10, ePM2.5, ePM1). Questo cambio, avvenuto nel 2018, ha allineato i test di filtrazione a condizioni più reali e fornisce parametri utili per valutare l'impatto dei filtri sulla qualità dell'aria interna. I progettisti e gestori di UTA devono quindi familiarizzare con le nuove sigle (ad es. un filtro ePM1 80% corrisponde grossomodo al precedente F9) e assicurare la conformità ai requisiti sia di qualità aria che di efficienza energetica.

In conclusione, una corretta manutenzione e l'adesione alle normative sono elementi indispensabili per il buon funzionamento di un'Unità di Trattamento Aria. Dal punto di vista tecnico, mantenere pulita ed efficiente una UTA significa garantire continuità di servizio, aria salubre e consumi contenuti. Dal punto di vista legale, il responsabile dell'impianto deve attenersi ai protocolli di controllo e pulizia per tutelare la salute degli occupanti e rispettare le prescrizioni di legge (sicurezza sul lavoro, requisiti igienico-sanitari e ambientali). L'UTA, in quanto "polmone" dell'edificio, va curata con verifiche periodiche e aggiornamenti tecnologici quando opportuno. Basti pensare che edifici con impianti aria sporchi o mal tenuti possono incorrere non solo in problemi di salute pubblica ma anche in sanzioni amministrative se non conformi alle norme vigenti. Al contrario, le nuove tecnologie – come sensori intelligenti, analisi dati e sistemi di automazione evoluti – permettono oggi di migliorare la gestione manutentiva (ad esempio implementando programmi predittivi che segnalano quando pulire prima che le prestazioni degradino) e di aumentare la vita utile delle apparecchiature.

Infine, eventi globali come la recente pandemia COVID-19 hanno sottolineato ulteriormente l'importanza di una ventilazione adeguata e di un'aria indoor salubre: le linee guida internazionali hanno raccomandato di incrementare il più possibile l'apporto di aria esterna e di limitare il ricircolo nei sistemi di climatizzazione, oltre a migliorare la filtrazione, per ridurre i rischi di trasmissione aerea. Ciò ha portato molte strutture a riconsiderare i propri impianti UTA, verificandone la capacità di fornire aria fresca in quantità e la compatibilità dei filtri con la rimozione di aerosol microbici, nonché ad intensificare le sanificazioni. Anche in un'ottica futura di edifici salubri ("healthy buildings"), l'UTA giocherà un ruolo cruciale poiché, integrando efficienza energetica e tutela della salute, rappresenta l'elemento chiave per coniugare comfort interno, risparmio e sicurezza degli occupanti.

In sintesi, l'Unità di Trattamento Aria è il cuore pulsante degli impianti HVAC a servizio di grandi ambienti: attraverso i suoi componenti e le sue funzioni integrate, essa garantisce che ogni ambiente riceva aria pulita, alla giusta temperatura e umidità, nel modo più efficiente possibile. Una progettazione accurata, un controllo intelligente e una manutenzione diligente di queste unità assicurano non solo il benessere di chi vive gli spazi climatizzati, ma anche la sostenibilità operativa dell'impianto nel lungo periodo. In definitiva, conoscere e curare le UTA significa investire nella qualità dell'aria che respiriamo quotidianamente al chiuso – un investimento che ripaga in comfort, salute ed efficienza energetica.



05

LOGICHE DI REGOLAZIONE

INDICE

054	5.1. Principi generali delle logiche di regolazione HVAC
055	5.2. Controllo On/Off (a due posizioni)
056	5.3. Controllo Proporzionale (P)
057	5.4. Controllo Proporzionale-Integrale (PI)
058	5.5. Controllo Proporzionale-Integrale-Derivativo (PID)
059	5.6. Logiche di controllo adattative
060	5.7. Quando utilizzare ciascuna logica di controllo
061	5.8. Esempi pratici di applicazione
	5.8.1. Sistemi di ventilazione
	5.8.2. Sistemi di riscaldamento
	5.8.3. Sistemi di raffreddamento
	5.8.4. Unità di Trattamento Aria (UTA)
064	5.9. Integrazione delle logiche di regolazione nei controllori programmabili
066	5.10. Vantaggi delle corrette logiche di regolazione: efficienza, comfort e automazione

LOGICHE DI REGOLAZIONE

5.1. Principi generali delle logiche di regolazione HVAC

Nei sistemi HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) le logiche di regolazione servono a mantenere costanti i parametri ambientali (temperatura, umidità, qualità dell'aria, pressione, ecc.) al valore desiderato (setpoint). In pratica, un sensore misura la grandezza controllata (es. temperatura ambiente), un controllore confronta il valore misurato col setpoint e invia comandi a un attuatore (es. valvola, ventilatore, compressore) per correggere l'eventuale errore. Questo costituisce un ciclo di controllo in retroazione (feedback): il sistema si autoregola reagendo alle deviazioni, senza bisogno di intervento manuale. I vantaggi di un buon sistema di regolazione includono il mantenimento delle condizioni di comfort termico, la garanzia di qualità dell'aria interna e la riduzione dei consumi energetici grazie a un funzionamento efficiente e automatizzato.

Le logiche di regolazione in HVAC possono essere distinte in due grandi categorie:

- **controllo a due posizioni (On/Off)**
- **controllo modulante (continuo)**

Nel controllo on/off (detto anche “tutto/niente” o a due stati) l'attuatore può essere soltanto spento o acceso al 100%, mentre nel controllo modulante l'output può variare in modo proporzionale tra 0% e 100% (o tra due valori discreti) per adattarsi meglio al carico richiesto. La regolazione on/off è la più semplice, ma comporta inevitabilmente delle oscillazioni attorno al setpoint: il sistema alterna fasi di accensione e spegnimento per mantenere la media nel tempo, causando continui cicli. Man mano che il carico termico varia, infatti, un semplice termostato on/off accenderà e spegnerà l'impianto per mantenere la temperatura: ad esempio, se l'edificio necessita solo del 50% della potenza di riscaldamento, un controllo on/off terrà acceso il generatore circa metà del tempo e spento per l'altra metà, aumentando la frequenza dei cicli all'aumentare del carico. Un problema comune in questo caso è il ciclo rapido (short-cycling): attivazioni troppo frequenti mantengono i componenti in condizioni poco efficienti e ne accelerano l'usura.

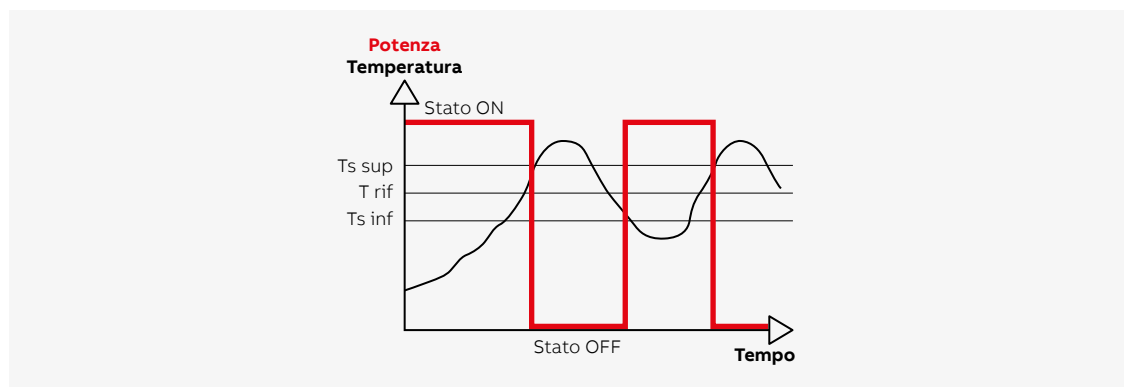
Si potrebbe allungare il tempo di spegnimento per ridurre i cicli, ma questo amplia le oscillazioni di temperatura percepite nell'ambiente, causando periodi di discomfort quando l'impianto resta spento più a lungo. La regolazione modulante nasce proprio per ovviare a questi limiti: invece di accendere e spegnere completamente, si varia in modo continuo la potenza erogata in base all'errore. Così, se l'edificio richiede metà della potenza, il controllore modulante fornisce circa il 50% di output (ad esempio modulando una valvola o la velocità di un ventilatore). Ciò consente di seguire il carico reale evitando marcate fluttuazioni e frequenti on/off. In generale, la modulazione permette una regolazione più stabile della temperatura ambiente, riducendo le oscillazioni tipiche del controllo on/off. Di contro, richiede attuatori proporzionali o inverter (con un costo maggiore) e un buon bilanciamento idronico/ariaggio per funzionare correttamente.

Oltre alla distinzione on/off vs modulante, le logiche di regolazione differiscono per la **modalità di azione di controllo**: esistono controlli proporzionali, integrali, derivativi e combinazioni come i regolatori PI e PID, nonché strategie predittive e adattative più avanzate. Nei prossimi paragrafi approfondiremo queste tipologie, evidenziando principi di funzionamento, applicazioni tipiche e criteri di scelta.

5.2. Controllo On/Off (a due posizioni)

Il controllo On/Off è la forma più elementare di regolazione: l'attuatore ha solo due stati, generalmente "acceso al 100%" oppure "spento". Un esempio classico è il termostato domestico che accende la caldaia quando la temperatura scende sotto un valore limite e la spegne quando supera una soglia superiore. In pratica, l'uscita U assume solo valori 0% o 100% (o "tutto/niente"). Questo tipo di controllo è semplice ed economico da implementare e spesso sufficiente in contesti a bassa esigenza di precisione. Viene infatti impiegato diffusamente per dispositivi on/off (bruciatori monostadio, compressori di piccoli climatizzatori, ventilatori a velocità fissa, ecc.) o in impianti dove la modulazione continua non è possibile.

1.9 Controllo on-off



Tuttavia, la regolazione on/off presenta limiti in termini di stabilità della variabile controllata. Poiché il controllore può solo accendere o spegnere, la grandezza regolata (es. temperatura ambiente) tende a oscillare attorno al setpoint. Tipicamente si introduce una banda di isteresi per evitare cicli troppo ravvicinati: ad esempio, per un setpoint di 20°C si potrebbe accendere il riscaldamento sotto i 19.5°C e spegnerlo sopra i 20.5°C , così da prevenire continui riavvii al minimo cambiamento. Nonostante ciò, un certo sovraoscillamento è intrinseco: la temperatura salirà leggermente oltre il setpoint prima che il termostato spenga il riscaldatore, poi scenderà un po' sotto il setpoint prima di riaccendersi, creando un'onda intorno al valore desiderato. L'ampiezza dell'oscillazione dipende dall'inerzia termica del sistema e dall'ampiezza dell'isteresi impostata. In impianti con bassa inerzia (es. aria con ventilconvettori), queste oscillazioni possono essere sensibili e causare discomfort, mentre sistemi ad alta inerzia (es. riscaldamento a pavimento) le attenuano naturalmente accumulando calore.

Un altro svantaggio del controllo on/off è il potenziale funzionamento inefficiente a carico parziale. Come accennato, a carichi ridotti il componente si accende e spegne di frequente. Durante ogni avviamento, molti macchinari (caldaie, compressori) hanno un rendimento momentaneamente più basso e consumi aggiuntivi; inoltre accensioni frequenti impediscono di raggiungere condizioni stazionarie ottimali. Questo, unito all'usura dovuta alle continue sollecitazioni, rende l'on/off meno efficiente nel lungo periodo rispetto a un controllo modulante. I produttori spesso specificano un numero massimo di cicli orari per evitare danni. Per mitigare questi problemi, oltre all'isteresi, si possono introdurre temporizzazioni (ad esempio tempo minimo di OFF prima di una nuova accensione) e utilizzare controlli a due stadi o in cascata: ad esempio due caldaie più piccole anziché una grande, attivate in sequenza per ridurre i cicli di ciascuna (questa è detta regolazione a step o staging).

In sintesi, il controllo on/off trova migliore applicazione quando si richiede semplicità, costo ridotto e robustezza, e dove una moderata oscillazione è accettabile. È comune nel residenziale e in piccoli sistemi HVAC, o come controllo di backup. Nei casi in cui serve maggior precisione o minor usura, si preferisce passare a logiche modulanti.

5.3. Controllo Proporzionale (P)

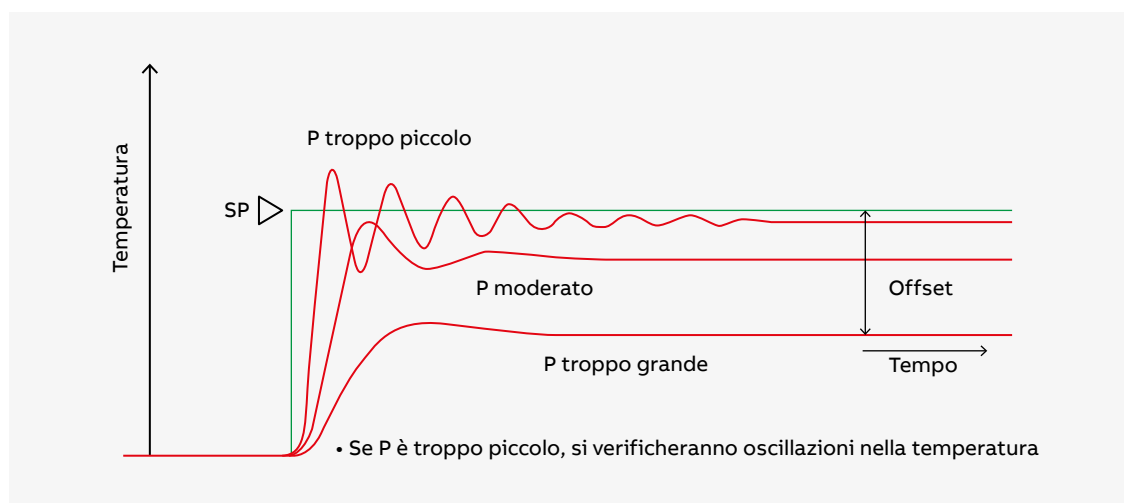
Il controllo proporzionale (P) è la forma base di controllo modulante. In un regolatore P puro, l'uscita di comando U è proporzionale all'errore istantaneo E (differenza tra setpoint e valore misurato). In pratica:

01 Formula

$U = K_p * E$ (dove K_p è il coefficiente proporzionale - o "guadagno").

Ciò significa che più grande è l'errore, più forte sarà il comando all'attuatore; man mano che l'errore diminuisce, il comando si riduce linearmente. Diversamente dall'on/off, l'attuatore può assumere qualsiasi valore intermedio (ad esempio aprire una valvola al 30%, 50%, 75% ecc.) permettendo regolazioni fini.

20 Esempio di risposta controllo P



Un vantaggio chiave del controllo P è la risposta graduale e modulata: il sistema tende ad avvicinarsi al setpoint senza continue accensioni/spengimenti bruschi. La regolazione è più stabile (meno oscillatoria) se il guadagno è tarato correttamente, migliorando il comfort. In un impianto di riscaldamento, ad esempio, una valvola a due vie modulante comandata in proporzionale può regolare la portata d'acqua calda in base alla differenza tra temperatura ambiente e setpoint, mantenendo la stanza più vicina alla temperatura desiderata e con variazioni lente e contenute.

Tuttavia, il controllo proporzionale puro presenta un limite intrinseco: in condizioni stazionarie può permanere un errore a regime (offset). Infatti, quando il sistema raggiunge l'equilibrio, l'errore non è nullo ma tale per cui l'uscita U genera esattamente la potenza necessaria a compensare le perdite. Ad esempio, immaginiamo di voler mantenere 20°C in una stanza fredda con un radiatore modulante; se a 20°C il radiatore dovrebbe essere aperto al 40% per bilanciare le dispersioni, il controllore proporzionale tenderà a stabilizzarsi con un errore residuo (magari la stanza a 19°C) tale che $K_p \times \text{errore} = 40\%$ di comando. Solo così l'errore si arresta: c'è un offset di 1°C in questo esempio. Per ridurlo si potrebbe aumentare K_p , ma guadagni troppo elevati rischiano di rendere instabile il sistema (innescando oscillazioni). Un regolatore P da solo funziona quindi bene solo in sistemi molto reattivi o con guadagni d'anello elevati senza instabilità. procoel.com, oppure dove un piccolo errore permanente è tollerabile.

In contesti HVAC, il P puro viene raramente usato in isolamento, proprio perché si preferisce eliminare l'errore a regime. Può comparire in loop secondari o in controlli cascata dove l'offset viene corretto da un anello esterno. Ad esempio, un controllo proporzionale può pilotare la velocità di un ventilatore in funzione della pressione nel canale, mentre un altro loop regola il setpoint di pressione per soddisfare la richiesta di flusso d'aria. In molti casi pratici, comunque, si passa ai controlli PI o PID per ottenere precisione migliore.

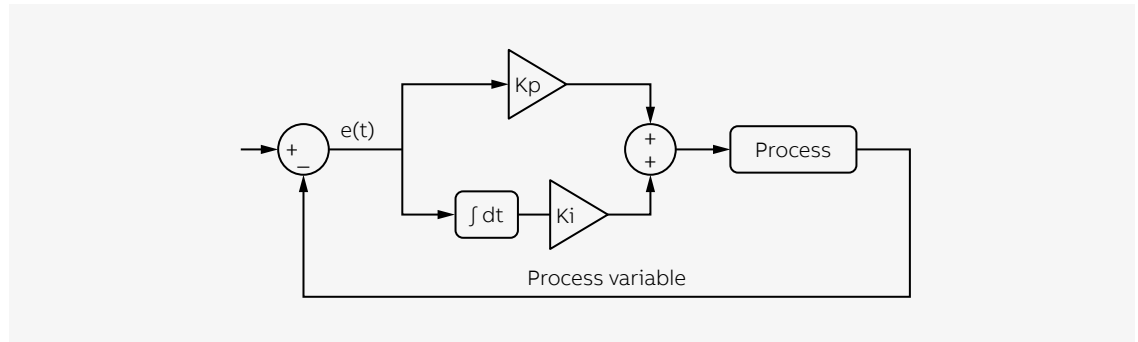
5.4. Controllo Proporzionale-Integrale (PI)

Il controllo PI combina l'azione Proporzionale con un'azione Integrale. Aggiungere la componente integrale significa che il controllore tiene conto non solo dell'errore attuale, ma anche di come l'errore si accumula nel tempo. Formalmente l'uscita è:

02 Formula

$U = K_p * E + K_i * \int E dt$ (dove K_i è il coefficiente integrale).

21 Diagramma
controllo PI



In parole semplici, l'integratore somma l'errore nel tempo: anche un piccolo errore costante, sommato secondo dopo secondo, genera gradualmente una correzione aggiuntiva. Questo permette di eliminare l'errore a regime: se ad esempio la temperatura ambiente resta anche solo 0.5°C sotto il setpoint per un certo periodo, l'azione integrale continuerà ad aumentare l'uscita finché quell'errore viene annullato. Il risultato è che un buon controllore PI riesce a portare e mantenere la variabile controllata esattamente al setpoint, senza offset permanente.

Nei sistemi HVAC, la regolazione PI è probabilmente la più diffusa. È considerata una sorta di compromesso ottimale per molti impianti termici e fluidodinamici, in quanto coniuga relativa semplicità e stabilità con l'accuratezza nel lungo periodo. La parte proporzionale garantisce una risposta immediata alle variazioni (più è grande l'errore, più si reagisce), mentre la parte integrale fornisce la "spinta" extra necessaria a raggiungere esattamente il setpoint nel tempo. Un controllore PI ben tarato riduce al minimo le oscillazioni e mantiene il controllo privo di errore statico.

Per esempio, consideriamo la regolazione della temperatura di mandata di una caldaia modulante: un PI monitorerà la differenza tra temperatura mandata e setpoint, aprendo il gas burner in modo proporzionale all'errore e contemporaneamente integrando l'errore per compensare qualsiasi scostamento prolungato. Così, se inizialmente la mandata è molto più bassa del setpoint, l'azione P dà un'ampia apertura; man mano che la temperatura si avvicina al setpoint, l'azione P si riduce, ma se la mandata tende ad assestarsi anche solo 1-2 °C sotto il target, l'integrale accumula quell'errore minuto dopo minuto finché fornisce abbastanza incremento da colmare la differenza. Alla fine, la temperatura di mandata si stabilizzerà esattamente al valore voluto.

L'uso dell'integrale richiede alcune attenzioni. Un integratore troppo aggressivo (K_i alto) può causare sovrallungamento o instabilità: poiché continua ad aumentare l'uscita finché c'è errore, rischia di "andare oltre" se il sistema risponde lentamente (fenomeno noto come integral windup, quando l'integratore accumula troppo). Pertanto i controllori PI reali includono spesso anti-windup e limiti sull'azione integrale. Inoltre, l'integrale rallenta leggermente la risposta ai disturbi improvvisi rispetto a un P secco, poiché agisce in base all'area sotto la curva di errore piuttosto che sull'errore istantaneo. Nonostante ciò, con un tuning appropriato (tempo integrale calibrato sui tempi di risposta dell'impianto) questi effetti indesiderati sono minimizzati.

In conclusione, **la logica PI è lo standard di fatto in molti controlli HVAC: termostati digitali, PLC e BMS spesso implementano di default controllori PI per temperatura, umidità, pressione, portata, ecc.** Questo perché, come afferma un principio ingegneristico, "se non hai ragioni particolari per fare altrimenti, usa un controllore PI" – un P puro lascerebbe errore a regime, e aggiungendo l'integrale lo si elimina. Il PI offre così un controllo stabile e accurato nella maggior parte dei sistemi comuni.

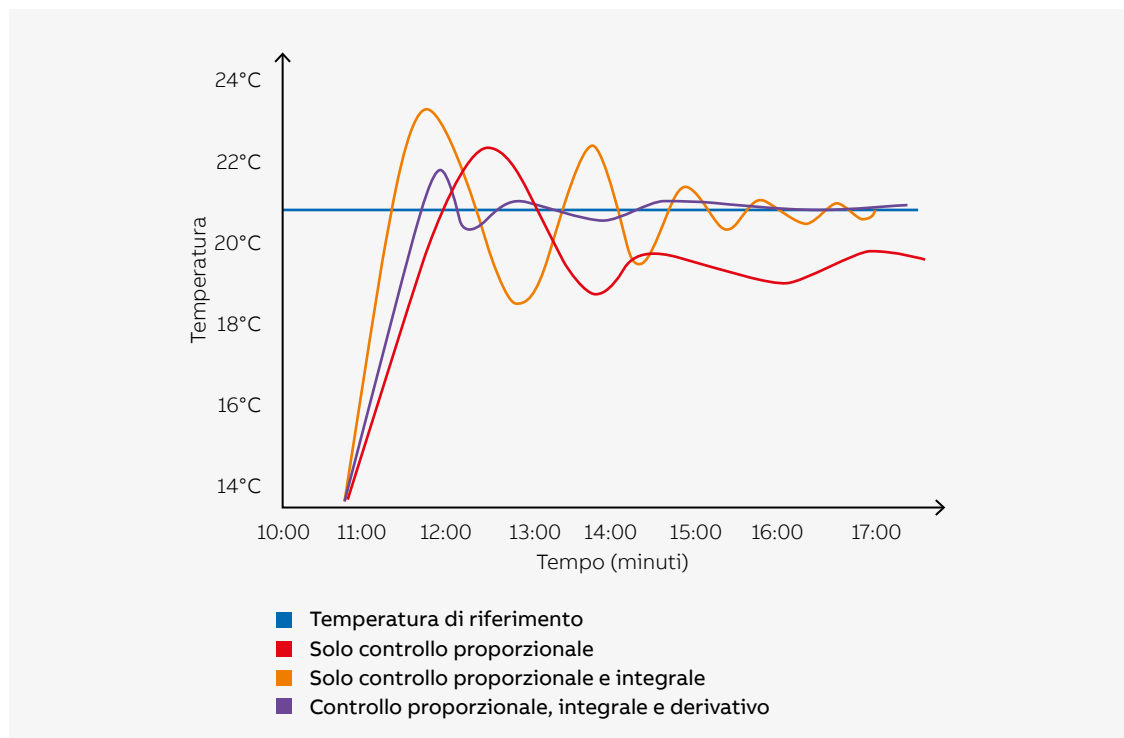
5.5. Controllo Proporzionale-Integrale-Derivativo (PID)

Il controllo PID estende il PI aggiungendo anche un'azione Derivativa. La formula completa diventa:

03 Formula

$U = K_p * E + K_i * \int E \, dt + K_d * dE/dt$ (dove K_d è il coefficiente derivativo).

22 Confronto fra comportamenti di diversi controllori: P, PI, PID



La parte derivativa fornisce un contributo proporzionale alla velocità di variazione dell'errore. In sostanza, il termine D agisce come un freno anticipatore: reagisce ai cambiamenti dell'errore, applicando una correzione tanto più grande quanto più rapida è la variazione. Questo aiuta ad attenuare l'overshoot e a migliorare la prontezza del controllo. Ad esempio, se la temperatura di un locale sta salendo velocemente verso il setpoint, la componente D rileva la forte pendenza (derivata) e riduce in anticipo l'uscita del riscaldamento, prevenendo un eccesso di temperatura prima che accada.

Il PID, combinando tutti e tre i tipi di azione (P, I e D), è il regolatore più completo e flessibile. Variando il "peso" relativo di ciascun termine (i parametri K_p , K_i , K_d), si può adattare il comportamento del controllo praticamente a qualsiasi esigenza. Proprio per questa versatilità, il PID è diffusamente considerato il regolatore standard nell'industria. Anche nei sistemi HVAC, molti controllori digitali offrono la modalità PID. In teoria, con i giusti valori di tuning, un PID può ottenere prestazioni migliori di un PI, specialmente in sistemi con dinamiche complesse (ritardi, grandi inerzie, carichi variabili). Il termine derivativo aiuta a reagire più rapidamente ai disturbi e alle variazioni, migliorando la stabilità del sistema e riducendo il tempo di assestamento.

Nella pratica HVAC, però, l'uso effettivo del D è spesso moderato. Molti loop reali operano di fatto in modalità PI (K_d impostato a zero o molto basso). Il motivo principale è che le grandezze ambientali tendono ad avere rumore e disturbi sui segnali: sensori di temperatura, pressione o umidità hanno piccole fluttuazioni, letture non perfettamente stabili. L'azione derivativa, calcolando la pendenza dell'errore, può amplificare proprio questi segnali ad alta frequenza (rumore), producendo uscite instabili. C'è un detto tra i controllisti: "la D sta per Don't", a suggerire cautela con l'uso del termine D, perché derivare segnali reali spesso significa derivare rumore.

Nonostante ciò, il D torna utile in alcuni casi, ad esempio sistemi molto lenti o con elevata inerzia. Un caso tipico: un grande forno industriale (o un enorme volume d'aria) con forte inerzia termica; qui un PID completo con un po' di derivativa può prevenire sovraelevazioni significative quando finalmente la temperatura inizia a muoversi. In alcuni controlli di velocità dei ventilatori o pressione nei condotti, una piccola azione D aiuta a smorzare oscillazioni rapide. L'importante è filtrare il segnale (spesso i PID digitali prevedono un filtro passa-basso sul contributo D) e scegliere un K_d adeguato. In sintesi, il PID offre

il massimo controllo teorico, ma non è sempre necessario complicare il loop con la derivativa se il PI già fornisce prestazioni soddisfacenti o se i sensori sono rumorosi. Molti progettisti preferiscono partire con un PI e aggiungere D solo se serve effettivamente. D'altra parte, nulla vieta di configurare comunque un PID: se la parte D non è utile, la si può impostare a zero, ottenendo di fatto un PI; ma averla disponibile permette di attivarla qualora le condizioni lo richiedano.

In conclusione, **P, PI e PID rappresentano la famiglia classica dei controlli regolatori in retroazione**. Riassumendo i loro effetti: la **P dà reazione proporzionale all'errore** (accorcia le oscillazioni ma da sola lascia offset), la **I elimina l'errore statico** (ma può introdurre ritardi e overshoot se eccessiva), la **D anticipa la risposta frenando i cambiamenti rapidi** (ma amplifica il rumore). Il PID completo, se ben tarato, può offrire un controllo molto preciso e stabile anche in situazioni difficili, ed è per questo un riferimento nell'automazione HVAC.

5.6. Logiche di controllo adattative

Per controllo adattativo si intende una logica capace di adattare sé stessa nel tempo in base al comportamento del sistema controllato. **In un controllore adattativo, i parametri di controllo non sono fissi ma cambiano automaticamente quando le condizioni operative variano o se il modello iniziale era impreciso.** Lo scopo è mantenere prestazioni ottimali anche al variare delle caratteristiche del processo.

Un tipico **esempio di controllo adattativo è il PID auto-ottimizzante**: il sistema monitora la risposta dell'impianto e ritocca continuamente i valori di K_p , K_i , K_d per compensare variazioni (ad esempio, un impianto HVAC può avere dinamiche diverse in estate vs inverno, o un ventilatore può cambiare comportamento se i filtri sono sporchi). Mentre un PID classico con taratura fissa può risultare perfetto in certe condizioni e meno efficace in altre, un PID adattativo "impara" e si aggiorna, mantenendo il controllo accurato. Alcuni controllori commerciali includono funzioni di self-tuning o auto-apprendimento: ad esempio all'avvio possono eseguire una procedura di oscillazione controllata per stimare la risposta dell'impianto e settare automaticamente i parametri PI/PID ottimali.

In generale, possiamo definire adattativa una strategia di controllo che impiega meccanismi di auto-taratura o ri-apprendimento per far fronte a deviazioni impreviste dalle condizioni di progetto. Tipicamente, un controllore adattativo incorpora strumenti di identificazione del sistema: utilizza i dati raccolti dai sensori durante il funzionamento per ricalibrare periodicamente i parametri del controllore o il modello del sistema. In questo modo, se nel tempo il comportamento dell'impianto cambia (per guasti, invecchiamento, variazione di carichi termici, modifiche strutturali, ecc.), il controllo si "aggiorna" da sé e continua a operare in modo efficiente. Questo è in contrasto con i controlli tradizionali statici, che una volta tarati restano con quei parametri e possono degradare le prestazioni se lo scenario muta.

Un caso applicativo interessante delle logiche adattative è l'uso di algoritmi di intelligenza artificiale e machine learning in HVAC. Si è visto che tali approcci adattativi possono portare a incrementi di performance notevoli, con risparmi energetici, maggiore stabilità e precisione nel controllo.

L'impiego di logiche adattative è particolarmente utile quando:

- **Il sistema controllato è altamente non stazionario**, ovvero i suoi parametri cambiano nel tempo (ad esempio un edificio con uso variabile, o un processo con dinamiche differenti in base alla stagione).
- **Non è disponibile un modello accurato a priori**, oppure realizzare una taratura fissa robusta è difficile. L'adattivo allora "si arrangia" a trovare la miglior regolazione.
- **Si vuole automatizzare la messa a punto del controllo**, evitando lunghe sessioni di tuning manuale. In impianti complessi con molti loop, un controllo auto-tarante fa risparmiare tempo al system integrator.
- **Sono richieste prestazioni elevate e consistenti** nonostante incertezze e disturbi: l'adattivo può reagire a condizioni inaspettate meglio di un fisso.

Da notare che **esistono vari gradi di adattatività: dalla semplice variazione dei parametri PID** (gain scheduling, ad esempio cambiando i parametri in funzione di certe condizioni note, come temperatura esterna o modalità estate/inverno) **fino ad arrivare a controllori completamente auto-adattanti** basati

su reti neurali o controllo fuzzy che ridefiniscono la propria logica di intervento. Tutte queste rientrano nel concetto di “controllo adattativo” sebbene con complessità crescenti.

In sintesi, il **controllo adattativo rende il sistema “intelligente” e capace di apprendere**. Il prezzo da pagare è una maggiore complessità algoritmica e la necessità di monitoraggio continuo. Ma nei contesti dove efficienza e precisione sono fondamentali, l'adattativo rappresenta il futuro della regolazione HVAC, spesso in combinazione con logiche predittive (si parla infatti di strategie combinate adaptive-predictive nei moderni edifici intelligenti).

5.7. Quando utilizzare ciascuna logica di controllo

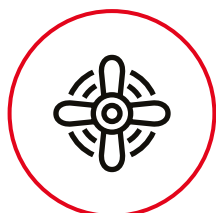
Data la varietà di logiche (On/Off, P, PI, PID, Predittivo, Adattativo), come scegliere la più adatta? La decisione dipende dalle caratteristiche dell'impianto, dagli obiettivi di comfort/efficienza e dalla complessità che si è disposti a gestire. Di seguito riepiloghiamo quando è meglio usare ciascuna logica, considerando inerzia termica, richieste di comfort e tempi di risposta del sistema:

- **Controllo On/Off** – Indicato per sistemi a elevata inerzia o con forte smorzamento naturale, dove le oscillazioni indotte dall'on/off risultano piccole o accettabili. Utile anche quando la precisione richiesta è bassa o per dispositivi che possono solo accendersi/spegnersi. Esempi: riscaldamento a pavimento (molto inerziale), piccoli compressori frigoriferi, resistenze elettriche on/off, controllo di semplice caldaia domestica. Si preferisce on/off se si vuole massima semplicità e costi ridotti, e se un'oscillazione di qualche grado è tollerabile. Evitare l'on/off puro in sistemi molto reattivi (bassa inerzia) o dove comfort termico stretto è richiesto, perché causerebbe continui overshoot e oscillazioni rapide.
- **Controllo Proporzionale (P)** – Oggi è raro usarlo da solo. Può trovare impiego in sistemi dove un piccolo errore a regime è accettabile e si vuole evitare la complessità dell'integrale, oppure in cascata con altri controlli. Richiede che il sistema sia sufficientemente stabile con guadagni elevati. Un esempio potrebbe essere un controllo di portata d'aria in cui un leggero errore (offset) non crea problemi, oppure laddove l'azione integrale potrebbe causare instabilità per lunghi ritardi. In generale però, se si ha la possibilità, si tende a preferire un PI perché elimina l'errore statico.
- **Controllo PI** – La scelta predefinita nella maggioranza dei casi HVAC standard. È adatto per quasi tutti i sistemi con dinamica moderata, dove serve raggiungere il setpoint con precisione ma senza esigenze di risposta ultrarapida. Ideale quando l'inerzia del sistema non è troppo elevata (o comunque gestibile senza anticipazione derivativa) e si vuole un buon compromesso tra semplicità e prestazioni. Esempi: controllo temperatura ambiente in uffici, controllo portata in un circuito idronico, pressione in un condotto, umidità relativa in un museo, ecc. In assenza di motivi specifici, un PI ben tarato garantirà comfort e stabilità più che sufficienti nella maggior parte degli impianti HVAC tradizionali.
- **Controllo PID** – Indicato per sistemi più complessi o critici, ad esempio con tempi di risposta molto rapidi (dove un'inerzia bassa può portare a overshoot, mitigabile dalla derivativa) oppure molto lenti (dove la derivativa aiuta ad anticipare) o con dinamica variabile. In generale, si può provare un PID completo quando un PI non riesce a dare risultati soddisfacenti: ad esempio, in un controllo di temperatura di mandata aria dove si osserva overshoot all'avviamento, l'aggiunta di D può migliorare la situazione. Utile anche in alcuni controlli di velocità di motori o compressori con rapidi transitori. Attenzione al rumore: usare il PID se il segnale è abbastanza pulito, altrimenti limitare D. Il PID richiede un tuning accurato (magari con metodi come Ziegler-Nichols o altri) e maggior attenzione, quindi impiegarlo quando si ha esigenza di massima precisione e tempi di assestamento brevi, e si dispone delle competenze per regolarlo.
- **Logiche Adattative** – Da valutare quando il sistema è soggetto a cambiamenti significativi nel tempo o incertezze. Ad esempio, in un impianto industriale HVAC con processi variabili, o in edifici multiuso dove i pattern di utilizzo cambiano, un adattivo garantisce prestazioni costanti. Anche utile quando non si è sicuri dei parametri: un controllo adattativo “impara” sul campo e quindi è preferibile se la modellazione è difficile. Se si dispone di controllori avanzati con auto-tuning, conviene usarli per risparmiare tempo di taratura. Inoltre, in impianti dove si vuole il top di efficienza continuamente (p.es. data center, laboratori con condizioni stringenti), l'adattivo può spremere il massimo adeguandosi alle condizioni

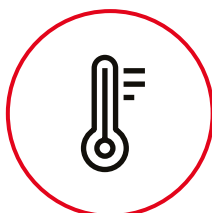
operative reali. Viceversa, in contesti semplici e stabili, un adattivo può essere eccessivo: ad esempio per un impiantino domestico, tarare un PI una volta è sufficiente, non serve che “impari” ogni giorno. Quindi riservare le logiche adattative a quando c'è variabilità e richiesta di automazione spinta.

5.8. Esempi pratici di applicazione

Esaminiamo ora alcune applicazioni pratiche delle diverse logiche di regolazione in sottosistemi HVAC comuni: ventilazione, riscaldamento, raffreddamento e Unità di Trattamento Aria (UTA). Gli esempi di seguito illustrano come le logiche viste trovino impiego concreto e con quali benefici.



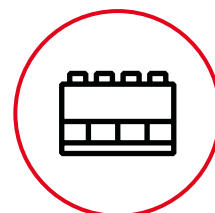
VENTILAZIONE



RISCALDAMENTO



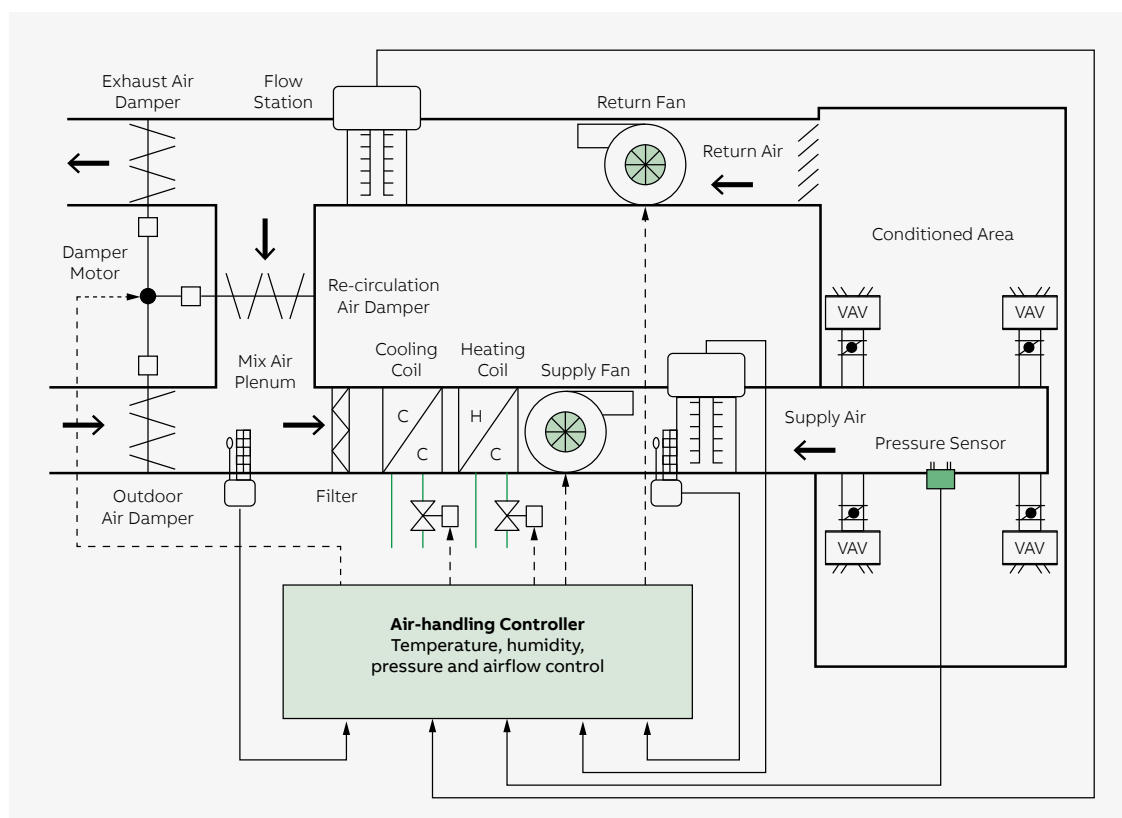
RAFFREDDAMENTO



UTA

5.8.1. Sistemi di ventilazione

Nei sistemi di ventilazione, tipicamente si controllano portate d'aria o pressioni in condotta. Un esempio classico è il controllo della pressione statica in un impianto a Volume d'Aria Variabile (VAV): qui un ventilatore principale deve modulare la sua velocità per mantenere una pressione costante nei canali, mentre le serrande VAV nelle zone si aprono e chiudono. La logica usata è quasi sempre PI o PID. Un sensore di pressione invia il segnale al controllore, il quale modula l'output di un inverter sul motore del ventilatore. Un PI ben tarato manterrà la pressione con scarti minimi al variare delle aperture delle serrande, evitando sia la sovrappressione (spreco energetico e rumore) sia la caduta di pressione che causerebbe insufficiente flusso d'aria in alcuni ambienti. L'azione integrale è fondamentale per azzerare l'errore di pressione, mentre un pizzico di derivativa può aiutare a reagire prontamente quando molte serrande si muovono contemporaneamente.



Un altro esempio in ventilazione è il controllo della qualità dell'aria tramite CO₂ in una sala conferenze. Qui l'obiettivo è modulare la portata di aria esterna immessa (tramite una serranda motorizzata o la velocità di un ventilatore) per mantenere la concentrazione di CO₂ sotto un certo limite (es. 800 ppm). All'inizio, se la sala è vuota, la serranda può restare quasi chiusa; quando i sensori rilevano un aumento di CO₂ per l'affollamento, il controllore apre gradualmente la serranda per aumentare la ventilazione. Per evitare continui on/off (che porterebbero a picchi e cadute di CO₂), si usa un PI controller che aumenta l'apertura in proporzione alla differenza tra CO₂ misurata e setpoint, e la integra se rimane troppo alta. Così la ventilazione è regolata in continuo in base al bisogno effettivo, migliorando la qualità dell'aria e risparmiando energia rispetto a un ricambio costante al 100%. In questo caso la reattività non deve essere eccessiva (il CO₂ varia con tempi dell'ordine di minuti), quindi PI è adeguato; un on/off darebbe oscillazioni di concentrazione sgradevoli.

Nei piccoli sistemi di estrazione aria (bagni, cucine), a volte si impiega ancora on/off comandato da termostati o igrostat: ad esempio l'estrattore parte quando l'umidità supera un certo valore e si ferma sotto un altro. Questo è accettabile in contesti molto semplici, ma laddove possibile anche un controllo proporzionale su un ventilatore EC (electronically commutated) dà benefici – regolando la velocità su più livelli si riduce rumore e si consuma meno, mantenendo l'umidità costante.

5.8.2. Sistemi di riscaldamento

Nel riscaldamento ambientale troviamo diversi livelli di controllo. Partendo dalla generazione di calore, immaginiamo una caldaia modulante che riscalda acqua per un impianto a radiatori. Il suo bruciatore può modulare tra 30% e 100% di potenza. Un controllo tipico è un PID sulla temperatura di mandata: la caldaia cerca di mantenere l'acqua di mandata a una temperatura impostata (che a sua volta può essere fissa o determinata da una curva climatica esterna). Il PID legge la temperatura dall'uscita della caldaia e regola la valvola gas/bruciatore. In molti casi, però, per la mandata caldaia un semplice PI è sufficiente, poiché l'inerzia dell'acqua e dello scambiatore è abbastanza alta da non richiedere il derivativo; l'integrale elimina errori anche in presenza di carico variabile (diversi radiatori aprono/chiedono). Alcune caldaie implementano internamente un autotuning PID per adattarsi all'impianto collegato.

Scendendo a livello di zone ambiente: consideriamo un impianto a radiatori con valvole termostatiche. Le valvole termostatiche meccaniche di per sé agiscono in modo modulante auto-regolato (hanno una cera che si espande/contrae in base alla temperatura locale, chiudendo il flusso quando fa caldo). Ma se parliamo di sistemi digitali, ad esempio un ufficio con più fan-coil o pannelli radianti, ogni zona potrebbe avere un termostato PI che controlla una valvola motorizzata di zona. Qui il PI è quasi sempre la scelta: mantiene la stanza al set-point compensando esattamente le perdite termiche. Se la stanza ha un'inerzia enorme (es. pavimento radiante in cemento), a volte si opta per un controllo on/off con modulazione PWM della valvola (accendi/spegni ma con cicli lunghi, comportandosi simile a un proporzionale a regime). Tuttavia i moderni sistemi radiante preferiscono comunque controlli PI con valvole motorizzate proporzionali per evitare di andare in overshoot (il radiante può sovraccaricare di calore difficile da smaltire poi).

Un caso a parte: unità a due stadi o caldaie multiple. Immaginiamo di avere due caldaie a condensazione in cascata. Il controllore potrebbe essere configurato con logica on/off per attivare la seconda caldaia quando la potenza richiesta supera la capacità della prima, mentre modula la prima. Questa combinazione di modulazione e on/off (staging) è comune per garantire efficienza: finché può, lavora una caldaia modulando (PID su mandata); se l'errore non si annulla e sale oltre una soglia, si accende la seconda (on/off). Una volta che il carico cala, la seconda viene spenta. La logica di sequenziamento on/off qui è gestita da un supervisore, mentre il controllo di base è modulante.

5.8.3. Sistemi di raffreddamento

Nei sistemi di raffreddamento HVAC (climatizzazione estiva), troviamo situazioni analoghe ma con fluidi freddi. Ad esempio un gruppo frigorifero (chiller) ad acqua refrigerata: molti chiller piccoli hanno compressori a velocità fissa e modulano la capacità tramite on/off di più compressori o attraverso valvole di espansione; chiller più grandi o moderni possono avere compressori a inverter. Il controllo della temperatura dell'acqua refrigerata in un chiller a inverter sarà in genere un PID (o PI) che legge la temperatura in uscita dall'evaporatore e regola la velocità del compressore. Un derivativo potrebbe aiutare se il chiller ha un ritardo notevole (massa d'acqua grande) per reagire più in anticipo quando sale la domanda, ma spesso un buon PI basta. Nei chiller a gradini (con più compressori on/off), la logica è più discreta: un controllo PI

lento può decidere quanti compressori tenere accesi (staging) per mantenere l'acqua vicino al set-point, eventualmente con logica di isteresi per non accendere/spegnere compressori troppo di frequente.

Negli impianti di climatizzazione a espansione diretta (DX, come i classici rooftop o split), la regolazione della capacità frigorifera può essere ottenuta modulando il flusso di refrigerante. Ad esempio, un VRF (Variable Refrigerant Flow) utilizza inverter sul compressore e valvole elettroniche di espansione: un sistema di controllo PID centrale assicura che le pressioni/temperature di evaporazione e condensazione seguano i valori ottimali, modulando la velocità dei compressori. Ogni unità interna ha a sua volta un PI locale sulla temperatura ambiente, che chiede più o meno capacità al sistema centrale. In apparecchi monoblocco più semplici, invece, troviamo on/off: il compressore parte quando la stanza supera il setpoint e si spegne quando scende sotto, con isteresi (come un comune condizionatore domestico non inverter). In questi, l'oscillazione di temperatura si sente: l'aria passa da troppo fredda a un po' calda ciclicamente. Gli inverter hanno eliminato questo fenomeno proprio introducendo logiche modulanti: il compressore rallenta man mano che ci si avvicina al setpoint, mantenendo la temperatura più costante.

Un elemento importante nei sistemi di raffreddamento è la deumidificazione. In un'UTA o in un condizionatore, l'obiettivo potrebbe essere controllare sia la temperatura sia l'umidità. Il controllo dell'umidità spesso è un PI su un setpoint di umidità relativa, che agisce sull'accensione del compressore o sulla portata d'aria. Ad esempio, in modalità sola deumidifica, un PI può variare la velocità del ventilatore dell'unità interna per aumentare o ridurre l'estrazione di umidità (aria più lenta > più deumidifica). D può non essere necessario perché i tempi di reazione dell'umidità sono lenti.

Insomma, nei sistemi frigoriferi e di climatizzazione la tendenza moderna è utilizzare la modulazione ovunque possibile (inverter, valvole proporzionali) e controlli PI/PID per stabilità e efficienza. L'on/off rimane solo per dispositivi economici o come backup/emergenza.

5.8.4. Unità di Trattamento Aria (UTA)

Le Unità di Trattamento Aria (UTA) raggruppano in un unico sistema diverse regolazioni: temperatura dell'aria di mandata, umidità, portata d'aria, pressione nei canali, qualità dell'aria, ecc. In un'UTA troviamo perciò un insieme di controlli coordinati, spesso implementati in un controllore programmabile dedicato. Vediamo le principali logiche:

- **Controllo temperatura di mandata:** L'UTA invernale ha una batteria di riscaldamento (acqua calda o elettrica), in estate una batteria di raffreddamento. Un classico è un controllo PI sulla temperatura di mandata dell'aria. Il sensore dopo le batterie legge la T di mandata, il PI modula la valvola dell'acqua calda o fredda (o l'accensione della resistenza) per mantenere la mandata al setpoint richiesto. Poiché l'aria reagisce abbastanza rapidamente mentre l'impianto (valvola, scambiatore) ha un po' di inerzia, il PI fa un ottimo lavoro; a volte si aggiunge un lieve D per prevenire overshoot all'avvio (quando si apre la valvola calda c'è un ritardo prima che l'aria si scaldi, il D può spingere meno per evitare di superare il target). Spesso questo loop è in cascata con le zone: ad esempio, se l'UTA serve più ambienti, ogni ambiente ha un controllo locale e c'è un anello superiore che adegua il setpoint di mandata in base alla richiesta più "esigente" (strategia high/low select). Anche in cascata, i singoli loop sono tipicamente PI.
- **Controllo umidità:** Se l'UTA ha umidificazione o deumidificazione attiva, si implementa un controllo (PI) sull'umidità di mandata o ambiente. Ad esempio, un umidificatore a vapore nell'UTA può essere modulato proporzionalmente per mantenere l'umidità relativa al 50%. Questo loop è difficile da tarare perché l'umidità ha inerzie lunghe; spesso si usa un I lento per evitare oscillazioni. La deumidifica generalmente è ottenuta raffreddando l'aria sotto la sua temperatura di rugiada: qui il controllo di umidità può agire sul setpoint di temperatura della batteria fredda (re-heat strategy), oppure su una valvola a tre vie che bypassa la batteria fredda.
- **Controllo portata/pressione:** L'UTA ha ventilatori di mandata e spesso di ripresa, dotati di inverter. Come discusso per la ventilazione, un PID su pressione in mandata mantiene costante la pressione in canale principale. Alternativamente, se l'impianto è a portata costante e l'UTA deve fornire esattamente $X \text{ m}^3/\text{h}$, un PID può mantenere la portata misurata (tramite flussometro o calcolo da velocità aria) al setpoint. In presenza di filtri, a volte c'è un controllo adattativo che aumenta gradualmente la velocità del ventilatore man mano che i filtri si sporcano (per mantenere la portata); quando si raggiunge il 100% di velocità a pieno carico, un allarme avvisa che i filtri sono intasati.

- **Controllo qualità dell'aria (aria primaria):** Le UTA che miscelano aria esterna e di ricircolo possono modulare le saracinesche di presa d'aria per garantire una certa portata di aria nuova o mantenere basse le concentrazioni di CO₂. Questo viene fatto con un PI basato sul sensore di CO₂ medio nei locali o nel ritorno d'aria: se la CO₂ cresce, il PI apre di più la serranda esterna (e chiude la ricircolo) per aumentare l'aria fresca. È una logica predittiva? Non esattamente, è ancora reattiva (feedback), ma è un controllo di qualità. In alcuni edifici però si può anticipare l'apertura delle serrande esterne prima che arrivi un gran numero di persone previsto (questo sarebbe un tocco predittivo basato su programmazione oraria eventi).

In un'UTA moderna tutti questi controlli avvengono simultaneamente e coordinati. Spesso si implementano funzioni di supervisione logica: ad esempio, se l'umidità è troppo alta e la temperatura è già controllata, potrebbe avere priorità la deumidifica (raffreddando di più e poi riscaldando l'aria se necessario). Queste logiche di supervisione sono spesso algoritmi con selettori, condizioni if/then, più che semplici PID – ma comunque usano i nostri controlli di base come componenti.

Le UTA di ultima generazione o sistemi BMS avanzati integrano anche ottimizzatori energetici: ad esempio logiche predittive che decidono quando accendere l'UTA al mattino per minimizzare consumo e garantire comfort all'apertura (optimal start/stop), oppure adattative che regolano i setpoint di mandata lentamente in base all'effettiva tenuta termica dell'edificio.

5.9. Integrazione delle logiche di regolazione nei controllori programmabili

Tutte le logiche descritte (dall'on/off ai PID, fino agli algoritmi predittivi) devono essere implementate su dispositivi di controllo reali. Nei moderni impianti HVAC, questo ruolo è svolto da controllori elettronici programmabili – ad esempio PLC dedicati HVAC, DDC (Direct Digital Controller) nei sistemi di Building Management System (BMS), o anche regolatori stand-alone per singole apparecchiature. Un marchio storico in questo campo è Cylon, i cui controllori (oggi parte di ABB) sono diffusi in molte automazioni di edifici. Vediamo come avviene l'integrazione pratica:

I controllori digitali offrono funzioni predefinite di regolazione. Ad esempio, i software di programmazione tool tipo CXpro^{HD} per Cylon mettono a disposizione blocchi funzione come “PID controller”, “Comparator On/Off”, “Scheduler”, “Sensor input”, che l'integratore può disporre graficamente o tramite codice per costruire la strategia di controllo desiderata. Un tipico schema per controllare una temperatura consiste nel leggere il valore dal sensore (ingresso analogico), sottrarlo al setpoint, passare l'errore a un blocco PID il quale modula un'uscita analogica collegata all'attuatore (valvola, inverter). Il programmatore può impostare i parametri del PID (banda proporzionale, tempi integrale e derivativo, ecc.) e inserire vincoli (limiti di output, condizioni di start/stop).

24 Esempio di blocchi funzionali CXPro

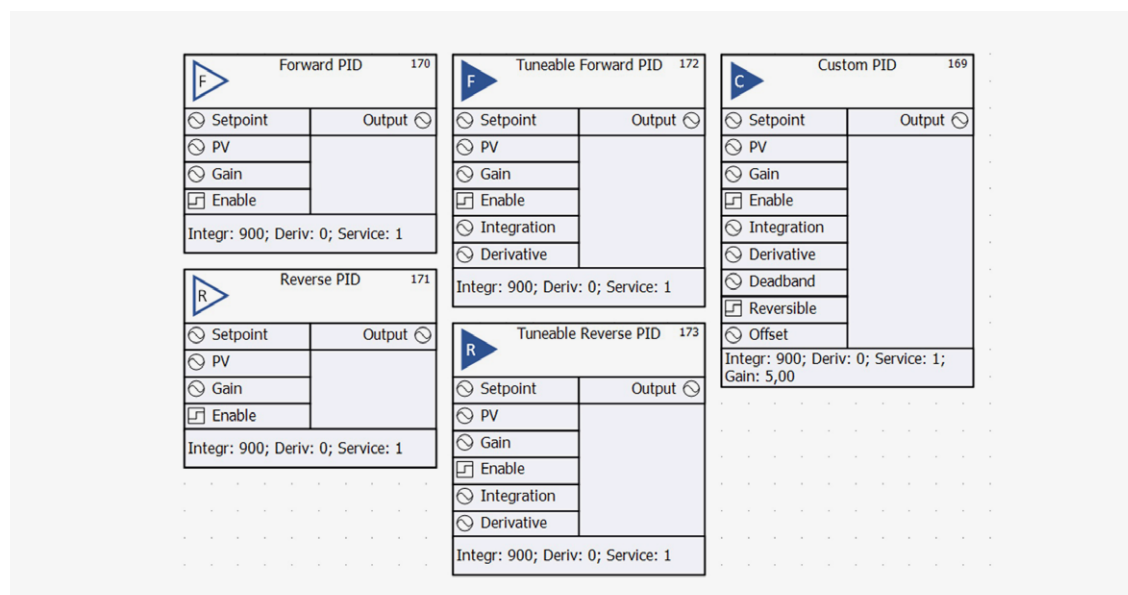
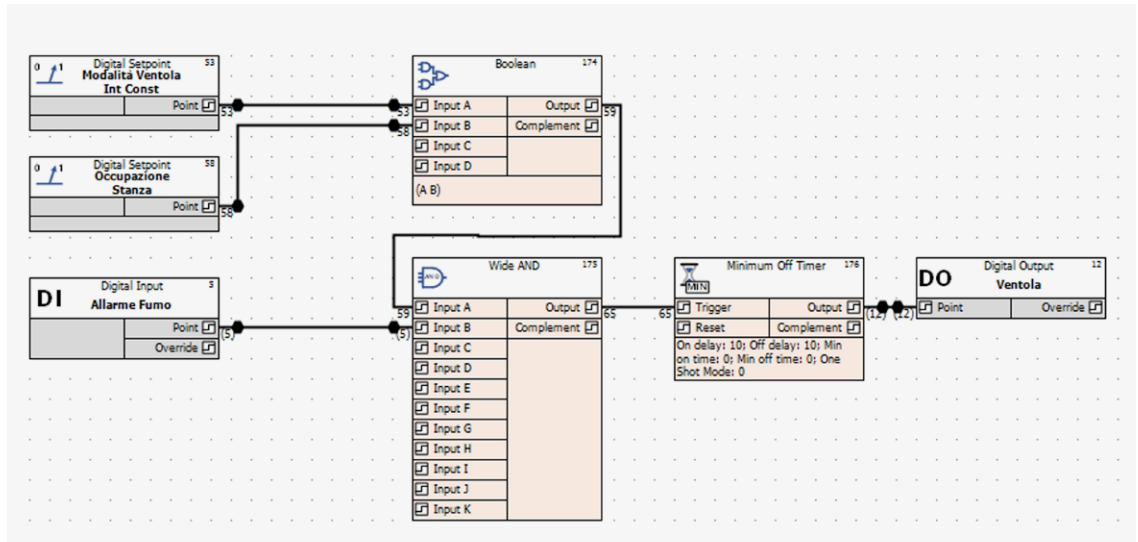


Figura:

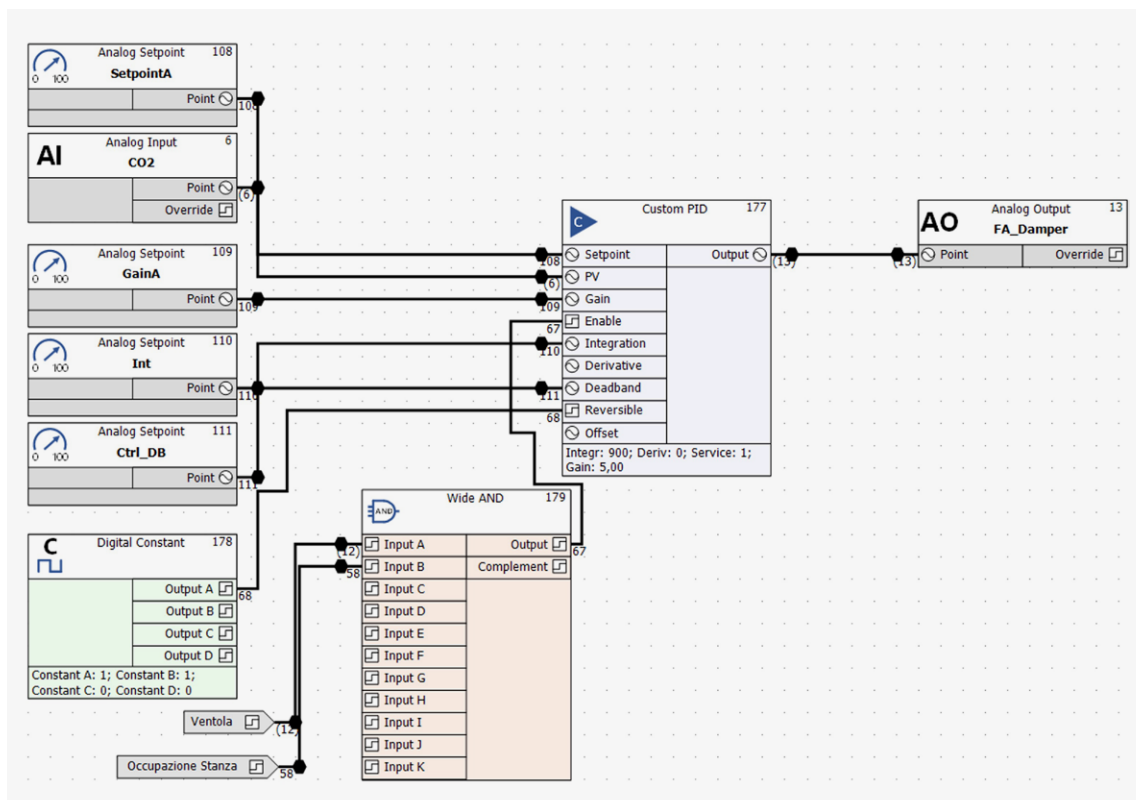
Spesso i controllori HVAC programmabili includono librerie specifiche: ad esempio, macro per il controllo di un'UTA intera – che dietro le quinte sono insiemi di PID e logica combinatoria già pronti. L'integratore può istanziare queste macro e poi settare i collegamenti ai sensori/attuatori fisici. Questo accelera lo sviluppo e assicura che le logiche standard (come anti-ice, recovery, ecc.) siano presenti. Nel caso di Cylon/ABB, esistono “macchine di controllo” modulari per VAV, fan-coil, caldaie, ecc., configurabili via parametri.

25 Esempio strategia:
allarme fumo



Un aspetto importante è l'interfaccia di supervisione: il BMS consente di monitorare in tempo reale le variabili (temperature, pressioni...) e gli output dei controllori, nonché di regolare i setpoint. Ad esempio, un facility manager tramite l'interfaccia può vedere la curva dell'errore e della risposta PID, e da lì ottimizzare la taratura. Alcuni controllori evoluti offrono anche auto-tuning integrato: l'utente avvia una procedura automatica e il dispositivo calcola da sé i parametri ottimali (questo è una forma adattativa semplificata).

26 Esempio strategia:
regolazione damper con
controllore PID



In sintesi, i controllori programmabili sono il cuore esecutivo delle logiche di regolazione: implementano i calcoli di P, PI, PID in cicli di scansione rapidi (tipicamente 1 secondo o meno per controlli HVAC), gestiscono ingressi/uscite, e applicano logiche booleane di sequenza. La flessibilità di programmazione (es. nei PLC HVAC come Cylon) consente di personalizzare la strategia per ogni impianto: dall'on/off semplice ai loop PID multivariabili. Per sfruttare appieno predittivo e adattativo, spesso si integrano livelli software aggiuntivi (edge computing o cloud AI), ma sempre con il controllore locale a fungere da attuatore finale delle decisioni.

Dal punto di vista di un system integrator, conoscere bene queste piattaforme è fondamentale: saper mappare teoria e schema logico nel software del controllore. Ad esempio, implementare un PID in Cylon significa inserire il blocco "Forward PID", impostare la variabile processo, riferimento, e uscita, poi legare magari l'uscita a una rampa di comando per evitare step bruschi sull'attuatore. Bisogna inoltre programmare le condizioni di abilitazione (es. un termostato generale on/off che abilita il PID solo quando l'impianto è in funzione), gestire gli allarmi (es. sonda guasta, allora bloccare il controllo), e così via. Insomma, la buona regolazione HVAC è un mix tra teoria dei controlli e pratica di automazione: richiede sia la comprensione dei principi (che abbiamo discusso) sia l'abilità di tradurli in soluzioni concrete con gli strumenti di controllo disponibili.

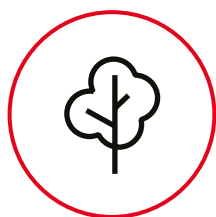
5.10. Vantaggi delle corrette logiche di regolazione: efficienza, comfort e automazione

L'adozione di logiche di regolazione adeguate porta notevoli vantaggi in un impianto HVAC, soprattutto in termini di efficienza energetica, comfort ambientale e grado di automazione raggiungibile.

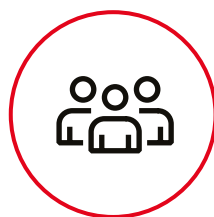
- Efficienza energetica:** Una regolazione fine permette di fornire solo l'energia necessaria quando e dove serve, evitando sprechi. Ad esempio, un PID ben tarato riduce le sovraelungazioni di temperatura (scaldare o raffreddare troppo un ambiente per poi dover correggere) e minimizza i tempi fuori setpoint – ciò si traduce in meno ore di funzionamento inutile dei generatori. Strategie predittive possono abbassare drasticamente i consumi ottimizzando l'uso degli impianti in base a previsioni e tariffe, evitando i picchi costosi e sfruttando l'inerzia termica. Le logiche adattative assicurano che l'impianto operi sempre con parametri ottimali anche se le condizioni mutano, mantenendo alta l'efficienza lungo tutto il ciclo di vita. Studi su edifici intelligenti hanno mostrato risparmi energetici significativi (anche 20-30%) grazie a controllo adattativo-predittivo rispetto a tarature fisse tradizionali. Inoltre, modulando i dispositivi invece di accenderli al 100% e spegnerli, spesso si migliora il COP (coefficiente di prestazione) di macchine frigorifere e il rendimento delle caldaie (specialmente quelle a condensazione che lavorano meglio a carico parziale continuo). In sintesi, investire in una buona logica di regolazione significa ridurre bollette e emissioni senza sacrificare le prestazioni.
- Comfort ambientale:** Dal punto di vista degli occupanti, un sistema di controllo ben progettato garantisce temperature stabili, umidità adeguata e buona qualità dell'aria, con minime fluttuazioni. Questo aumenta il comfort percepito: non ci sono correnti d'aria fredde improvvise, né periodi di caldo eccessivo perché il controllo ha overshootato. Ad esempio, una stanza mantenuta a 21 ± 0.5 °C da un PID sarà molto più confortevole di una che oscilla tra 19°C e 23°C con un on/off basico. Anche la qualità dell'aria beneficia: con logiche di domanda (DCV – Demand Controlled Ventilation) basate su sensori CO₂ e PID, si assicura sempre abbastanza aria fresca senza eccedenze. Le logiche avanzate poi possono migliorare il comfort prevedendo gli eventi (es. preriscaldando un auditorium prima che arrivino le persone) e adattandosi alle preferenze (un sistema adattativo può ad esempio "imparare" che in un certo ufficio alle 15:00 il sole crea 2°C di guadagno e regola di conseguenza). Tutto ciò rende l'ambiente indoor più salubre e gradevole, aumentandone anche la produttività in ambito lavorativo.

- **Automazione e controllo intelligente:** Implementare queste logiche equivale a elevare il livello di automazione dell'edificio. L'impianto HVAC diventa in grado di autogestirsi con logiche sofisticate, riducendo la necessità di intervento manuale. Un alto grado di automazione significa che il sistema risponde da solo ai cambiamenti (meteo, occupazione, guasti), spesso comunicando con altri sistemi (integrazione BMS completa: luci, accessi, schermature solari, ecc.). Per installatori e integratori, ciò rappresenta un valore aggiunto da offrire al cliente: un edificio "intelligente" che adatta climatizzazione e ventilazione automaticamente per massimizzare comfort ed efficienza. Dal punto di vista gestionale, un sistema ben regolato fornisce anche monitoraggio e diagnostica: i controllori registrano trend, consumi, tempi di funzionamento; questo aiuta a pianificare manutenzione predittiva (ad es. segnalare un ventilatore che gira sempre al 100% può indicare filtri ostruiti prima che diventi un problema grave). Inoltre, un controllo più dolce (modulante anziché on/off brusco) tende a preservare la vita utile delle apparecchiature meccaniche, riducendo stress termici e meccanici dovuti ad accensioni frequenti.

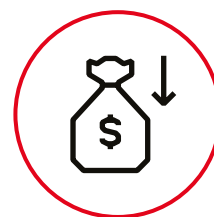
In definitiva, l'applicazione corretta delle logiche di regolazione HVAC comporta un triplice beneficio:



BENEFICIO AMBIENTALE:
taglia gli sprechi energetici
e quindi le emissioni



BENEFICIO SOCIALE:
crea ambienti indoor
confortevoli e salubri
per le persone



BENEFICIO ECONOMICO:
diminuisce i costi di esercizio
e manutenzione
dell'impianto

Come evidenziato da soluzioni recenti, combinare algoritmi adattativi e predittivi può ottimizzare in tempo reale le prestazioni dell'edificio, con risparmi energetici tangibili e miglioramento del comfort degli occupanti. Si può dire che **un sistema HVAC ben regolato è il fulcro di un edificio efficiente e intelligente. E man mano che la tecnologia avanza, queste logiche diventeranno sempre più importanti, integrandosi con l'IoT e l'intelligenza artificiale per raggiungere livelli di automazione ancora maggiori nei building del futuro.**

06

BACS: BUILDING AUTOMATION CONTROL SYSTEMS

INDICE

070	6.1. Cosa sono i BACS (Building Automation and Control Systems)
070	6.2. Il ruolo dei BACS negli impianti HVAC
071	6.3. Vantaggi dei BACS: comfort, efficienza, manutenzione e flessibilità
072	6.4. Funzioni chiave ed esempi pratici dei BACS negli HVAC
074	6.5. La gamma ABB Cylon per l'automazione HVAC
	6.5.1. Controllori principali: serie CBX e FBXi
	6.5.2. Moduli di espansione FLX
	6.5.3. Controllori per unità terminali (fan-coil, rooftop, ecc.): serie FBTi e CBT
	6.5.4. Controllori per terminali VAV: serie CBV e FBVi
	6.5.5. Supervisor e piattaforme di gestione: Aspect® e Matrix®
	6.5.6. Sensori ambientali ABB Cylon
	6.5.7. Architettura di un sistema BACS con ABB Cylon
082	6.6. Esempi pratici di applicazione

BACS: BUILDING AUTOMATION CONTROL SYSTEMS

6.1. Cosa sono i BACS (Building Automation and Control Systems)

I BACS (Building Automation and Control Systems) sono sistemi integrati di automazione che gestiscono in modo centralizzato e intelligente gli impianti di un edificio – dalla climatizzazione (riscaldamento, raffrescamento e ventilazione) all'illuminazione, fino ai sistemi di sicurezza e altri servizi tecnologici. In altre parole, un BACS è un insieme coordinato di hardware e software progettato per monitorare e controllare automaticamente le diverse apparecchiature presenti in un edificio. Attraverso sensori distribuiti, centraline di controllo e un'interfaccia di supervisione, il BACS acquisisce informazioni in tempo reale (ad esempio temperature, umidità, qualità dell'aria, presenze) e regola di conseguenza il funzionamento di caldaie, pompe di calore, unità di trattamento aria, ventilatori, valvole, serrande e altri attuatori dell'impianto HVAC.

Un aspetto importante dei BACS è la comunicazione tra i vari dispositivi. I componenti del sistema (sensori, termostati intelligenti, attuatori, controllori, interfacce utente) dialogano attraverso reti e protocolli standard dedicati alla building automation, come ad esempio BACnet, KNX, Modbus, ecc. Tali protocolli garantiscono l'interoperabilità tra dispositivi di diversi produttori e la possibilità di integrare facilmente nuovi componenti. In pratica, ciò significa che un sensore di temperatura può inviare i suoi dati a una centralina di marca diversa, oppure che il BACS può essere ampliato aggiungendo sensori o attuatori in futuro senza stravolgere l'impianto. Questa connettività diffusa è alla base della flessibilità e della potenza dei sistemi BACS.

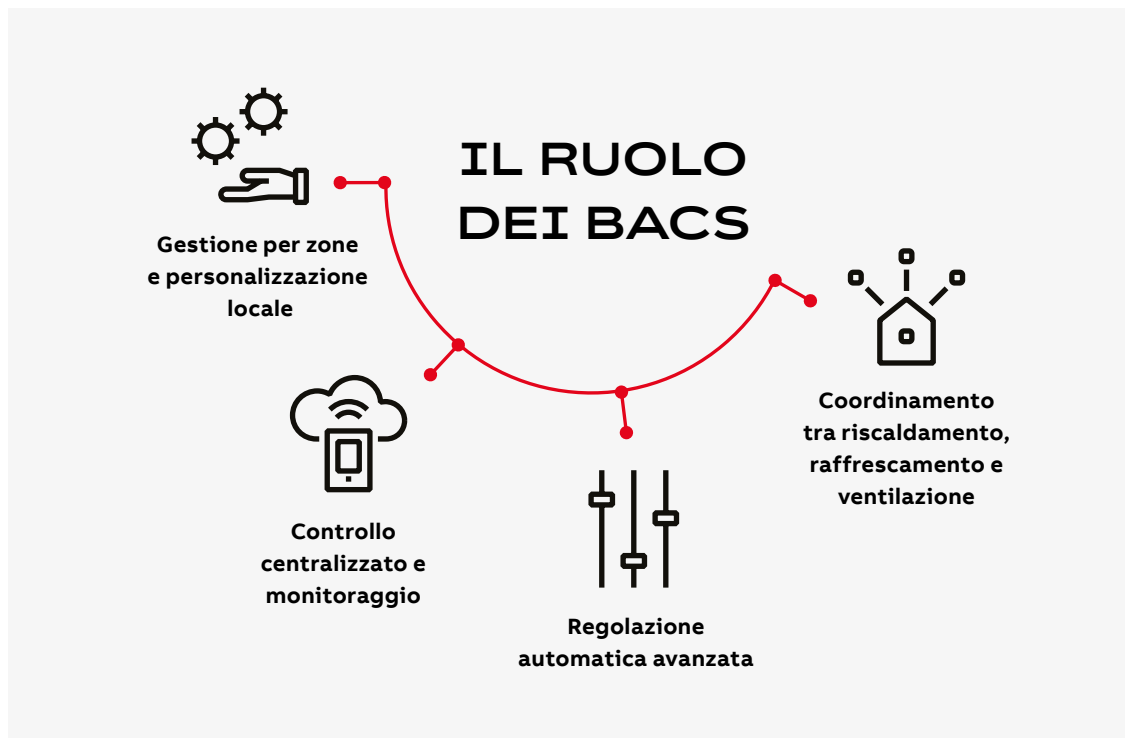
6.2. Il ruolo dei BACS negli impianti HVAC

All'interno degli impianti HVAC, i BACS svolgono il ruolo di centro di controllo unificato. In impianti tradizionali ogni apparecchiatura poteva essere gestita con controlli separati (cronotermostati locali, timer analogici, interruttori manuali, ecc.); **con un BACS, invece, tutti i sottosistemi HVAC sono integrati in un unico sistema di gestione coordinata.** Ciò comporta diversi benefici operativi:

Coordinamento tra riscaldamento, raffrescamento e ventilazione: il BACS mette in comunicazione i sistemi di riscaldamento (es. caldaie, pompe di calore, termosifoni o pannelli radianti), quelli di raffrescamento (chiller, VRF, UTA per aria condizionata) e i sistemi di ventilazione meccanica controllata. Ad esempio, il sistema di automazione può evitare che riscaldamento e aria condizionata operino simultaneamente in conflitto, oppure può regolare il flusso d'aria di ventilazione in base alla domanda di caldo/freddo nelle diverse zone. Tutto è armonizzato per lavorare all'unisono, mantenendo le condizioni interne ottimali con il minimo spreco di energia.

Controllo centralizzato e monitoraggio: tramite un'interfaccia centralizzata (tipicamente un software BMS su PC o tablet), l'operatore o il gestore dell'edificio può monitorare in tempo reale lo stato di tutti i componenti HVAC (temperature, setpoint, stati di funzionamento, allarmi) e inviare comandi o modificare impostazioni da un unico punto. Ad esempio è possibile visualizzare le temperature di tutte le zone di un edificio su una mappa, controllare se ci sono guasti o segnalazioni di manutenzione su qualche unità, oppure modificare i profili orari di funzionamento senza dover intervenire manualmente su singoli dispositivi in campo.

Regolazione automatica avanzata: il BACS esegue in autonomia logiche di controllo che vanno oltre la semplice regolazione locale. Utilizzando i dati dei sensori ambientali, il sistema adatta continuamente il funzionamento dell'HVAC alle condizioni attuali. Per esempio, se la temperatura esterna scende improvvisamente, il BACS può incrementare gradualmente la potenza del riscaldamento per compensare, mantenendo stabile la temperatura interna. Viceversa, in una giornata molto assolata, può attenuare il



riscaldamento o attivare schermature solari (se integrate nel sistema) per prevenire il surriscaldamento dei locali. Inoltre, grazie alla visione d'insieme, un BACS può stabilire priorità: se la richiesta di energia supera una certa soglia, il sistema può decidere di ridurre temporaneamente il carico di alcuni impianti non critici (ad esempio limitando il raffrescamento in aree secondarie) per evitare picchi di consumo. Questo tipo di controllo intelligente ottimizza sia il comfort che i consumi.

Gestione per zone e personalizzazione locale: nelle applicazioni HVAC estese, il BACS consente il controllo a zone. Ogni ambiente o zona climatizzata può avere sensori e attuatori dedicati, tutti orchestrati dal sistema centrale. In questo modo è possibile mantenere temperature differenziate a seconda delle esigenze (ad esempio 22°C negli uffici, 18°C nei corridoi, ecc.) e modulare la ventilazione in base all'occupazione di ciascuna zona. Gli occupanti, se autorizzati, possono interagire con il sistema (ad esempio tramite termostati intelligenti o app) per richiedere regolazioni di comfort locali, sapendo però che il BACS garantirà comunque che tali richieste rientrino nei limiti di efficienza prefissati dal gestore. Questo equilibrio tra centralizzazione e controllo locale assicurato dai BACS permette di ottenere ambienti confortevoli per gli utenti finali senza rinunciare all'ottimizzazione globale dell'impianto.

In sintesi, il ruolo del BACS in un impianto HVAC è paragonabile a quello di un direttore d'orchestra: **riceve informazioni da ogni "strumento" (le varie parti dell'impianto), decide come e quando farle agire e assicura che tutte seguano la stessa partitura (gli obiettivi di comfort ed efficienza impostati per l'edificio).**

6.3. Vantaggi dei BACS: comfort, efficienza, manutenzione e flessibilità

Implementare un sistema BACS all'interno degli impianti HVAC comporta una serie di vantaggi concreti per il gestore e gli occupanti dell'edificio. Di seguito riassumiamo i principali benefici in termini di comfort ambientale, prestazioni energetiche, facilità di manutenzione e flessibilità operativa:

Comfort ambientale migliorato: grazie ai BACS, le condizioni interne (temperatura, umidità, qualità dell'aria) possono essere mantenute più stabili e aderenti ai livelli di comfort desiderati. Il sistema reagisce in tempo reale ai cambiamenti, evitando sbalzi termici e garantendo un clima uniforme in tutti gli ambienti occupati. Inoltre, la possibilità di controllo a zone significa che ogni area dell'edificio può offrire il comfort adeguato alla sua destinazione d'uso: ad esempio ambienti ufficio alla temperatura ideale per lavorare, sale riunioni condizionate solo quando effettivamente utilizzate, ecc. Tutto ciò si traduce in maggiore benessere per gli occupanti, che risentono meno di situazioni di caldo/freddo eccessivi o di aria viziata, e possono anche personalizzare (entro certi limiti) le impostazioni secondo le proprie preferenze.

Maggiore efficienza energetica: uno dei motivi trainanti nell'adozione dei BACS è il risparmio energetico. Attraverso l'automazione intelligente, gli impianti HVAC forniscono solo l'energia necessaria quando e dove serve, evitando sprechi. Per esempio, un BACS ben programmato può ridurre automaticamente il riscaldamento o il condizionamento nelle zone non occupate e abbassare il setpoint di temperatura di qualche grado durante la notte o nei periodi di inattività, per poi ripristinarlo prima dell'orario di utilizzo. Può inoltre ottimizzare l'uso delle apparecchiature modulanti (come inverter, valvole motorizzate, ventilatori a velocità variabile) mantenendole nei punti di massimo rendimento. In termini pratici, diversi studi e casi applicativi mostrano che un edificio dotato di BACS avanzati può ottenere riduzioni significative dei consumi energetici rispetto a un edificio privo di automazione – spesso dell'ordine delle due cifre percentuali. Questo aumento di efficienza non solo abbassa le bollette energetiche, ma contribuisce anche a ridurre l'impatto ambientale dell'edificio, diminuendo le emissioni di CO₂ legate alla climatizzazione.

Manutenzione più semplice e preventiva: i BACS facilitano enormemente le attività di manutenzione degli impianti HVAC. Il sistema di supervisione monitora costantemente lo stato dei componenti e può rilevare anomalie o cali di prestazione. Ad esempio, se un sensore segnala una temperatura insolitamente alta in un circuito di raffreddamento, il BACS può generare un allarme indicando una possibile inefficienza o guasto (come un filtro intasato o un ventilatore guasto). Ciò consente ai tecnici di intervenire prima che il problema diventi critico. Inoltre, grazie allo storico dei dati registrati, è possibile fare analisi per manutenzione predittiva: identificare trend (ad esempio un rendimento calante di una caldaia nel tempo) e pianificare interventi mirati prima che avvenga un guasto. Tutto questo si traduce in minori fermo-impianto e in una vita utile più lunga per le apparecchiature, in quanto vengono utilizzate in modo più ottimizzato e sottoposte a stress ridotti. Anche le operazioni di manutenzione ordinaria risultano semplificate: avendo una visibilità centralizzata, il personale può verificare parametri, stati e log di allarme da remoto, decidendo con precisione dove e come intervenire nell'impianto. In breve, i BACS spostano l'approccio manutentivo da reattivo (intervenire solo a guasto avvenuto) a proattivo (intervenire su segnalazione o tendenza anomala), con benefici in termini di continuità di esercizio e costi di gestione.

Flessibilità e adattabilità gestionale: un sistema HVAC controllato da BACS è estremamente flessibile nell'adattarsi alle esigenze in evoluzione dell'edificio. Dal punto di vista gestionale, è molto più semplice apportare modifiche ai parametri di funzionamento: se cambiano gli orari di occupazione (ad esempio nuovi turni di lavoro, aperture straordinarie nel weekend) basta riconfigurare il calendario nel software, senza dover intervenire fisicamente sull'impianto. Analogamente, se un'area dell'edificio cambia destinazione d'uso (es. uffici che diventano sale conferenze, oppure vengono aggiunte nuove zone climatizzate), il BACS consente di integrare i nuovi requisiti nel sistema di controllo con poche modifiche software o aggiungendo qualche sensore/attuatore aggiuntivo in rete. Questa scalabilità è un grande vantaggio: l'impianto può crescere o cambiare nel tempo restando sotto un unico ombrello di gestione. Inoltre la flessibilità si vede anche nell'interoperabilità con altri sistemi: i BACS possono essere connessi a piattaforme di building management più ampie, integrandosi con il controllo accessi, l'illuminazione, gli allarmi antincendio, ecc., creando di fatto un edificio intelligente dove tutti i sottosistemi collaborano. In tal modo, il sistema HVAC può ad esempio entrare in modalità di risparmio se il sistema di prenotazione sale segnala che certe stanze non saranno utilizzate, oppure può aumentare la ventilazione se i sensori di qualità dell'aria indicano accumulo di CO₂ durante un meeting affollato. Questa capacità di adattamento rende l'operatività dell'edificio molto più reattiva e personalizzabile, garantendo sempre il miglior equilibrio tra comfort e utilizzo efficiente delle risorse.

6.4. Funzioni chiave ed esempi pratici dei BACS negli HVAC

Dopo aver visto i benefici generali, è utile entrare nel merito di come operano concretamente i BACS attraverso alcune funzioni chiave. Qui di seguito descriviamo quattro esempi pratici di funzionalità tipiche – la gestione oraria, i set-point dinamici, gli scenari e le logiche personalizzate – che illustrano in che modo un BACS può ottimizzare il funzionamento di un impianto HVAC nella quotidianità.

Gestione oraria degli impianti: una funzione fondamentale è la programmazione oraria e calendarizzata del funzionamento dei sistemi HVAC. Tramite il BACS si impostano time schedule dettagliati che stabiliscono accensioni, spegnimenti e modalità operative in base all'ora del giorno, ai giorni della settimana o a calendari speciali (es. festivi, stagionali). Ad esempio, in un edificio per uffici il sistema può ridurre automaticamente la climatizzazione nelle ore notturne o nei weekend quando gli ambienti sono vuoti, e riattivarla prima dell'orario di apertura al mattino per garantire il comfort al momento dell'arrivo delle

persone. Questa gestione oraria evita di mantenere acceso il riscaldamento o il condizionamento inutilmente quando non serve, con un notevole risparmio. Si possono anche definire periodi di ferie o scenari di spegnimento prolungato (ad esempio per chiusura estiva) durante i quali l'impianto opera al minimo indispensabile. Viceversa, nelle fasce orarie di occupazione il BACS assicura che la climatizzazione sia pienamente funzionante e che gli ambienti abbiano raggiunto le condizioni desiderate in anticipo. Tutto ciò avviene in modo automatico, senza richiedere intervento manuale quotidiano da parte di un operatore, riducendo quindi sia il rischio di errore umano sia il tempo da dedicare al controllo dell'impianto.

Setpoint dinamici e adattamento alle condizioni: oltre alle semplici accensioni/spegnimenti programmati, i BACS implementano logiche di variazione dinamica dei setpoint in base alle condizioni ambientali. Invece di mantenere un unico valore di temperatura di riferimento tutto il tempo, il sistema può modificarlo intelligentemente secondo regole predefinite. Un esempio classico è l'ottimizzazione climatica: il BACS modula il setpoint di mandata dell'acqua calda ai termosifoni in funzione della temperatura esterna, applicando le cosiddette curve climatiche. Se fuori fa più freddo, la caldaia aumenterà la temperatura di mandata; se le mezze stagioni sono miti, il sistema limiterà automaticamente la temperatura o spegnerà il riscaldamento. Un altro esempio di setpoint dinamico è l'anticipazione attiva: il BACS può avviare il raffrescamento o il riscaldamento in anticipo rispetto al normale orario di accensione se, ad esempio, le previsioni meteo indicano un'ondata di caldo imminente o un brusco calo termico. Così facendo, l'impianto "gioca d'anticipo" per prevenire discomfort, evitando picchi di lavoro all'ultimo momento. I setpoint possono essere adattati anche in base ad altre variabili: ad esempio, regolare la temperatura interna target di qualche decimo di grado in più se viene rilevata molta gente in un ambiente (che già genera calore proprio), oppure abbassarla se la qualità dell'aria (CO₂) sta peggiorando e serve aumentare la ventilazione. Tutte queste strategie dinamiche permettono di ottimizzare il clima interno minuto per minuto, mantenendo comfort e efficienza senza restare vincolati a parametri statici.

Scenari di funzionamento integrati: i BACS consentono di definire e richiamare scenari preimpostati, ossia combinazioni di impostazioni e stati operativi per diverse situazioni d'uso dell'edificio. Uno scenario è essenzialmente un profilo che coinvolge più impianti contemporaneamente. Ad esempio, possiamo avere lo scenario "Notte" in cui il sistema spegne le UTA (Unità Trattamento Aria), abbassa di qualche grado il setpoint del riscaldamento, chiude le serrande motorizzate dell'aria esterna e attiva eventualmente l'allarme antintrusione. Oppure lo scenario "Meeting" per una sala conferenze: all'ora di inizio riunione il BACS accende anticipatamente la climatizzazione di quella sala, porta la ventilazione al massimo ricambio d'aria, abbassa le tapparelle per ridurre il sole diretto e imposta l'illuminazione su un livello adeguato per proiezioni. Una volta terminato l'evento, con un singolo comando si può tornare allo scenario "Standard" in cui tutte le impostazioni rientrano ai livelli normali di esercizio. Questi scenari possono essere attivati manualmente dall'utente (es. tramite pulsanti dedicati sul software di supervisione o su un touch panel in sala) oppure automaticamente, su base oraria o al verificarsi di certe condizioni. Ad esempio, uno scenario di Emergenza può essere collegato al sistema antincendio: in caso di allarme, il BACS apre tutte le serrande di ripresa fumo, spegne climatizzazione e forzature di aria, accende l'illuminazione di emergenza e sblocca le uscite. Grazie agli scenari, l'edificio reagisce in maniera coordinata e immediata a specifiche esigenze, applicando una serie di comandi multipli senza doverli impartire uno ad uno. Ciò aumenta la rapidità e la sicurezza della gestione impiantistica in situazioni particolari, ma anche la comodità nella routine (basta pensare allo scenario "uscita dall'ufficio" che con un solo click spegne tutto ciò che non serve).

Logiche personalizzate di controllo: oltre alle funzionalità standard, i BACS offrono la possibilità di implementare logiche di controllo personalizzate create su misura per le esigenze di un dato edificio o utente. Questo significa che un system integrator o un progettista può programmare regole ad hoc all'interno del sistema. Alcuni esempi: si può impostare una logica per cui se la qualità dell'aria indoor scende sotto una certa soglia allora il sistema aumenta automaticamente la portata di aria di ventilazione o attiva il ricambio forzato; oppure, se la richiesta termica supera un certo livello allora attiva una seconda caldaia (logica di backup o di sequenziamento dei generatori). Un'altra logica personalizzata potrebbe gestire l'alternanza di utilizzo di più unità in parallelo, ad esempio in una sala macchine con due pompe: il BACS può far sì che ogni settimana venga utilizzata come primaria una pompa diversa, in modo da uniformare l'usura (funzione di rotazione delle apparecchiature). Ancora, si possono creare logiche di ottimizzazione economica, ad esempio diminuendo temporaneamente la potenza di riscaldamento se scatta una tariffa energetica di picco, privilegiando l'efficienza economica oraria. Le possibilità sono praticamente illimitate: grazie ai linguaggi di programmazione semplificati disponibili nei BACS (spesso a blocchi funzionali o a script), si può modellare il comportamento dell'impianto HVAC in modo molto preciso e cucito attorno alle necessità dell'utenza o del processo produttivo servito dall'edificio. Questa capacità di personalizzazione

è uno dei fattori che rendono i BACS strumenti potenti e versatili, capaci di andare oltre le strategie di controllo predefinite dei singoli apparecchi e di realizzare funzioni innovative. Per il tecnico e il progettista, significa poter ingegnerizzare soluzioni su misura per massimizzare performance e risparmi in ogni scenario applicativo.

In conclusione, i BACS nei sistemi HVAC rappresentano l'evoluzione naturale dei tradizionali controlli: dall'intervento manuale alla gestione automatizzata e intelligente. Per un lettore tecnico-commerciale come un system integrator, un progettista o un tecnico HVAC, comprendere e saper applicare i BACS significa poter offrire impianti più performanti, affidabili e adattabili. Abbiamo visto come tali sistemi migliorino il comfort degli ambienti, ottimizzino i consumi energetici, semplifichino la manutenzione e forniscano una flessibilità operativa prima impensabile. Grazie a funzioni come la programmazione oraria, i setpoint dinamici, gli scenari integrati e le logiche personalizzate, un impianto HVAC dotato di BACS non è più un insieme di macchine che lavorano isolatamente, ma un ecosistema coordinato al servizio del benessere e dell'efficienza. In un mercato e in un contesto normativo che spingono sempre più verso edifici "intelligenti" ed ecosostenibili, i BACS costituiscono una componente chiave: il mezzo attraverso cui la tecnologia digitale si integra con l'impiantistica tradizionale, portando la gestione del clima indoor a un nuovo livello di qualità e controllo.

6.5. La gamma ABB Cylon per l'automazione HVAC

ABB realizza le soluzioni BACS per edifici tramite la propria gamma Cylon, che offre un insieme completo di controllori liberamente programmabili, moduli di espansione I/O, sensori ambientali intelligenti e piattaforme software di supervisione. Questa gamma consente di coprire tutte le esigenze di automazione degli impianti HVAC, dalla gestione di sistemi centralizzati complessi (centrali termiche, gruppi frigo, unità di trattamento aria, ecc.) fino al controllo puntuale di unità terminali in ambiente (fan-coil, unità VAV, pompe di calore, etc.), il tutto integrato in un'architettura BACS unificata e interoperabile. Di seguito descriviamo i principali componenti della gamma ABB Cylon dedicati agli impianti HVAC e il loro ruolo.

6.5.1. Controllori principali: serie CBX e FBXi

I CBX e FBXi sono i controllori principali della linea ABB Cylon, destinati alla gestione di impianti HVAC centralizzati e di maggiore complessità. I modelli CBX (ad esempio CBX-8R8) comunicano su rete BACnet MS/TP (RS-485), mentre la serie FBXi (ad esempio FBXi-8R8) supporta nativamente BACnet/IP, offrendo connettività Ethernet. Questi controllori, liberamente programmabili, dispongono di I/O integrati e sono progettati per il controllo intelligente di apparecchiature HVAC di centrale come caldaie, gruppi frigoriferi, torri evaporative, sistemi di pompaggio, unità di trattamento aria (UTA) sia a portata costante che variabile, nonché unità rooftop package. Possono inoltre gestire anche sottosistemi elettrici (illuminazione, azionamenti, contatori) integrandoli nell'automazione dell'edificio.

27.A Serie CBX

27.B Serie CBXi



Questi controllori sono caratterizzati da potenza e flessibilità: supportano la comunicazione con protocolli multipli in parallelo (ad es. BACnet e Modbus), facilitando l'integrazione di diversi dispositivi e sistemi. Grazie alla struttura modulare, la capacità di I/O di un CBX/FBXi può essere ampliata tramite i moduli di espansione FLX (Field Level eXpansion) fino a 256 punti aggiuntivi per controllore. Ad esempio, un controllore base CBX-8R8 offre 8 ingressi universali e 8 uscite (configurabili come analogiche o digitali) e può essere esteso aggiungendo più moduli FLX fino a raggiungere 64 punti totali di controllo aggiuntivi sul campo. I modelli CBX/FBXi condividono lo stesso form factor e bus di espansione, e alcune varianti (suffisso "-H") integrano anche selettori Hand-Off-Auto (HOA) locali per azionare manualmente i punti I/O – caratteristica utile durante collaudi e manutenzioni.

Una tecnologia distintiva dei controllori Cylon è l'UniPut™, che consente di configurare via software ciascun punto I/O in modo flessibile sia come ingresso sia come uscita (analogico o digitale) in base alle necessità. Questo significa che gli stessi morsetti possono essere "riconfigurati" per assumere funzioni diverse (ad esempio convertire un'uscita analogica in un ingresso di temperatura) ottimizzando l'utilizzo dei punti disponibili e adattandosi facilmente a future modifiche dell'impianto. In sintesi, la serie CBX/FBXi rappresenta controllori BACS ad alte prestazioni ed espandibili, adatti a governare l'intero "cuore" degli impianti HVAC di un edificio.

6.5.2. Moduli di espansione FLX

I moduli FLX sono unità di espansione I/O che si collegano ai controllori CBX/CBXi per aumentarne il numero di punti controllabili. Fisicamente compatti e montabili su guida DIN accanto al controllore principale, i moduli FLX si connettono mediante un unico connettore che trasferisce sia il bus dati dedicato sia l'alimentazione, semplificando l'installazione ed evitando errori di cablaggio. Sono disponibili varie tipologie di moduli FLX, con combinazioni differenti di ingressi (es. analogici 0-10V, digitali dry contact, sensori di temperatura) e uscite (es. uscite analogiche 0-10V, uscite digitali a relè o a triac per comando diretto di carichi AC), permettendo di aggiungere in modo mirato le risorse I/O necessarie.

28 CBXi con moduli di espansione FLX



Il massimo che un singolo controllore FBXi (il modello FBXi-256) può gestire sono 16 moduli FLX, raggiungendo 256 punti I/O aggiuntivi oltre a quelli a bordo. Questa modularità offre un'elevata scalabilità: si può iniziare con la configurazione minima di I/O necessaria e successivamente espandere il sistema aggiungendo moduli FLX qualora l'impianto cresca o si aggiungano nuovi dispositivi da controllare. Il collegamento tra controllore e moduli FLX è di tipo plug-and-play, e l'intero "tratto" di moduli di un controllore forma un sistema compatto e integrato. In pratica, i moduli FLX permettono di personalizzare la capacità di I/O di ogni controllore principale in funzione delle esigenze specifiche dell'impianto, evitando sprechi (di punti inutilizzati) e allo stesso tempo mantenendo aperta la possibilità di futuri ampliamenti senza dover sostituire l'hardware esistente.

6.5.3. Controllori per unità terminali (fan-coil, rooftop, ecc.): serie FBTi e CBT

Per il controllo delle unità HVAC distribuite nei vari ambienti – spesso chiamate unità terminali perché forniscono il riscaldamento/raffrescamento direttamente nelle stanze – ABB Cylon offre sia controllori connessi in rete IP (serie FBTi) sia controllori su rete BACnet MS/TP (serie CBT). Questi dispositivi, detti **controllori unitari**, sono più compatti rispetto ai CBX/FBXi e **sono pensati per gestire apparecchiature singole (o piccole unità) localizzate in campo, mantenendo comunque la piena programmabilità e l'integrazione nel sistema BACS complessivo**. Tipicamente vengono utilizzati per **controllare fan-coil** (ventilconvettori), **unità packaged** (es. rooftop unit o unità compatte da tetto), **pompe di calore split**, **unità trattamento aria zonali di piccola taglia**, **chilled beams** (travi fredde) e in generale **ogni elemento HVAC autonomo** distribuito negli ambienti serviti.

FBTi Series (IP): La serie FBTi (parte della famiglia IP FLXeon) offre controllori BACnet/IP ad alte prestazioni e costo contenuto, progettati per applicazioni come fan-coil, travi fredde (chilled beams), pompe di calore e unità rooftop. Questi controllori comunicano nativamente su Ethernet BACnet/IP (sono BTL elencati come BACnet Building Controller) e sono disponibili in modelli con 9 punti I/O e 16 punti I/O, in modo da coprire sia unità terminali semplici sia unità con maggior numero di attuatori/sensori. Ad esempio, un FBTi a 9 punti può gestire un fan-coil a 2 tubi (con uscite per ventilatore e valvola, ingressi per termostato e sensore di temperatura), mentre il modello a 16 punti si presta a fan-coil/impianti a 4 tubi o unità con più elementi di controllo.

29 FBTi Series (IP) e
FusionAir



I controllori FBTi sono completamente programmabili tramite l'ambiente software CXpro^{HD} e supportano l'uso di librerie applicative predefinite: il system integrator può cioè caricare strategie già pronte per fan-coil, pompe di calore, etc., oppure creare logiche personalizzate da zero. Una caratteristica rilevante è la possibilità di integrare i sensori intelligenti FusionAir: sfruttando i dati di temperatura, umidità e CO₂ forniti da questi pannelli ambiente, un controllore FBTi può implementare funzioni avanzate di qualità dell'aria interna (IAQ), ad esempio modulando la ventilazione di un ambiente in base alla concentrazione di anidride carbonica (funzione di Demand Controlled Ventilation). Ciò consente di ottimizzare l'energia consumata dal sistema di ventilazione adeguando il ricambio d'aria solo quando effettivamente necessario, ad esempio aumentando l'afflusso di aria fresca in una sala riunioni affollata e riducendolo quando la sala è vuota.

CBT Series (MS/TP): In parallelo alla linea IP, ABB Cylon fornisce anche la serie CBT di controllori BACnet MS/TP per unità terminali. Le funzionalità sono analoghe ai FBTi, ma questi dispositivi comunicano sul campo tramite il bus RS-485 BACnet MS/TP e tipicamente si impiegano quando le unità in campo sono collegate a linee seriali (ad esempio per retrofit su sistemi esistenti BACnet MS/TP o in edifici dove non sia presente un'infrastruttura IP per i terminali). Un modello rappresentativo è il CBT-3T6-5R, un controllore con 14 punti I/O (3 uscite UniPut con triac, 6 ingressi universali e 5 uscite digitali a relè) pensato per il controllo diretto di unità come fan-coil, unità rooftop, pompe di calore, piccoli handling unit o altre apparecchiature HVAC compatte. Questo controllore dispone di relé di potenza in grado di pilotare direttamente circuiti elettrici degli apparati (es. resistenze o motori) senza bisogno di interfacce aggiuntive, semplificando l'installazione. Un altro esempio è il CBT-4T4-2U1R, un controllore da 11 punti I/O (4 uscite UniPut triac, 4

ingressi universali, 2 uscite UniPut analogiche e 1 uscita relè) ideale per fan-coil con ventilatore a velocità variabile (motore ECM) in quanto dotato di un relè di potenza dedicato per comandare direttamente il motore del ventilatore senza contattore esterno.

30 CBT Series (MS/TP)



Come i corrispettivi IP, anche i controllori CBT sono liberamente programmabili e supportano strategie pre-ingegnerizzate. In particolare, entrambi i modelli citati (CBT-3T6-5R e CBT-4T4-2U1R) accomodano strategie predefinite disponibili (ad esempio per fan-coil 2-tubi o 4-tubi, per pompe di calore, etc.) oppure possono essere riconfigurati con logiche custom tramite il tool CXpro^{HD}. Questa flessibilità permette di riutilizzare schemi collaudati per impianti comuni ma anche di personalizzare il controllo per unità con esigenze particolari. Grazie alla presenza capillare di controllori unitari (FBTi o CBT) distribuiti, il sistema BACS ABB Cylon consente di gestire in maniera puntuale ogni zona o ambiente dell'edificio: ad esempio ogni ufficio, aula o camera può avere il proprio microclima regolato indipendentemente secondo il setpoint desiderato e le condizioni effettive, assicurando comfort ottimale ovunque e una risposta immediata ai cambi di richiesta (occupazione, carichi termici solari, ecc.).

6.5.4. Controllori per terminali VAV: serie CBV e FBVi

Per gli impianti di ventilazione a portata variabile (VAV), impiegati tipicamente in edifici con gestione fine dell'aria primaria per zona, ABB Cylon offre i controllori della serie CBV (comunicazione BACnet MS/TP) e FBVi (comunicazione BAC-net/IP). Questi dispositivi gestiscono i terminali VAV – in pratica le serrande motorizzate e gli eventuali ventilatori locali che regolano il flusso d'aria verso un ambiente – mantenendo la portata d'aria richiesta in funzione del setpoint di temperatura/qualità aria di quella zona.

Un controllore VAV tipico, come il modello CBV-2U4-3T, include al suo interno un sensore di portata d'aria (differenziale di pressione) per misurare il flusso nel condotto ed è dotato di un attuatore integrato (in questo caso un motore Belimo DC) accoppiato alla serranda, così da formare un unico pacchetto pronto per l'installazione sul VAV box. È disponibile anche la variante CBV-2U4-3T-N priva di attuatore, che permette nei progetti di retrofit di riutilizzare gli attuatori VAV esistenti già montati sulle serrande, riducendo i costi di aggiornamento. Entrambi i modelli forniscono 2 uscite UniPut, 4 ingressi universali e 3 uscite digitali triac, sufficienti per comandare una serranda modulante, un piccolo ventilatore ed eventualmente una batteria di riscaldamento locale.

La serie CBV viene fornita con applicazioni precaricate e configurabili che coprono le tipologie più comuni di terminali VAV negli edifici commerciali. Ad esempio, sono disponibili configurazioni per VAV a solo raffreddamento, VAV con riscaldamento di ripresa (batteria di reheat) e/o con eventuale riscaldamento perimetrale aggiuntivo, VAV con ventilatore integrato in serie o in parallelo, sistemi di pressurizzazione di ambienti critici, e persino soluzioni dump box per scaricare eccessi di pressione. Queste librerie consentono un avvio rapido della regolazione VAV semplicemente selezionando e tarando l'applicazione appropriata. In ogni caso, i controllori CBV restano liberamente programmabili, quindi è sempre possibile creare o modificare le logiche tramite CXpro^{HD} qualora le sequenze standard non soddisfino esigenze particolari (es. strategie di ventilazione innovative).

Grazie ai dati provenienti dai sensori ambiente (temperatura, qualità aria, presenza) collegati, i controllori VAV Cylon possono implementare funzionalità evolute di ventilazione on-demand per migliorare comfort ed efficienza. Ad esempio, nei moduli CBV è possibile abilitare una logica di demand ventilation che, attraverso sensori di CO₂ e presenza, aumenta la portata d'aria in un ambiente affollato o la riduce al minimo in un ambiente vuoto, così da risparmiare energia mantenendo al contempo la qualità dell'aria entro i limiti ottimali. Il controllore può anche integrare il comando delle luci della stanza sulla base dell'occupazione, creando un ambiente intelligente a 360° e ulteriori risparmi.

La serie FBVi offre le medesime funzionalità dei CBV ma su rete IP. Ad esempio, il modello FBVi-2U4-4T (anch'esso dotato di 2 uscite UniPut, 4 ingressi universali e 4 uscite triac) è un controllore BACnet/IP progettato per terminali VAV singolo-duct o con ventilatore, con certificazione BTL come BACnet B-BC. La connessione in Ethernet permette di integrare questi dispositivi direttamente sull'infrastruttura IT dell'edificio, utile in edifici moderni cablati o con molti terminali distribuiti.

3.1 Serie FBVi



I controllori FBVi supportano nativamente tutte le funzioni di demand ventilation e integrazione di sensori aggiuntivi già descritte, analogamente ai CBV, per massimizzare l'efficienza energetica. Inoltre, grazie alla tecnologia UniPut, anche sui controllori VAV IP è possibile riconfigurare liberamente i punti I/O: ad esempio l'uscita di un VAV può essere utilizzata alternativamente per modulare una serranda secondaria, comandare una batteria di riscaldamento elettrica o leggere un segnale di pressione da un trasmettitore, il tutto senza cambiare hardware ma solo regolando il software. In sintesi, i controllori CBV/FBVi assicurano un controllo fine dell'aria in ogni zona dell'edificio, contribuendo in modo determinante sia al comfort microclimatico sia al contenimento dei consumi di ventilazione attraverso l'automazione avanzata delle portate variabili.

6.5.5. Supervisor e piattaforme di gestione: Aspect®

Oltre ai dispositivi sul campo, un sistema BACS completo prevede un livello superiore di supervisione software per il controllo centralizzato e l'ottimizzazione dell'intero impianto. ABB Cylon offre a tale scopo la piattaforma Aspect®, un sistema BEMS (Building Energy Management System) scalabile e multipiattaforma che funge da supervisore centrale per tutti i controllori sul campo. Aspect è una soluzione che integra in un unico ambiente tutte le funzioni di monitoraggio e governo dell'edificio: controllo in tempo reale dei dispositivi, supervisione grafica tramite interfaccia web, registrazione dei dati storici (trend di temperature, consumi, eventi), gestione degli allarmi e notifiche, programmazione di orari e calendari di funzionamento, e amministrazione della rete di controllori sottostanti. Il sistema offre connettività Internet sicura per l'accesso remoto e funzionalità di web server: grazie all'uso di tecnologie standard come VPN e firewall, gli operatori possono accedere ai dati dell'edificio in modo protetto da qualsiasi luogo, tramite PC o dispositivi mobili. In pratica, Aspect consente ai facility manager e ai gestori energetici un accesso continuo e immediato a tutte le informazioni critiche del BACS, permettendo di analizzare e ottimizzare le prestazioni dell'impianto HVAC anche da remoto. Da notare che Aspect implementa anche le funzioni di una BACnet Operator Workstation (B-OWS) complete e supporta l'integrazione di altri protocolli (come Modbus), garantendo quindi interoperabilità con vari sistemi di automazione edificio.

Il software di engineering Aspect-Studio completa la piattaforma, fornendo un ambiente grafico in cui il system integrator può sviluppare le logiche di alto livello, creare dashboard grafiche personalizzate per la supervisione e impostare report e analisi sui dati storici.

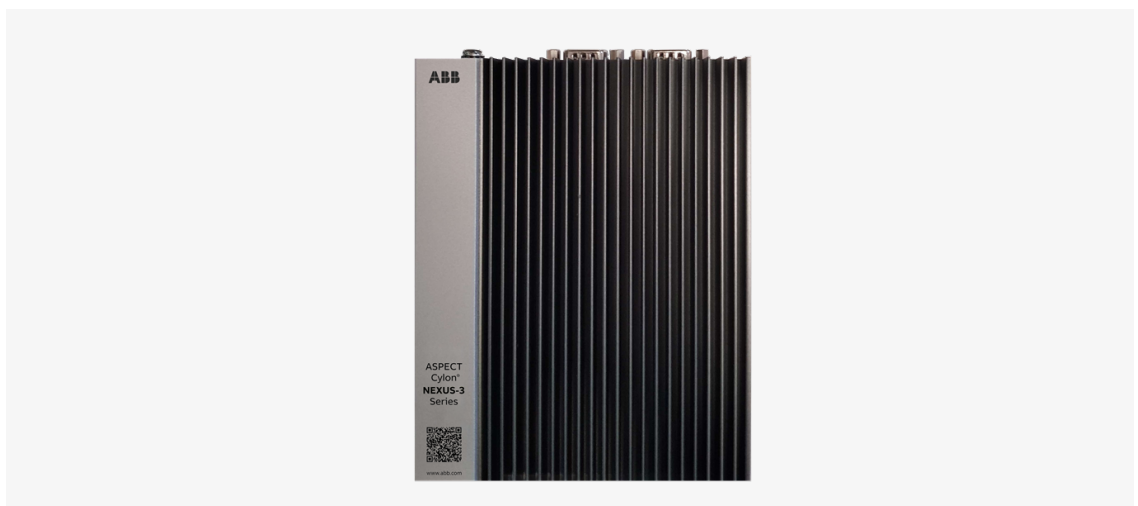
Per l'implementazione pratica di Aspect in campo, ABB fornisce la famiglia di controllori Matrix®, che sono in sostanza dei **controller-server embedded** che eseguono il runtime di Aspect. I dispositivi Matrix (come il Matrix-2) si installano nei quadri elettrici e presentano porte di comunicazione (almeno una porta Ethernet e due porte RS-485) per collegarsi rispettivamente alla rete IP dell'edificio e ai bus seriali dei controllori sul campo. Un singolo Matrix può quindi fungere da nodo di supervisione locale, collegando e gestendo molteplici controllori BACnet MS/TP in campo (ad esempio tutti i controllori di un singolo edificio o piano). I Matrix supportano i protocolli seriali tipici (BACnet MS/TP, Modbus RTU, e anche protocolli legacy Cylon per retrocompatibilità) e instradano i dati sulla rete IP (BACnet/IP, Modbus TCP, ecc.) senza bisogno di gateway esterni.

32 Serie FBMatrix®



La scalabilità del sistema è garantita da un modello di licenza flessibile basato sulla capacità: la famiglia Matrix prevede modelli con licenze di diversa capienza, ad esempio per gestire fino a 1 controllore di campo (circa 750 punti), oppure fino a 16 controllori (750 punti totali), 32 controllori (1250 punti), 64 controllori (1750 punti) o 96 controllori (2000 punti). Il sistema può essere in qualsiasi momento espanso acquistando licenze aggiuntive (pacchetti di punti/dispositivi) che il Matrix carica per aumentare la propria capacità, fino ad un massimo di 128 dispositivi e 2500 punti gestiti per unità. In caso di esigenze maggiori, è possibile distribuire più controllori Matrix in rete (ad esempio uno per ogni edificio di un campus), scegliere la versione Nexus oppure adottare la versione Aspect-Enterprise, ovvero l'installazione del software Aspect su un server centralizzato (hardware di proprietà dell'utente) con licenze che supportano un numero molto elevato di punti. Questa flessibilità consente al BACS ABB Cylon di coprire applicazioni che vanno dal singolo edificio di piccole dimensioni fino a complessi multisito molto estesi, il tutto con la medesima piattaforma software unificata.

33 Serie NEXUS-3

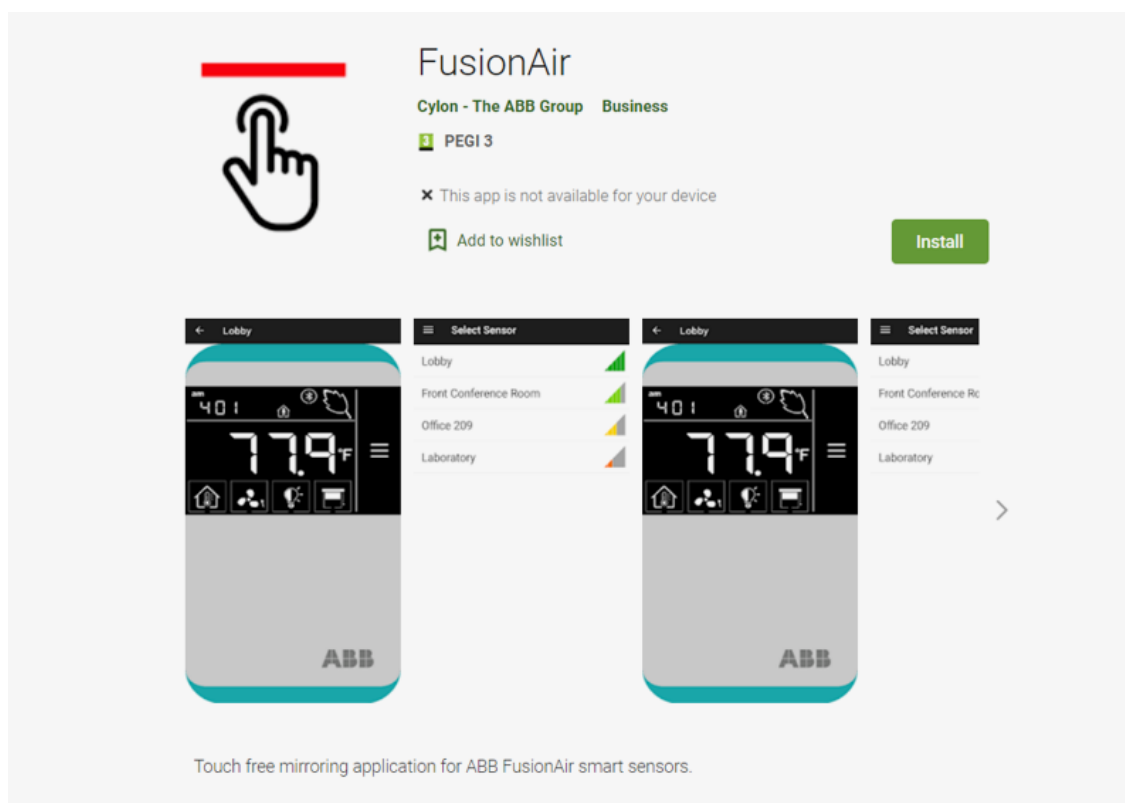


Indipendentemente dalla taglia implementata, il supervisore Aspect/Matrix svolge diverse funzioni avanzate per ottimizzare la gestione dell'impianto HVAC. Ad esempio, esso può eseguire logiche centralizzate di ottimizzazione energetica (accensioni ritardate degli impianti in base all'inerzia termica, bilanciamento dei carichi tra più unità di produzione caldo/freddo, ecc.), sequenziamento e coordinamento di macchine (per evitare picchi di assorbimento elettrico), gestione di allarmi e notifiche automatiche (segnalando guasti o condizioni fuori limite via email/SMS ai manutentori), analisi storiche e report energetici (per verificare l'andamento dei consumi e individuare inefficienze) e naturalmente offre un'interfaccia multiutente per il controllo centralizzato dell'intero edificio. Il sistema supporta inoltre l'integrazione con strumenti esterni: ad esempio può inviare notifiche su servizi esterni (web services), sincronizzarsi con calendari standard (Outlook, Google Calendar) per attuare scenari in base alle prenotazioni di sale, oppure ricevere dati da piattaforme IoT per abilitare funzioni di smart building evoluto. In sintesi, Aspect rappresenta il "cervello centrale" del BACS ABB Cylon, abilitando un controllo coordinato e ottimizzato di tutti i componenti HVAC (e non solo) dell'edificio.

6.5.6. Sensori ambientali ABB Cylon

A complemento di controllori e supervisori, la gamma **ABB Cylon** include una varietà di **sensori intelligenti per ambiente che forniscono le misure necessarie al controllo fine degli impianti HVAC. Di particolare rilievo è la serie FusionAir® Smart Sensor**, identificata dalle sigle FA-TH, FA-T ecc.: si tratta di eleganti pannelli da parete caratterizzati da un design sottile e moderno, con display LCD touch retroilluminato ad alta definizione. Questi dispositivi svolgono la doppia funzione di sensori ambientali (misurano temperatura, umidità relativa, e – nei modelli dotati – anche concentrazione di CO₂ o composti volatili VOC) e di interfaccia utente locale: l'occupante di un ambiente può visualizzare i parametri ambientali e regolare impostazioni come il setpoint di temperatura o la velocità del ventilatore, il tutto semplicemente toccando l'interfaccia capacitiva oppure attraverso un controllo touchless via app smartphone. I sensori FusionAir sono progettati per integrarsi nativamente con i controllori ABB Cylon (serie FBXi, FBTi, ecc.), ai quali si collegano per fornire sia i valori rilevati sia i comandi utente; tramite la programmazione CXpro^{HD}, i dati dei sensori (ad esempio la lettura di CO₂) possono essere utilizzati per attivare logiche di ventilazione a domanda o altri automatismi. In aggiunta, FusionAir dispone di LED multicolore per indicare in modo immediato lo stato della stanza (es. qualità dell'aria buona/scarsa, presenza richiesta di ventilazione, ecc.) e può controllare anche funzioni integrate come l'illuminazione locale o le tende motorizzate, fungendo da punto di controllo unificato dell'ambiente.

34 Serie FusionAir®
Smart Sensor



Oltre alla serie FusionAir, ABB Cylon offre sensori ambiente tradizionali sotto forma di termostati e sonde da parete: ad esempio la **serie WRF include sensori di temperatura ambiente compatti**, alcuni dotati di manopola o pulsanti per la regolazione locale del setpoint. **Altri modelli combinano temperatura e umidità** (simili alle FA-TH ma senza display) per applicazioni dove serve un punto di misura affidabile ma non necessariamente l'interfaccia utente. Vi sono poi **sensori dedicati per grandezze specifiche**, come rilevatori di CO₂ standalone, sensori di qualità dell'aria (VOC), sonde di temperatura esterna e sensori di canale per le condotte dell'aria. Tutti questi dispositivi possono essere collegati agli ingressi dei controllori Cylon (essendo supportati vari segnali standard: uscite in corrente 4-20 mA, in tensione 0-10 V, termoresistenze, termistori NTC/PTC, contatti etc.) e forniscono le informazioni necessarie affinché il BACS possa "percepire" lo stato termico degli ambienti e reagire di conseguenza. In definitiva, la gamma di sensori ABB Cylon – dai pannelli intelligenti FusionAir ai sensori compatti e alle sonde industriali – costituisce il "sistema nervoso" del BACS, raccogliendo i dati in campo (temperature, umidità, aria indoor, occupazione) sulla base dei quali i controllori eseguono le azioni di regolazione per garantire comfort ed efficienza.

6.5.7. Architettura di un sistema BACS con ABB Cylon

Dopo aver esaminato i singoli componenti, vediamo come essi si integrano in un'architettura BACS completa per il controllo di un impianto HVAC in edifici come uffici, scuole, negozi o strutture sanitarie. In generale, l'architettura segue un modello a livelli:

Livello campo (field): comprende tutti i dispositivi fisici presenti negli impianti e negli ambienti. In questo livello troviamo gli attuatori dell'impianto HVAC (valvole modulanti su circuiti acqua calda/fredda, serrande dell'aria, motori di ventilatori, compressori, ecc.) e i sensori (di temperatura ambiente, di umidità, di qualità dell'aria, di pressione nelle canalizzazioni, sensori di presenza, ecc.). Questi elementi sono collegati ai controllori locali (CBX, FBXi, CBT, FBTi, CBV, FBVi a seconda dei casi), i quali li alimentano se necessario e ne leggono/invisano i segnali. Ad esempio, in un edificio per uffici ogni fan-coil di zona potrebbe avere un controllore CBT/FTi dedicato, collegato da un lato al sensore ambiente (per leggere la temperatura e consentire l'impostazione dell'utente) e dall'altro agli attuatori di quel fan-coil (motore del ventilatore, valvola acqua fredda, valvola acqua calda). Analogamente, a livello di centrale termofrigorifera, un controllore CBX leggerà i sensori di temperatura di mandata e ritorno, i flussostati, le pressostati e così via, comandando al contempo pompe, bruciatori della caldaia e compressori dei chiller.

Livello di automazione (controller network): è la rete che collega tra loro i vari controllori distribuiti nell'edificio. Nel caso ABB Cylon, questa rete può essere sia di tipo BACnet MS/TP (bus RS-485 su cui risiedono, ad esempio, tutti i controllori CBT e CBV di un piano) sia di tipo BACnet/IP su Ethernet (tipicamente interconnette i controllori FBXi, FBTi, FBVi e collega i nodi Matrix/Aspect). In edifici moderni spesso si adotta una dorsale IP fino ai quadri principali su ogni piano, e da ciascun quadro partono bus MS/TP verso controllori di zona; i controllori principali di impianto (centrali termiche, UTA) possono essere direttamente su IP per maggior banda e velocità. Grazie al supporto nativo di protocolli aperti come BACnet, tutti i controllori Cylon su rete comunicano tra loro e con i dispositivi di terze parti eventualmente presenti. Ad esempio, i controllori di zona possono inviare segnalazioni al controllore di centrale (es. richiesta di freddo) oppure il supervisore può scrivere un setpoint contemporaneamente su molti controllori grazie alla rete condivisa. La interoperabilità è garantita dal protocollo standard: dispositivi BACnet di altri costruttori (es. termostati intelligenti, regolatori di illuminazione DALI tramite gateway, o misuratori di energia BACnet) possono essere inclusi sulla stessa rete e monitorati/controllati dal BACS ABB senza problemi.

Livello di supervisione e gestione: è il livello più alto, dove opera il software Aspect (in esecuzione su uno o più nodi Matrix o su un server). Qui avviene il coordinamento generale dell'impianto: il supervisore raccoglie in tempo reale tutti i dati dai controllori (stati, misure, allarmi) e li presenta agli operatori tramite interfacce grafiche intuitive (schemi sinottici, dashboard). Al contempo invia ai controllori le impostazioni generali decise (es. orari di attivazione, set-point globali, comandi manuali dall'operatore). Il database storico registra le misure principali (temperature, consumi, ecc.) per generare trend e report utili all'energy management. Il supervisore inoltre gestisce le logiche centralizzate: ad esempio, può attuare una riduzione generale dei setpoint di tutti i locali di un edificio durante la notte (strategia di setback notturno) comunicandola simultaneamente ai vari controllori di zona, oppure avviare in sequenza le unità di trattamento aria per scaglionare i picchi di corrente. Un singolo sistema Aspect può gestire più edifici (multi-sito) interconnessi: i Matrix/controllori di ciascun edificio scambiano i dati con il server centrale, permettendo una gestione unificata di, ad esempio, tutte le filiali di una banca o tutti gli ospedali di una certa azienda sanitaria. In ogni edificio resta comunque possibile un controllo locale in caso di perdita

temporanea di connessione verso il centro, grazie all'intelligenza distribuita nei controllori stessi (che operano in autonomia secondo le logiche residenti).

In un esempio pratico di architettura BACS ABB Cylon per un edificio per uffici di medie dimensioni, potremmo avere: una centrale termica con caldaia e refrigeratore d'acqua controllati da un CBX (con moduli FLX per gestire tutti i sensori e attuatori della centrale), alcune UTA (unità di trattamento aria) ciascuna controllata da un FBXi dedicato, e poi decine di zone ufficio ciascuna servita da un fan-coil controllato da un CBT. Tutti i CBX/FBXi/CBT sul campo sono interconnessi su rete BACnet (ad esempio via BACnet/IP fino ai piani e MS/TP nei piani). In ogni ambiente sono installati pannelli FusionAir o termostati WRF che permettono sia la lettura della temperatura che l'impostazione locale da parte dell'utente; tali dispositivi sono collegati ai CBT/FBTi dei fan-coil. All'ingresso dell'edificio, in guardiola o in sala controllo, troviamo un server con installato Aspect-Studio/Enterprise, oppure un controllore Matrix montato a rack nel CED, che funge da supervisore centralizzato. Il facility manager attraverso questo sistema monitora l'intero edificio: può vedere le temperature di ogni stanza, lo stato di ogni fan-coil, regolare orari speciali per festività, ricevere allarmi (es. sovratemperatura in un locale CED raffreddato da split, o anomalia su una caldaia) e intervenire immediatamente. Allo stesso tempo, il BACS lavora h24 automaticamente per mantenere le condizioni ottimali: ad esempio al mattino effettua il pre-riscaldamento degli ambienti prima dell'orario di ingresso dipendenti, modulando le portate dalle UTA e aprendo le valvole dei fan-coil gradualmente per evitare picchi, mentre durante la giornata adatta la climatizzazione al numero di persone (rilevato magari dai sensori CO₂ nelle sale riunioni) e alla temperatura esterna. In una scuola, un'architettura simile potrebbe vedere controllori CBV sui diffusori VAV delle aule, coordinati da un FBXi sull'UTA centrale e supervisionati da Matrix; il sistema garantirebbe aria fresca e comfort in ogni aula solo negli orari di lezione, risparmiando energia quando le classi sono vuote. In un ospedale, più edifici potrebbero essere collegati in rete: ogni edificio con i propri controllori (CBX per caldaie, CBT per fan-coil in corsie e studi medici, CBV per laboratori con pressione controllata, ecc.) e un Matrix locale, tutti supervisionati da un Aspect Enterprise centralizzato per la gestione tecnica dell'intero complesso (fondamentale per ricevere immediatamente allarmi critici, ad es. il guasto di un'UTA in una sala operatoria, e disporre interventi immediati). Questi esempi illustrano come i vari componenti ABB Cylon cooperino per realizzare architetture BACS flessibili e affidabili, adattabili a diverse tipologie di edifici garantendo sempre i medesimi principi: comfort degli occupanti, efficienza operativa ed energetica, e controllo centralizzato per i gestori.

6.6. Esempi pratici di applicazione

Infine, per contestualizzare l'uso dei sistemi BACS ABB Cylon negli impianti HVAC, ecco alcuni esempi pratici e scenari tipici di applicazione:

Gestione intelligente di zone e orari: In un edificio ad uffici, il BACS Cylon consente di suddividere l'impianto in zone (open space, uffici chiusi, sale riunioni, corridoi) e di applicare programmazioni orarie differenziate per ciascuna area. Ad esempio, durante il normale orario di lavoro il sistema mantiene temperature di comfort negli open space e nelle sale riunioni, garantendo un adeguato ricambio d'aria. Al di fuori degli orari di occupazione (sera, weekend), il BACS abbassa automaticamente il setpoint di temperatura o spegne i fan-coil nelle zone non utilizzate, evitando di climatizzare ambienti vuoti. Ogni zona può inoltre avere impostazioni specifiche: ad esempio, le sale riunioni possono entrare in modalità stand-by quando non prenotate, oppure attivarsi qualche minuto prima dell'inizio di una riunione (grazie all'integrazione con i calendari). Gli occupanti beneficiano di un comfort costante senza doversi preoccupare di accendere/spegnere manualmente i sistemi, mentre l'azienda risparmia energia grazie al controllo automatico.

Ottimizzazione della qualità dell'aria interna: In una scuola o in un'aula universitaria dotata di ventilazione meccanica, i controllori ABB Cylon possono gestire la ventilazione attiva in funzione della CO₂. Durante le lezioni, il sistema monitora la concentrazione di anidride carbonica in ogni aula tramite sensori dedicati; quando i livelli di CO₂ salgono oltre la soglia di comfort (indicando aria viziata a causa dell'affollamento), il BACS aumenta automaticamente l'apertura delle serrande VAV e la velocità dei ventilatori per immettere più aria esterna fresca. Al termine delle lezioni, quando l'aula si svuota, il flusso d'aria viene ridotto al minimo indispensabile o può essere temporaneamente spento, per poi riattivarsi poco prima dell'inizio dell'ora successiva. Questo garantisce ad alunni e docenti un'aria sempre salubre (evitando sonnolenza e cali di concentrazione dovuti a CO₂ elevata) e al tempo stesso riduce il consumo di ventilazione evitando ricambi eccessivi quando non servono. Un sensore multifunzione FusionAir installato in classe potrebbe anche fornire un feedback visivo (es. LED verde/giallo/rosso) sul livello di qualità aria, assicurando gli occupanti sulla salubrità dell'ambiente o segnalando quando è opportuno arieggiare.

Supervisione remota e multisito: Una catena di negozi retail diffusi su più città potrebbe adottare controllori ABB Cylon in ogni punto vendita (ad es. piccoli FBXi per gestire unità rooftop e climatizzatori locali) e collegarli tutti al sistema di supervisione Aspect Enterprise centrale. In tal modo, il responsabile tecnico della catena può monitorare in tempo reale tutti gli store da una sede centrale: visualizza temperature, stati dei condizionatori, consumi e allarmi di ciascun negozio su un'unica interfaccia. In caso di un'anomalia in un negozio remoto (ad esempio, un locale che non raggiunge la temperatura impostata perché l'unità HVAC è in blocco), il BACS invia un allarme immediato al centro. Il tecnico può quindi connettersi in teleassistenza a quello store, verificare lo stato del controllore (es. codice di errore del compressore) ed eventualmente provare un reset da remoto o regolare temporaneamente i setpoint per mitigare il disagio, in attesa dell'intervento in loco. Questo approccio centralizzato aumenta la velocità di risposta ai problemi e permette di organizzare al meglio la manutenzione (mandando i tecnici solo quando e dove servono, con la diagnosi già fatta). Inoltre, dal confronto dei dati di tutti i negozi, il gestore può individuare best practice o inefficienze: ad esempio notare che alcuni punti vendita consumano più di altri e indagare le cause (dimensionamento HVAC errato, porte esterne lasciate aperte, ecc.), intervenendo per uniformare le prestazioni.

Scenari integrati in edifici smart: Nei moderni edifici intelligenti, un BACS come ABB Cylon non lavora in isolamento ma collabora con altri sistemi per migliorare l'efficacia complessiva. Un esempio tipico è l'integrazione tra climatizzazione, illuminazione e sicurezza. In un edificio dotato di sensori di presenza integrati nell'impianto luci, il BACS può ricevere da questi ultimi l'informazione che un certo ambiente è vuoto: di conseguenza, oltre a spegnere o attenuare le luci, il sistema invia i fan-coil di quella stanza in modalità risparmio (alzando di qualche grado il setpoint in estate o abbassandolo in inverno, o addirittura spegnendo temporaneamente l'unità). Oppure, quando un ambiente viene dichiarato "non occupato" dal sistema antintrusione (allarme inserito a fine giornata), il BACS porta tutta la zona in modalità stand-by energetico. Al mattino, con lo sblocco dell'antifurto o l'apertura della porta tramite badge, il BACS fa partire immediatamente ventilazione e climatizzazione per riportare le condizioni a livello di comfort. Si possono implementare anche scenari complessi: ad esempio, in un hotel il sistema di building automation può attivare una modalità eco nelle camere quando gli ospiti escono (spegnendo HVAC e luci) e pre-climatizzare la stanza quando rileva l'ascensore salire con l'ospite verso la camera, così da trovare temperatura ottimale al suo arrivo. Tutti questi scenari integrati sono possibili grazie alla flessibilità del BACS e all'uso di protocolli aperti che permettono ai vari sottosistemi di "dialogare" fra loro.

Analisi dati e ottimizzazione continua: Un ulteriore campo applicativo del BACS è la Business Intelligence applicata agli edifici. I dati raccolti dai controllori (trend di temperature, umidità, setpoint modificati dagli utenti, consumi elettrici e termici, occorrenza di allarmi, ecc.) costituiscono un patrimonio informativo che, se analizzato tramite gli strumenti di reportistica di Aspect, consente di individuare opportunità di miglioramento dell'esercizio. Ad esempio, esaminando i report si potrebbe notare che in un determinato piano gli uffici rimangono climatizzati anche durante la pausa pranzo nonostante siano vuoti: il gestore può quindi introdurre una fascia oraria di setback nelle ore di pranzo per quelle zone, riducendo i consumi senza impattare il comfort effettivo. Oppure analizzando i grafici storici si potrebbe riscontrare che un gruppo frigo fatica a raggiungere la temperatura di setpoint e rimane sempre alla massima potenza: ciò potrebbe indicare un problema di manutenzione (es. condensatore sporco) o di sovraccarico, dando spunto per verifiche tecniche o per una riprogrammazione dell'impianto (ad esempio attivando una logica di rotazione tra due chiller per bilanciare i carichi). In un ospedale, l'analisi incrociata dei dati HVAC con quelli dei sistemi di prenotazione potrebbe evidenziare reparti raramente utilizzati nel weekend, dove quindi si può tenere l'impianto in modalità ridotta, oppure identificare trend di consumo anomali che potrebbero nascondere guasti (ad es. resistenze elettriche di batterie che rimangono accese contemporaneamente al freddo). Ogni informazione storicizzata dal BACS, opportunamente interpretata, diventa quindi uno strumento decisionale per migliorare continuamente l'efficienza energetica e gestionale dell'edificio.

In conclusione, **l'ecosistema di Building Automation ABB Cylon fornisce tutti gli elementi – controllori, sensori, interfacce e supervisori – per realizzare impianti HVAC intelligenti, in cui comfort e sostenibilità vanno di pari passo.** Grazie ai BACS, edifici come uffici, scuole, negozi e ospedali possono garantire ai loro occupanti ambienti confortevoli e salubri, mantenendo al contempo un rigoroso controllo dei consumi energetici e offrendo agli operatori strumenti avanzati per la conduzione e la manutenzione. Il tutto con la sicurezza di utilizzare standard aperti e soluzioni scalabili, che proteggono l'investimento nel tempo e rendono l'edificio pronto ad evolvere con le future innovazioni tecnologiche nel campo dell'automazione.

07

NORMATIVA ISO 52120 E PIANO EUROPEO

INDICE

086	7.1. Normativa ISO 52120-1: Obiettivi e Contenuti Principali
087	7.2. Classificazione delle Performance BACS (Classidi Efficienza Energetica)
088	7.3. ISO 52120-1, EPBD ed il Quadro Normativo Europeo (Fit for 55)
089	7.4. Piano Europeo per la Decarbonizzazione degli Edifici: Efficientamento, Digitalizzazione e Ruolo dei BACS
090	7.5. Implicazioni per il Mercato HVAC Italiano e Ruolo dei System Integrator

NORMATIVA ISO 52120 E PIANO EUROPEO

Nel presente capitolo si esamina la recente normativa ISO 52120-1 relativa ai sistemi di automazione e controllo degli edifici (BACS), evidenziandone obiettivi e contenuti principali, e la classificazione delle prestazioni energetiche dei BACS. Si illustrano inoltre i collegamenti con le normative europee – in particolare la Direttiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive), lo standard EN 15232 che la ISO 52120-1 sostituisce, e la strategia Fit for 55 – evidenziando il ruolo di queste norme nel contesto del piano europeo di decarbonizzazione degli edifici. Infine, si discutono le implicazioni per il mercato italiano degli impianti HVAC e il ruolo strategico dei system integrator in questo scenario.

7.1. Normativa ISO 52120-1: obiettivi e contenuti principali

La norma ISO 52120-1:2021 (pubblicata in Italia come UNI EN ISO 52120-1:2022) fornisce un quadro tecnico per valutare e migliorare l'efficienza energetica degli edifici attraverso l'automazione e il controllo. In essa i Building Automation and Control Systems (BACS) sono definiti come *“sistemi che comprendono tutti i prodotti, i software e i servizi per i controlli automatici, il monitoraggio, l'ottimizzazione, il funzionamento, l'intervento umano e la gestione per ottenere un funzionamento efficiente dal punto di vista energetico, economico e della sicurezza dei servizi dell'edificio”*. L'ISO 52120-1 costituisce il primo metodo armonizzato a livello internazionale per valutare il contributo dei sistemi BACS alla prestazione energetica degli edifici, colmando le lacune della precedente norma europea EN 15232-1:2017 a cui succede.

Obiettivi e campo di applicazione: la ISO 52120-1 specifica in dettaglio:

- un elenco strutturato di funzioni di controllo, automazione e gestione tecnica dell'edificio che contribuiscono alla prestazione energetica, classificate per categoria di servizio e sistema;
- un metodo per definire i requisiti minimi relativi a tali funzioni di automazione e controllo ai fini dell'efficienza energetica, applicabile a edifici di diversa complessità;
- una metodologia basata su fattori per stimare preliminarmente l'effetto di queste funzioni sul consumo energetico di edifici tipi con specifici profili d'uso;
- metodi analitici dettagliati per valutare con accuratezza l'impatto delle funzioni di automazione sul consumo energetico di un edificio specifico.

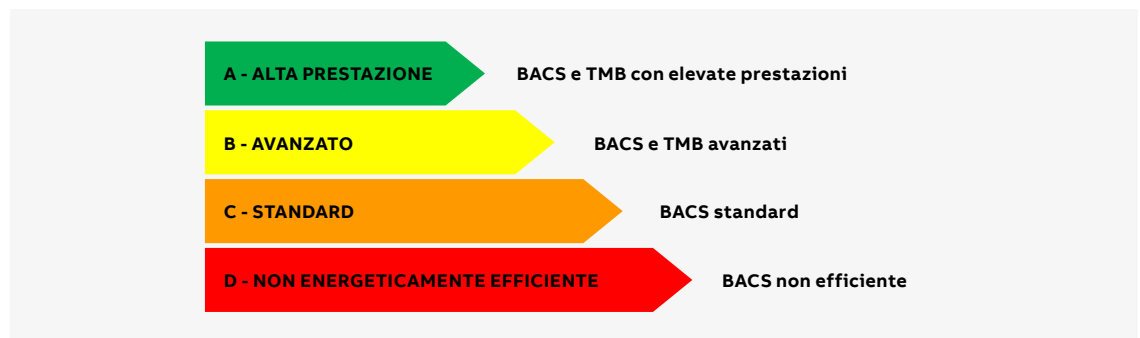
In sintesi, **la norma delinea un quadro generale e procedure per integrare l'automazione negli edifici, definendo funzioni e requisiti che permettono di migliorare la prestazione energetica dell'edificio attraverso il controllo automatico dei vari impianti (climatizzazione, illuminazione, ecc.).** Tali linee guida sono destinate a supportare progettisti, gestori energetici, produttori e installatori di sistemi nell'implementare soluzioni di Building Automation efficaci. La ISO 52120-1 è infatti rivolta non solo ai professionisti della progettazione ed enti normativi, ma anche ai produttori di sistemi e ai system integrator, riconoscendo il loro ruolo chiave nell'applicazione pratica dei BACS.

7.2. Classificazione delle Performance BACS (Classi di Efficienza Energetica)

Un contributo fondamentale di ISO 52120-1, ereditato dalla EN 15232, è la classificazione dell'efficienza energetica dei BACS in quattro livelli prestazionali, dalla Classe D (più bassa) alla Classe A (più alta). Questa classificazione dipende dalle funzionalità di automazione e controllo implementate nel sistema edificio-impianto. In particolare:

- **Classe D ("non energy efficient")**: corrisponde a un sistema privo di funzioni di automazione significative (edificio non automatizzato). È il livello minimo, indicativo di edifici con nessuna o scarsa integrazione di controlli automatici; tali sistemi comportano sprechi energetici e dovrebbero essere oggetto di retrofit migliorativi.
- **Classe C ("standard")**: rappresenta i BACS che implementano le funzioni base di automazione, cioè un minimo insieme di sotto-funzioni di controllo per ciascun servizio tecnologico dell'edificio. Questa classe riflette lo standard corrente di automazione previsto per edifici nuovi o ristrutturati secondo le normative vigenti.
- **Classe B ("advanced")**: identifica sistemi BACS avanzati, che oltre alle funzioni di Classe C prevedono una gestione centralizzata e ottimizzata dei singoli impianti dell'edificio. In pratica, un BACS di Classe B integra i controlli di diversi sottosistemi (HVAC, illuminazione, ecc.) in un sistema di supervisione unico, migliorando coordinamento ed efficienza.
- **Classe A ("high energy performance")**: indica il massimo livello di automazione e prestazione energetica. Un BACS di Classe A include tutte le funzionalità avanzate della Classe B, ma aggiunge logiche di controllo proattive basate sulla domanda effettiva e sulle condizioni ambientali, garantendo le più elevate prestazioni energetiche. Ad esempio, in un edificio in Classe A i sistemi HVAC modulano i set-point in funzione dell'occupazione e della qualità dell'aria interna, e il BACS coordina in modo integrato climatizzazione, illuminazione e schermature solari per ottimizzare i consumi complessivi.

35 Classificazione
dei sistemi BACS



La Classe A rappresenta dunque lo stato dell'arte in termini di efficienza e intelligenza dell'edificio, mentre la Classe D ne costituisce l'estremo inferiore (assenza di automazione). Nuovi edifici e ristrutturazioni dovrebbero mirare almeno alla Classe C o B secondo gli obblighi normativi, evitando di realizzare impianti in Classe D (ormai considerata obsoleta). Diverse normative e programmi energetici adottano queste categorie di efficienza BACS come riferimento per fissare requisiti minimi e obiettivi di prestazione a livello nazionale, come vedremo nel prosieguo.

7.3. ISO 52120-1, EPBD ed il Quadro Normativo Europeo (Fit for 55)

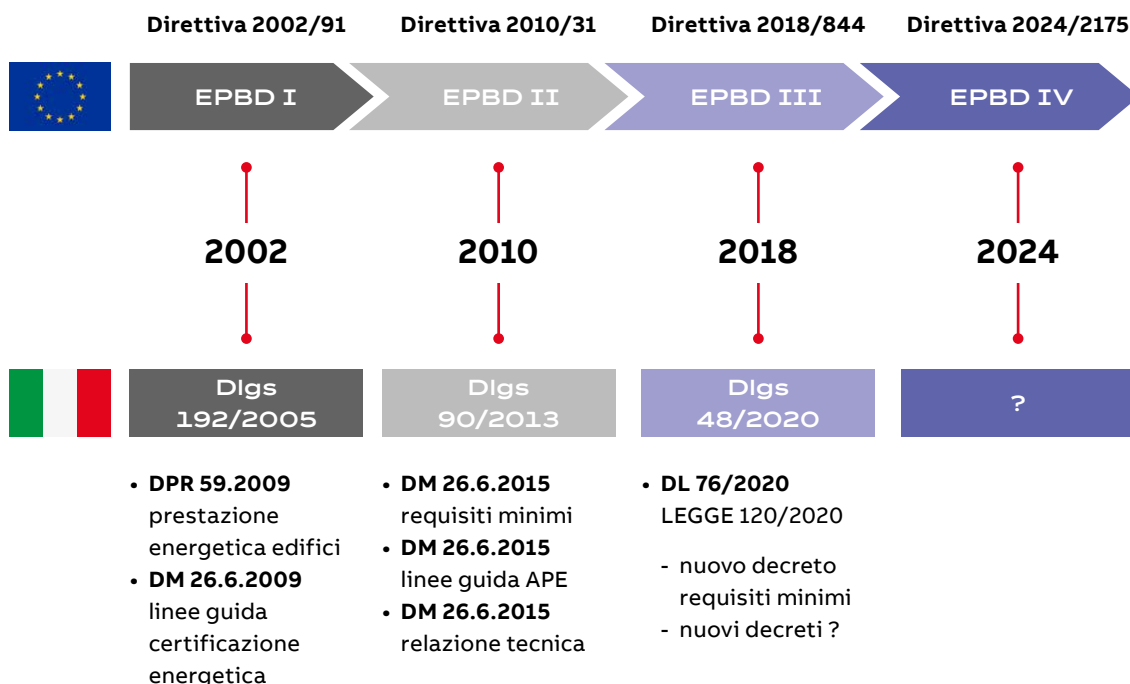
La ISO 52120-1 si inserisce nel contesto delle politiche europee per l'efficienza energetica degli edifici e supporta il raggiungimento degli obiettivi climatici comunitari. La principale normativa UE in materia, la Direttiva sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD), ha riconosciuto il ruolo dei BACS ai fini del risparmio energetico ed ha integrato riferimenti alla norma EN ISO 52120-1:2022 come standard di supporto.

Nel 2021 la Commissione Europea, tramite il pacchetto climatico "Fit for 55", ha proposto la revisione della EPBD per allinearla ad obiettivi più ambiziosi: l'UE punta infatti a ridurre del 55% le emissioni di gas serra entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990, in vista della neutralità climatica al 2050. Il settore degli edifici è centrale in questa strategia, poiché rappresenta circa il 40% dei consumi energetici finali e il 36% delle emissioni nell'Unione Europea. La necessità di decarbonizzare il patrimonio edilizio ha dunque portato a norme più stringenti sull'efficienza e l'intelligenza degli edifici, in cui l'automazione gioca un ruolo chiave.

Collegamento con EN 15232: **La ISO 52120-1 deriva direttamente dalla precedente norma europea EN 15232-1:2017, la quale per prima aveva introdotto una metodologia per valutare l'impatto dei BACS sulle prestazioni energetiche degli edifici.** La nuova ISO ne aggiorna ed espande i contenuti per riflettere l'evoluzione tecnologica e armonizzare gli approcci a livello internazionale. Ad esempio, rispetto alla EN 15232, la ISO 52120-1 aggiunge nuove funzioni di controllo (come il bilanciamento idronico automatico nei sistemi di riscaldamento/raffrescamento e il controllo demand-based della ventilazione in funzione della qualità dell'aria) e semplifica/ottimizza altre funzioni (ad es. gestione dell'illuminazione), aggiornando i riferimenti alle norme EPB europee correlate. Inoltre, rende vincolanti (normative) alcune funzionalità minime di automazione che prima erano solo informative. In questo modo la ISO 52120-1 fornisce uno strumento normativo allineato alle direttive europee, facilitando l'integrazione dei BACS nei codici energetici nazionali.

EPBD e obblighi sui BACS: La Direttiva Europea sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD) – nella sua revisione più recente approvata nel 2024, nota come "Direttiva Case Green" – enfatizza fortemente l'adozione di sistemi di automazione, controllo e monitoraggio nei nuovi edifici e in quelli esistenti da riqualificare. In particolare, impone ai Paesi Membri di introdurre requisiti affinché:

- **Edifici non residenziali di ampia dimensione siano dotati di BACS:** entro il 31 dicembre 2024 tutti gli edifici non residenziali con impianti tecnici (climatizzazione, ventilazione, ecc.) di potenza termica > 290 kW devono essere muniti di sistemi di automazione e controllo; tale soglia viene poi estesa agli edifici con impianti > 70 kW entro il 31 dicembre 2029. Ciò garantisce che anche edifici commerciali/terziari di medie dimensioni adottino soluzioni di controllo intelligente entro la fine del decennio.



- **Edifici residenziali nuovi o sottoposti a ristrutturazioni importanti integrino funzionalità di monitoraggio e regolazione evolute:** a partire da maggio 2026 dovranno essere installati sistemi per il monitoraggio elettronico continuo dell'efficienza degli impianti domestici, con avvisi ai proprietari in caso di anomalie o necessità di manutenzione. In pratica, anche le abitazioni dovranno essere predisposte con tecnologie "smart" per il controllo dei consumi e delle prestazioni.

Oltre a questi obblighi gradualisti, la nuova EPBD specifica le funzionalità chiave che i BACS devono possedere. Ad esempio, i sistemi di automazione dovranno monitorare, registrare e analizzare l'uso dell'energia nell'edificio, consentendo aggiustamenti continui per migliorarne l'efficienza; dovranno individuare inefficienze o deviazioni nelle prestazioni e segnalare opportunità di miglioramento; infine dovranno comunicare e interoperare con gli altri sistemi tecnici e con dispositivi di diversi produttori. Entro il 2026, inoltre, i controlli dovranno essere in grado di valutare la qualità dell'aria interna e di adattare i consumi energetici in base a segnali esterni (ad esempio variazioni di tariffa energetica o disponibilità di energia rinnovabile in rete). Questi requisiti riflettono l'importanza attribuita a edifici sempre più intelligenti e digitalizzati, capaci di interagire con gli occupanti e con la rete energetica. In parallelo, la EPBD aggiornata introduce anche il concetto di Smart Readiness Indicator (SRI) come indice della "prontezza tecnologica" di un edificio: la ISO 52120-1 è utilizzata come riferimento per definire i servizi smart e i punteggi nella metodologia di calcolo di tale indicatore.

In sintesi, **le normative europee** – spinte dalla strategia Fit for 55 – **riconoscono i BACS come strumenti essenziali per conseguire edifici a energia più efficiente e decarbonizzati. L'ISO 52120-1 funge da ponte tra la regolamentazione comunitaria e l'implementazione tecnica:** da un lato è richiamata nell'EPBD come standard di buona pratica, dall'altro fornisce a progettisti e gestori un linguaggio comune (classi di efficienza, funzioni minime, metodologie di calcolo) per adeguarsi ai requisiti di legge in modo uniforme a livello internazionale.

7.4. Piano Europeo per la Decarbonizzazione degli Edifici: Efficientamento, Digitalizzazione e Ruolo dei BACS

Nel quadro più ampio della transizione energetica, **l'Unione Europea ha delineato un percorso di decarbonizzazione del parco edilizio al 2050 che passa attraverso miglioramenti radicali dell'efficienza energetica e l'uso diffuso di tecnologie digitali intelligenti negli edifici. Iniziative strategiche come il Green Deal Europeo e la stessa campagna Fit for 55 hanno l'obiettivo di azzerare le emissioni nette del settore civile entro metà secolo, riducendo drasticamente i consumi di energia fossile negli edifici.** Ciò implica, tra le altre cose, una riqualificazione energetica di milioni di edifici esistenti (la cosiddetta Renovation Wave) e standard più elevati per le nuove costruzioni in termini di prestazioni energetiche e smart readiness.

In questo contesto, i BACS e la digitalizzazione giocano un ruolo determinante. I sistemi di automazione avanzata consentono infatti di gestire in modo ottimizzato tutti i flussi energetici dell'edificio, adattandoli in tempo reale ai fabbisogni effettivi e minimizzando gli sprechi. Ad esempio, un edificio dotato di BACS di alta classe energetica può modulare riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e illuminazione in base all'occupazione, alle condizioni meteo esterne e alla disponibilità di energia rinnovabile, mantenendo il comfort degli occupanti con il minimo consumo. Inoltre, tramite funzioni di monitoraggio continuo e analisi dei dati, l'automazione facilita la manutenzione predittiva e l'ottimizzazione delle prestazioni lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio.

I benefici attesi sono significativi sia in termini energetici che economici. Studi di settore indicano che l'adozione capillare di sistemi BACS avanzati può portare a riduzioni dei consumi nell'ordine del 30-40% a seconda del livello di automazione implementato, con tempi di ritorno degli investimenti spesso inferiori a pochi anni. Oltre al risparmio diretto di energia, i BACS contribuiscono a migliorare il comfort interno e la qualità dell'ambiente (grazie a un controllo più preciso della temperatura, ventilazione, illuminazione, qualità dell'aria) e abilitano nuovi servizi, come la partecipazione degli edifici "intelligenti" ai mercati energetici attraverso la flessibilità dei carichi (demand-response). Secondo la Commissione Europea, l'adozione su larga scala dei BACS potrebbe ridurre del 14% i consumi energetici dell'intero stock edilizio UE entro il 2030, contribuendo in modo sostanziale agli obiettivi climatici.

Un edificio dotato di un sistema di automazione evoluto non è più un elemento passivo, ma diventa un nodo attivo e intelligente all'interno del sistema energetico complessivo. In prospettiva, migliaia di edifici smart integrati potranno supportare la rete elettrica bilanciando domanda e generazione distribuita (ad esempio modulando i consumi in base ai picchi di produzione da rinnovabili), migliorando l'indipendenza energetica e la resilienza. In effetti, l'uso dei BACS viene visto come un fattore abilitante per trasformare gli edifici da semplici consumatori a prosumer flessibili, integrati nelle smart grid. Di conseguenza, nelle politiche UE i sistemi di automazione non sono più considerati opzionali, ma sono sempre più spesso requisiti normativi obbligatori per gli edifici di nuova generazione. La direzione è chiara: per centrare gli obiettivi di sostenibilità e carbon neutrality, il futuro dell'edilizia sarà caratterizzato da edifici altamente efficienti, connessi e autonomi nella gestione dell'energia.

7.5. Implicazioni per il Mercato HVAC Italiano e ruolo dei System Integrator

L'evoluzione normativa e tecnologica descritta ha importanti ricadute sul mercato italiano degli impianti HVAC (Riscaldamento, Ventilazione e Condizionamento) e più in generale sul settore dell'impiantistica edile. Già da alcuni anni la legislazione nazionale ha introdotto obblighi in linea con le direttive europee, spingendo l'adozione di BACS nei nuovi progetti e nelle riqualificazioni. In particolare, il Decreto Ministeriale 26/06/2015 (cosiddetto "Requisiti Minimi"), emanato in attuazione della direttiva 2010/31/UE, ha reso obbligatoria l'installazione di sistemi di automazione conformi allo standard EN 15232 (ora ISO 52120-1) negli edifici di nuova costruzione o sottoposti a ristrutturazioni rilevanti. Per gli edifici non residenziali nuovi o ristrutturati, dal 1° ottobre 2015 è prescritto un livello minimo di automazione corrispondente alla Classe B definita dalla norma. In alcune Regioni all'avanguardia, tale obbligo è stato esteso anche al settore residenziale: ad esempio in Emilia-Romagna i regolamenti edilizi richiedono che i nuovi edifici abitativi siano dotati almeno di un BACS di Classe C (automazione standard).

Parallelamente, il governo italiano ha attivato incentivi economici per favorire la diffusione della Building Automation, riconoscendone il ruolo strategico nell'efficientamento del patrimonio edilizio esistente. Il Conto Termico (D.M. 16/02/2016 e aggiornamenti successivi) include tra gli interventi incentivabili l'installazione di tecnologie di controllo e regolazione automatica degli impianti termici ed elettrici degli edifici pubblici: per accedere agli incentivi è richiesto che tali sistemi assicurino almeno la Classe B di efficienza secondo la UNI EN ISO 52120-1. Analogamente, l'Ecobonus (detrazione fiscale 65% per riqualificazione energetica degli edifici) ammette tra le spese detraibili l'installazione di dispositivi di building automation – ad esempio termostati intelligenti, centraline di controllo da remoto, sensori integrati – purché il sistema realizzi funzionalità di Classe B o superiori secondo la norma tecnica.



2025

1 GEN 2025

Stop agli incentivi sulle caldaie a gas. Fanno eccezione i sistemi ibridi e a idrogeno

31 DIC 2025

Presentazione piano di ristrutturazione alla Commissione Europea



2026

29 MAG 2026

Nuovo APE

31 DIC 2026

Impianti solari - FASE 1
Installazione impianti solari sui nuovi edifici non residenziali e pubblici con superficie superiore a 250 mq



2027

1 GEN 2027

Introduzione di valori limite GWP e obiettivi a partire dal 2030

31 DIC 2027

Impianti solari - FASE 2
Installazione impianti solari sui nuovi edifici pubblici con superficie utile superiore a 2000 mq e non residenziali con superficie coperta superiore a 500 mq se sottoposto a ristrutturazione



2028

1 GEN 2028

- Edifici pubblici ZEmB
- Calcolo del GWP

31 DIC 2028

Impianti solari - FASE 3
Installazione impianti solari su tutti gli edifici pubblici con superficie coperta superiore a 750 mq



2029

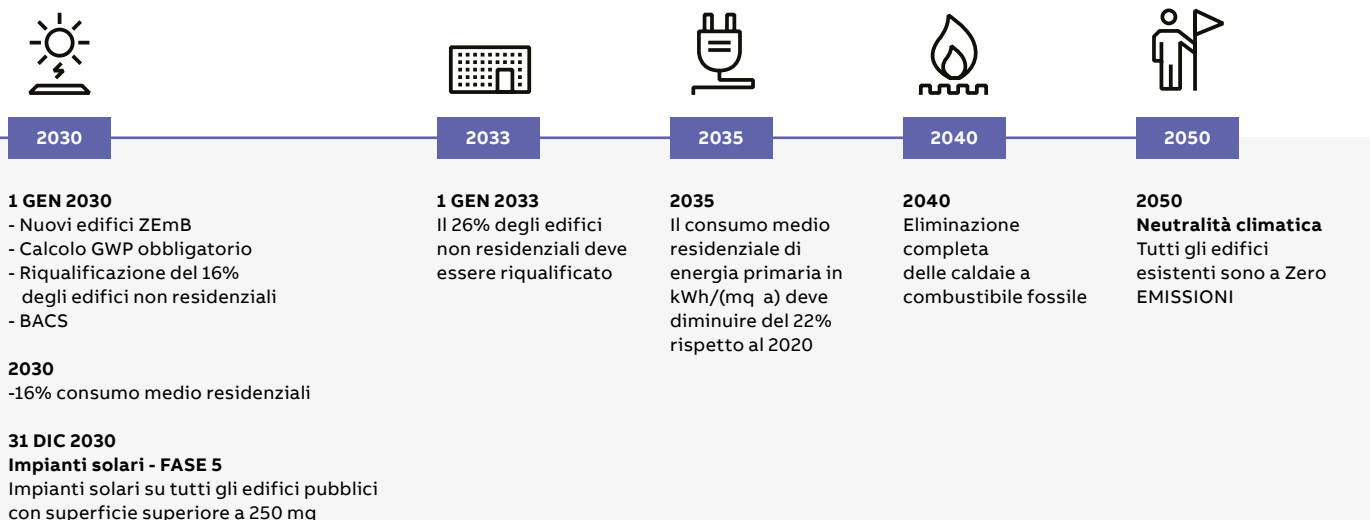
31 DIC 2029

Impianti solari - FASE 4
Installazione impianti solari sui tutti i nuovi edifici residenziali e i parcheggi coperti adiacenti agli edifici

Anche i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per gli appalti pubblici in edilizia premiano, in fase di gara, la presenza di sistemi di monitoraggio e controllo dei consumi energetici integrati a BACS di Classe A (massima efficienza) per gli edifici oggetto di intervento. Questi strumenti normativi e di incentivazione stanno orientando la domanda verso soluzioni di automazione sempre più avanzate, creando nuove opportunità di mercato.

Di fronte a tali sviluppi, il settore HVAC italiano – tradizionalmente focalizzato sulla produzione di apparecchi (caldaie, climatizzatori, ventilazione) – sta evolvendo per incorporare nativamente tecnologie di controllo intelligente nei propri prodotti. Ad esempio, molti costruttori propongono sistemi di climatizzazione dotati di centraline elettroniche integrabili con piattaforme BMS (Building Management System) e protocolli standard, per facilitarne l'integrazione in edifici smart. Allo stesso tempo, cresce l'importanza del ruolo dei system integrator e dei tecnici specializzati in automazione degli edifici: queste figure professionali si occupano di progettare, programmare e mettere in servizio i sistemi BACS, cucendo insieme i diversi sottosistemi (HVAC, illuminazione, sicurezza, ecc.) in un'unica regia di supervisione. La ISO 52120-1 stessa è esplicitamente rivolta ai system integrator oltre che a produttori e gestori, a conferma di quanto sia cruciale il loro contributo per tradurre gli standard in soluzioni operative. L'implementazione efficace di un BACS richiede infatti competenze interdisciplinari che coprono l'energia, l'informatica e le telecomunicazioni: saper far dialogare caldaie, pompe di calore, sensori ambientali, attuatori, gateway di rete e piattaforme software è il compito chiave degli integratori. La forte domanda di edifici più efficienti e connessi sta quindi creando nuove opportunità professionali per progettisti, ingegneri impiantisti e integratori di sistemi, che dovranno dotarsi di conoscenze sempre più integrate tra automazione e gestione dell'energia.

In prospettiva, il mercato italiano dell'impiantistica potrà beneficiare di questo impulso all'innovazione: da un lato per le aziende produttrici si aprono spazi per lo sviluppo di componenti e soluzioni "smart" (sensori, attuatori, software di gestione) da affiancare ai prodotti tradizionali HVAC; dall'altro, per i professionisti e le ESCo (Energy Service Company) si moltiplicano i progetti di riqualificazione energetica degli edifici che includono sistemi BACS, anche grazie agli incentivi disponibili. L'obiettivo finale – in linea con i target europei – è quello di ottenere edifici più sostenibili e sicuri, dove il controllo intelligente dei sistemi tecnologici permetta di ridurre i consumi energetici senza compromettere il comfort. In questo scenario, i system integrator HVAC saranno attori fondamentali nel traghettare il settore edilizio italiano verso la digitalizzazione e la decarbonizzazione, garantendo che le tecnologie di automazione vengano correttamente progettate, installate e messe in esercizio per massimizzare i benefici sia per gli utenti finali che per l'ambiente.



08

**CONTRIBUTO DEI BACS
ALLE CERTIFICAZIONI
VOLONTARIE
(LEED, WELL, BREEAM)**

INDICE

094	8.1	BACS e prestazioni per la sostenibilità edilizia
096	8.2	Crediti LEED, WELL, BREEAM influenzati dai BACS
098	8.3	Valore economico e competitività degli immobili certificati

CONTRIBUTO DEI BACS ALLE CERTIFICAZIONI VOLONTARIE

I sistemi avanzati di **Building Automation and Control Systems (BACS)**, come le soluzioni BMS ABB Cylon basate su protocolli aperti (es. KNX, BACnet), rivestono oggi un ruolo chiave per il conseguimento delle più prestigiose **certificazioni volontarie di sostenibilità edilizia – LEED, WELL e BREEAM**.

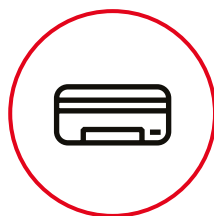
Questi standard premiano prestazioni misurabili in ambiti in cui i BACS sono fattori abilitanti decisivi, dal monitoraggio energetico continuo alla qualità dell'aria indoor, fino all'ottimizzazione del comfort e alla gestione intelligente degli impianti. In questo capitolo finale riassumiamo i contributi tecnici dei BACS al raggiungimento dei crediti di sostenibilità e il conseguente valore aggiunto economico-competitivo per gli immobili dotati di tali soluzioni.

8.1 BACS e prestazioni per la sostenibilità edilizia

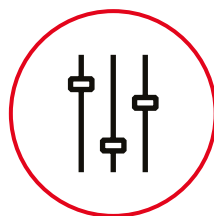
I moderni sistemi di automazione (BMS) integrano sensori, controllori e attuatori distribuiti, permettendo un controllo in tempo reale di tutti gli impianti – HVAC (climatizzazione), illuminazione, schermature solari, sicurezza e altri servizi edilizi. Questa integrazione digitale offre miglioramenti sostanziali nelle aree chiave valutate dalle certificazioni ambientali:



**EFFICIENZA
ED ENERGIA**



**QUALITÀ DELL'ARIA
INTERNA (IAQ)**



**COMFORT
TERMO-AMBIENTALE**



**GESTIONE INTELLIGENTE
DEGLI IMPIANTI**

- **Efficienza ed energia:** Monitoraggio avanzato e ottimizzazione dei consumi. I BACS raccolgono dati dettagliati su consumi elettrici e termici mediante sensori IoT e contatori intelligenti, fornendo dashboard in tempo reale e analisi storiche. Ciò consente di individuare sprechi e ottimizzare automaticamente il funzionamento di HVAC, luci e altri sistemi, riducendo il fabbisogno energetico complessivo. Ad esempio, un BMS ABB Cylon può modulare carichi e temperatura in base all'occupazione e alle condizioni meteo, contribuendo direttamente ai crediti LEED – Energy & Atmosphere (es. Optimize Energy Performance, Advanced Energy Metering) e ai requisiti BREEAM di monitoraggio dei consumi (crediti energia). Tale controllo intelligente è anche alla base dell'indicatore europeo Smart Readiness Indicator (SRI) introdotto dalla EPBD, dimostrando la prontezza tecnologica dell'edificio verso l'efficienza e la flessibilità energetica.
- **Qualità dell'aria interna (IAQ):** Controllo di ventilazione e inquinanti. Tramite sensori ambientali (CO₂, VOC, polveri) integrati su bus KNX o sistemi ABB, il BACS monitora costantemente la qualità dell'aria indoor. Quando i livelli superano le soglie, il sistema regola in automatico la ventilazione (aprendo serrande o aumentando la portata di aria fresca) per garantire aria pulita e salubre. Questo approccio di ventilazione on-demand permette di conseguire crediti in LEED (Indoor Environmental Quality) e WELL (Air), che richiedono monitoraggio continuo e miglioramento della qualità dell'aria. Ad esempio, la piattaforma ABB Cylon può integrare sensori KNX CO₂ per modulare la ventilazione in funzione dell'occupazione, soddisfacendo pienamente i criteri di IAQ dei protocolli. Ne risulta un ambiente più sano, elemento cruciale per il benessere degli occupanti promosso da WELL.

- **Comfort termo-ambientale:** Ottimizzazione di temperatura, umidità, luce e acustica. I BACS mantengono in automatico condizioni di comfort ottimali, adattando temperatura e umidità degli ambienti alle impostazioni desiderate (es. standard ASHRAE 55 per comfort termico). Attraverso termostati intelligenti e attuatori sui terminali HVAC, un sistema ABB Cylon assicura che la distribuzione della climatizzazione sia uniforme e risponda ai carichi interni ed esterni. Allo stesso modo, gestisce illuminazione e schermature (tapparelle motorizzate KNX, vetri elettrocromici) per bilanciare luce naturale, abbagliamento e guadagni solari. Questo controllo integrato concorre a crediti come Thermal Comfort in LEED e WELL Comfort (richieste di soddisfare specifici parametri microclimatici e dare controllo agli occupanti). In BREEAM, supporta i crediti Health & Wellbeing (es. Hea 01 Qualità ambientale interna e Hea 04 Comfort termico), garantendo che l'edificio offra ambienti confortevoli e con sistemi di regolazione adattivi. I BACS avanzati permettono persino di raccogliere feedback dagli occupanti (es. tramite app o pulsanti per segnalare discomfort), funzionalità premiata nei protocolli più recenti orientati al benessere user-centric.
- **Gestione intelligente degli impianti:** Integrazione, automazione e manutenzione predittiva. Un unico sistema BMS coordina tutte le sottostazioni – caldaie, chiller, unità di trattamento aria, illuminazione, ascensori, sistemi di sicurezza – realizzando una gestione integrata dell'edificio. Ciò porta ad operazioni sinergiche (es. riduzione automatica HVAC quando si spengono le luci in un'area vuota) che migliorano efficienza operativa e resilienza. Inoltre, tramite algoritmi software, i moderni BACS offrono analisi predittive: monitorano prestazioni dei componenti e inviano allarmi in caso di deviazioni, facilitando la manutenzione preventiva e riducendo i tempi di fermo. Questo approccio soddisfa criteri di commissioning permanente ed efficienza gestionale (es. Enhanced Commissioning di LEED, o crediti BREEAM in categoria Management sulla gestione di energia e attrezzature). Ad esempio, ABB Ability™ Energy & Asset Manager – piattaforma cloud integrabile col BMS – fornisce report per audit energetici e certificazioni (in un progetto ABB, è stata utilizzata come tool per la certificazione LEED e per visualizzare consumi e contributo delle rinnovabili in tempo reale). In sintesi, i BACS fungono da centro nevralgico di un "edificio intelligente", garantendo che tutti i sistemi collaborino per massimizzare prestazioni e sostenibilità.



BACS come "enabler" di sostenibilità

I sistemi di Building Automation avanzati sono elementi abilitanti fondamentali per raggiungere gli standard LEED, WELL e BREEAM. Essi operano come un regista digitale dell'edificio, **armonizzando efficienza energetica, comfort e salute ambientale degli occupanti**, e trasformando un semplice edificio in un asset immobiliare green ad alte prestazioni.



Integrazione tecnologica (ABB Cylon & KNX)

I BACS come ABB Cylon sfruttano protocolli aperti (es. KNX) e standard (BACnet, Modbus) per integrare dispositivi eterogenei - dai sensori CO₂ ai contatori energetici - in un ecosistema unificato. Questa interoperabilità **garantisce una gestione centralizzata e ottimizzata di tutti gli impianti, facilitando anche futuri ampliamenti e upgrade tecnologici.**

8.2 Crediti LEED, WELL, BREEAM influenzati dai BACS

Le tabelle seguenti riassumono alcuni dei principali crediti delle certificazioni LEED, WELL e BREEAM che possono essere facilitati o direttamente soddisfatti dall'implementazione di sistemi BACS avanzati. Per ciascun credito/feature sono indicati il tipo di contributo fornito dal BACS (diretto se la presenza di un BACS soddisfa requisiti specifici del credito; indiretto se il BACS aiuta a migliorare prestazioni utili al credito) e le tecnologie coinvolte (es. componenti della soluzione ABB Cylon o standard come KNX).

PRINCIPALI CREDITI LEED, WELL, BREEAM ABILITATI DA SISTEMI BACS (ABB CYLON, KNX, ETC.)

Protocollo & Credito	Tipo contributo	Contributo dei BACS	Tecnologie coinvolte
LEED v4 – EA: Advanced Energy Metering (Monitoraggio avanzato energia)	Diretto	Rilevamento e registrazione automatica di tutti i consumi energetici rilevanti richiesto dal credito. Il BACS funge da sistema di metering centralizzato e logging continuo dei dati di consumo.	Contattori intelligenti integrati nel BMS
LEED v4 – EA: Optimize Energy Performance (Ottimizzazione prestazioni energetiche)	Indiretto	Riduzione del consumo energetico totale dell'edificio attraverso l'automazione efficiente di climatizzazione, illuminazione e altri carichi. Un BACS avanzato ottimizza il funzionamento degli impianti, contribuendo a superare gli standard di riferimento energetico per ottenere i punti di efficienza.	Controllori HVAC ABB Cylon, sensori occupazione KNX/DALI, algoritmi ottimizzazione
WELL v2 – Air: Indoor Air Quality Monitoring & Feedback (Monitoraggio e feedback qualità aria)	Diretto	Monitoraggio costante di parametri IAQ (livelli di CO ₂ , VOC, PM2.5) e comunicazione dei dati in dashboard accessibili agli occupanti. Il BACS assicura che l'edificio disponga di sensori IAQ attivi e di allarmi/feedback in tempo reale richiesti dal protocollo WELL.	Sensori ambientali su bus KNX (CO ₂ , PM), interfaccia BMS per dashboard
WELL v2 – Comfort: Thermal Comfort (Comfort termico degli occupanti)	Diretto	Mantenimento di temperatura e umidità interna entro i range di comfort (ASHRAE 55) con sistemi automatici e possibilità di controllo individuale. Il BACS regola HVAC zona per zona e fornisce agli utenti interfacce per regolare localmente il setpoint, come richiesto da WELL per massimizzare il benessere termico.	Controller zone ABB Cylon, termostati ambiente KNX (es. ABB RoomTouch®), logica adattiva BMS su standard ASHRAE
BREEAM NC – Ene 02: Energy Monitoring (Monitoraggio dei consumi energetici)	Diretto	Presenza di un BMS con sub-metering che monitora separatamente i principali usi energetici (HVAC, illuminazione, prese, ecc.), con funzioni di allarme se i consumi superano soglie prefissate. Questo soddisfa i criteri BREEAM per un sistema di monitoraggio energetico dettagliato dei consumi dell'edificio.	Piattaforma BMS ABB con moduli di metering, sensori di corrente e comunicazione verso contatori di energia
BREEAM NC – Hea 02: Indoor Air Quality (Qualità dell'aria interna)	Indiretto	Implementazione di strategia di ventilazione controllata da sensori (demand-controlled ventilation) e uso di materiali a basse emissioni. Un BACS gestisce la ventilazione in base ai dati IAQ, garantendo aria fresca e diluizione degli inquinanti, contribuendo a rispettare le concentrazioni richieste di CO ₂ /VOC negli ambienti.	Sensori IAQ (CO ₂ , RH) KNX integrati, attuatori serrande e VAV controllati da BMS, logiche di ventilazione ABB Cylon
BREEAM In-Use/NC – Hea 04: Thermal Comfort (Comfort termico e controllo)	Indiretto	Progettazione e gestione dell'edificio per assicurare comfort termico in diverse stagioni e offrire controlli all'utente. Il BACS fornisce regolazione stagionale (tuning) e interfacce utente per regolare localmente temperatura/luce, migliorando il punteggio di comfort termico BREEAM e supportando anche il commissioning stagionale (Man 04).	Supervisione BMS per adattamento stagionale setpoint, dispositivi di controllo locale (KNX room controller) per occupanti, integrazione con schedulazioni orarie e meteo

Contributo **diretto** – il BACS soddisfa requisiti espliciti del credito;

Contributo **indiretto** – il BACS agevola il raggiungimento della performance richiesta.

2009-2019: Prime integrazioni BACS & LEED

1 primi edifici certificati LEED Gold adottano sistemi BMS per soddisfare i crediti di metering avanzato e commissioning. Si dimostra come il controllo automatico degli impianti riduca consumi e migliori l'EQ, gettando le basi per il ruolo dei BACS nelle certificazioni.

2016: BREEAM introduce requisiti BMS

Nei manuali BREEAM International 2016 compare l'obbligo di sub-metering dettagliato e la raccomandazione di un BMS per monitoraggio e ottimizzazione energetica. I BACS diventano praticamente indispensabili per raggiungere i livelli più alti (Excellent, Outstanding).

2020: WELL v2 e focus sul benessere

La certificazione WELL enfatizza monitoraggio continuo di aria, luce e comfort. I BACS di ultima generazione (es. ABB Cylon integrato con sensori IoT) sono implementati in uffici e ospedali per garantire aria salubre e comfort personalizzato, risultando fondamentali per ottenere la certificazione WELL Health-Safety Rating.

2023: Norme EN & EPBD - SRI

L'Europa recepisce obblighi di automazione: la direttiva EPBD "Case Green" 2023 rende i BACS obbligatori negli edifici grandi, introducendo l'indicatore di Smart Readiness (SKI). Questo spinge ulteriormente l'adozione di BACS, che ormai vanno di pari passo con qualsiasi strategia di certificazione volontaria.



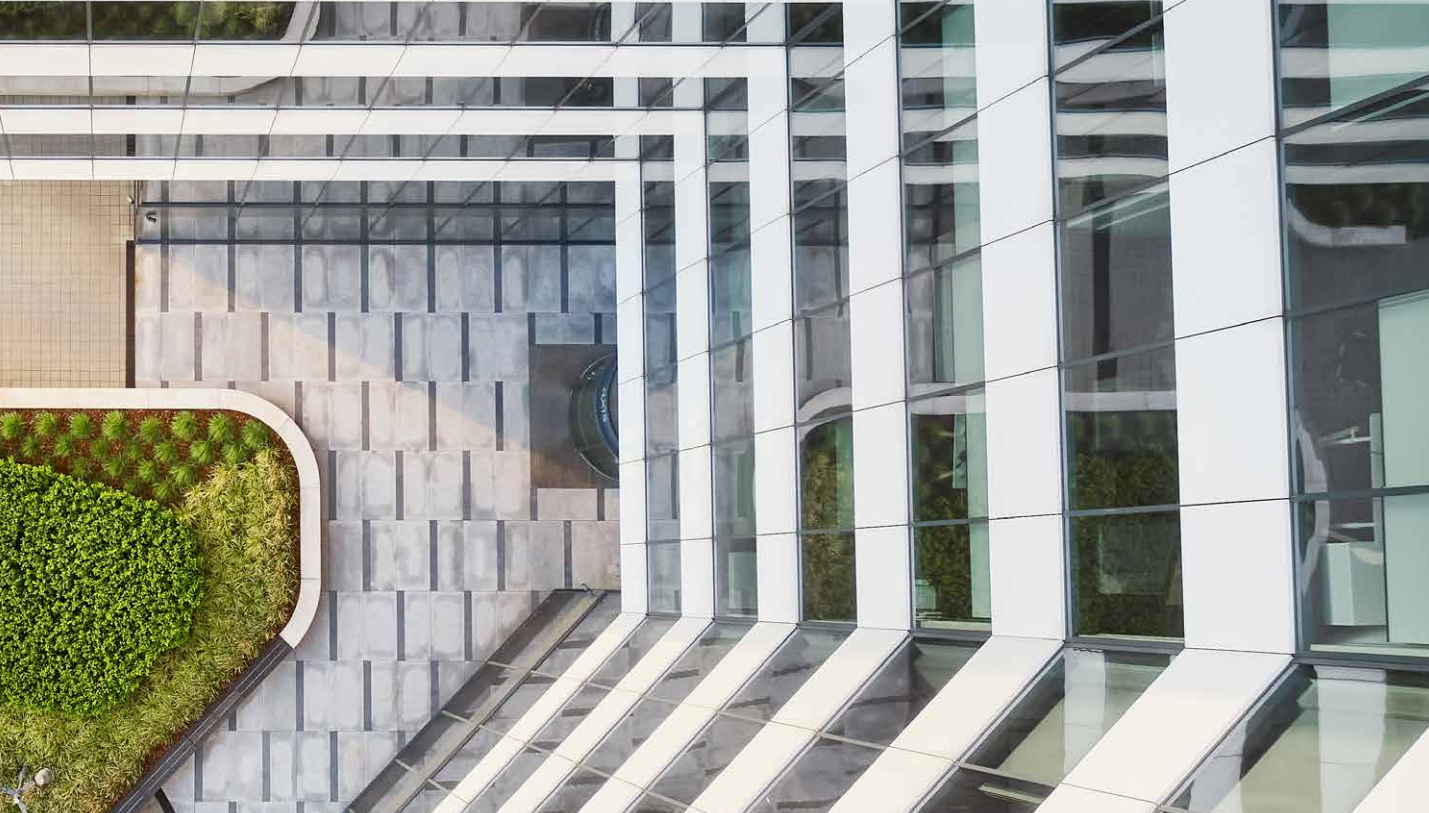


8.3 Valore economico e competitività degli immobili certificati

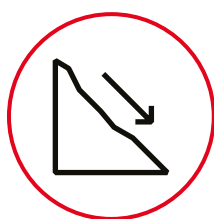
Oltre ai benefici ambientali, l'implementazione di BACS avanzati ha un ritorno economico tangibile per proprietari e investitori immobiliari. Attraverso il supporto alle certificazioni LEED, WELL e BREEAM, i BACS contribuiscono a trasformare un edificio da semplice spazio fisico a un vero asset di valore. Numerosi studi di mercato internazionali dimostrano che gli immobili certificati e gestiti con automazione avanzata beneficiano di: canoni di locazione e valori di vendita più elevati, minori tempi di sfritto e maggiore tasso di occupazione, nonché un miglior posizionamento sul mercato presso tenant e investitori attenti ai criteri ESG. Ad esempio, un'analisi su 20.000 edifici per uffici negli USA indica che quelli certificati LEED spuntano affitti medi ~4% più alti rispetto agli equivalenti non certificati, e altre ricerche riportano premium anche >10% in determinate zone e classi di asset. Questo "green premium" è legato sia alle bollette energetiche inferiori (un valore aggiunto per gli affittuari), sia all'immagine virtuosa dell'edificio che rafforza la reputazione del portafoglio immobiliare.

Vale la pena sottolineare come tali risultati non derivino unicamente dal "bollino" della certificazione in sé, ma dalle prestazioni migliorative ottenute grazie a sistemi come ABB Cylon. Un edificio digitalmente connesso e ottimizzato consuma meno, offre comfort superiore agli occupanti (migliorando la produttività negli ambienti di lavoro) e riduce i costi operativi di manutenzione grazie alla diagnostica preventiva. Tutto ciò si traduce in un asset più appetibile e resiliente: gli spazi si affittano più velocemente e mantengono il loro valore nel tempo, anche in fasi di mercato difficili, perché attraggono occupanti di alto profilo desiderosi di ambienti efficienti e sani. Inoltre, gli edifici dotati di BACS possono più facilmente adeguarsi a future normative e standard (garantendo future-proofing), un aspetto che gli investitori valutano positivamente in termini di rischio.

In definitiva, investire in un sistema BACS evoluto – come le soluzioni ABB Cylon – non è solo una scelta di efficienza operativa, ma una decisione strategica sul lungo periodo. Significa dotare l'immobile di un "cervello" tecnologico che lo rende più sostenibile, competitivo e di maggior valore. Come evidenziato nel settore Real Estate, le tecnologie smart per la gestione digitale non sono più un optional tecnico, ma costituiscono oggi un driver strategico per la sostenibilità, il valore economico e la reputazione dell'asset. Il percorso verso le certificazioni risulta facilitato e le performance dell'edificio sono dimostrate con trasparenza, offrendo garanzie sia in sede di valutazione che durante l'esercizio. In un'epoca di crescenti aspettative ESG, un edificio intelligente e certificato rappresenta un vantaggio competitivo concreto.



In conclusione, l'adozione di sistemi di automazione avanzati trasforma gli edifici in piattaforme attive di efficienza e benessere, capaci di eccellere nei rating LEED, BREEAM e WELL. Questo si riflette non solo nel prestigio del certificato ottenuto, ma anche in benefici finanziari misurabili e in una maggiore resilienza futura dell'investimento immobiliare. Un immobile dotato di BACS come ABB Cylon possiede infatti gli strumenti per adattarsi alle sfide di domani – dai nuovi standard energetici alle mutate esigenze degli occupanti – assicurando che il suo valore rimanga solido e in crescita nel tempo. In ultima analisi, smart buildings = smart investments: edifici più green, confortevoli e connessi significano proprietà più redditizie, durevoli e pronte a sostenere la competitività sul mercato immobiliare del futuro.



20-40%

**RIDUZIONE
CONSUMI HVAC**

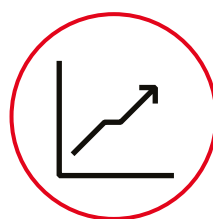
Ottimizzazione automatica clima e ventilazione grazie a BACS.



↑ 60%

**MIGLIOR COMFORT
OCCUPANTI**

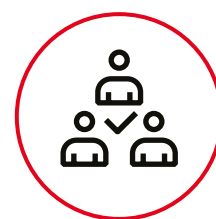
Indici di soddisfazione più alti con controllo intelligente (meno lamentele).



+4-10%

**PREMIUM
AFFITTO LEED**

Canone medio più alto per uffici certificati (studio 2019-2022).



**TASSO
OCCUPAZIONE**

Maggior velocità di locazione e minori vacancy per immobili green (trend di mercato).

09

GLOSSARIO

GLOSSARIO

HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning – Riscaldamento, Ventilazione e Condizionamento dell'Aria. Sistema integrato per il controllo del clima interno negli edifici.
UTA	Unità Trattamento Aria – Macchina centrale che filtra, riscalda/raffredda, umidifica/deumidifica e distribuisce l'aria negli ambienti.
CTA	Centrale Trattamento Aria – Termine spesso usato per UTA di grandi dimensioni a servizio di più zone o di tutto l'edificio.
VAV	Variable Air Volume – Sistema a portata d'aria variabile, che modula la quantità di aria immessa in base al carico termico richiesto.
CAV	Constant Air Volume – Sistema a portata d'aria costante, la regolazione della temperatura avviene variando la temperatura dell'aria stessa.
BMS	Building Management System – Sistema di supervisione e controllo centralizzato degli impianti tecnologici di un edificio.
BACS	Building Automation and Control Systems – Sistemi di automazione e controllo degli edifici, che integrano hardware e software per la gestione intelligente degli impianti.
VMC	Ventilazione Meccanica Controllata – Sistema per il ricambio automatico dell'aria negli ambienti, spesso con recupero di calore.
Fan-coil	Terminale idronico (ventilconvettore) che utilizza acqua calda o fredda e un ventilatore per riscaldare o raffreddare l'ambiente.
Trave fredda	Terminale idronico da soffitto che raffresca (o riscalda) l'ambiente tramite scambio termico con acqua, spesso senza ventilatore locale.
Pannello radiante	Sistema di riscaldamento/raffrescamento in cui l'acqua circola in tubazioni inserite in pavimenti, soffitti o pareti, regolando la temperatura tramite irraggiamento.
Split / Multi-split	Sistemi di climatizzazione a espansione diretta: una o più unità interne collegate a una o più unità esterne.
VRF / VRV	Variable Refrigerant Flow / Variable Refrigerant Volume – Sistemi a flusso di refrigerante variabile, che modulano la quantità di gas refrigerante verso le unità interne in base al carico richiesto.
DX	Direct Expansion – Espansione diretta: tecnologia in cui il fluido refrigerante circola direttamente negli scambiatori posti negli ambienti da climatizzare.
Chiller	Gruppo frigorifero che produce acqua refrigerata per il raffreddamento degli ambienti tramite fan-coil, UTA, ecc.
Pompa di calore	Macchina che trasferisce calore da una sorgente (aria, acqua, terreno) all'edificio, usata sia per riscaldare che per raffreddare.
Teleriscaldamento	Sistema centralizzato che distribuisce calore (acqua calda o vapore) prodotto in una centrale a più edifici tramite una rete di tubazioni.
Free cooling	Strategia di raffreddamento che sfrutta direttamente l'aria esterna fredda per climatizzare gli ambienti, riducendo l'uso di macchine frigorifere.
ACS	Acqua Calda Sanitaria – Acqua riscaldata per usi igienici (docce, lavandini, ecc.).
IAQ	Indoor Air Quality – Qualità dell'aria interna, parametro fondamentale per il comfort e la salute degli occupanti.
PMV / PPD	Predicted Mean Vote / Predicted Percentage of Dissatisfied – Indici internazionali per valutare il comfort termo-igrometrico percepito dagli occupanti.
ISO 52120 / EN 15232	Normative tecniche che definiscono i requisiti e le classi di efficienza energetica dei sistemi di automazione e controllo negli edifici.
BACnet / KNX / Modbus	Principali protocolli di comunicazione standard per l'automazione degli edifici, che permettono l'interoperabilità tra dispositivi di diversi produttori.
HEPA / ULPA	Filtri ad alta (HEPA) e ultra-alta (ULPA) efficienza per la rimozione di particelle e contaminanti dall'aria, usati in ambienti critici.

GLOSSARIO

PID / PI / P	Tipologie di regolazione automatica: Proporzionale-Integrale-Derivativo (PID), Proporzionale-Integrale (PI), Proporzionale (P), utilizzate nei controlli HVAC.
Inverter / VFD	Dispositivo elettronico che regola la velocità di motori elettrici (ventilatori, pompe, compressori), migliorando efficienza e comfort. VFD = Variable Frequency Drive.
Recuperatore di calore	Dispositivo che trasferisce calore dall'aria espulsa a quella immessa, riducendo i consumi energetici degli impianti di ventilazione.
Setpoint	Valore di riferimento impostato per una grandezza controllata (es. temperatura, umidità) che il sistema cerca di mantenere.
COP / EER / SCOP / SEER	Indicatori di efficienza energetica: COP (Coefficient of Performance) per il riscaldamento, EER (Energy Efficiency Ratio) per il raffrescamento, SCOP e SEER sono le versioni stagionali.
NZEB	Nearly Zero Energy Building – Edificio a energia quasi zero, standard europeo per edifici ad altissima efficienza energetica.
PEF	Primary Energy Factor – Fattore di energia primaria, usato per confrontare l'efficienza globale di diversi sistemi.
DCV	Demand Controlled Ventilation – Ventilazione controllata sulla base della domanda (es. tramite sensori di CO ₂).
VOC	Volatile Organic Compounds – Composti organici volatili, inquinanti monitorati nei sistemi di qualità dell'aria.
HOA	Hand-Off-Auto – Selettore manuale/automatico per il controllo locale di dispositivi.
CBX / FBXi / FBTi / CBT / CBV / FBVi	Sigle dei controllori ABB Cylon per automazione HVAC (diversi modelli per centrale, terminali, VAV, ecc.).
FLX	Field Level eXpansion – Moduli di espansione I/O per controllori ABB Cylon.
FusionAir / WRF	Serie di sensori intelligenti ABB Cylon per temperatura, umidità, CO ₂ , VOC, ecc.
Matrix / Aspect	Supervisori e piattaforme software ABB Cylon per la gestione centralizzata e l'analisi dei dati HVAC.
AHU	Air Handling Unit – Termine inglese per UTA (Unità Trattamento Aria).
ECM	Electronically Commutated Motor – Motore a commutazione elettronica, ad alta efficienza e regolazione fine.
SFP int	Specific Fan Power interno – Assorbimento specifico dei ventilatori, parametro di efficienza energetica.
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – Organismo internazionale di normazione tecnica HVAC.
UNI EN 16798 / UNI EN 15780	Norme tecniche europee per la qualità dell'aria interna, la ventilazione e la pulizia degli impianti aeraulici.
F-Gas	Gas fluorurati – Refrigeranti soggetti a regolamentazione europea per l'impatto ambientale.
PWM	Pulse Width Modulation – Modulazione a larghezza d'impulso, tecnica di controllo per valvole e motori.
Reheat	Post-riscaldamento dell'aria dopo la deumidificazione, per ottenere comfort ottimale.
Demand Response	Strategia di risposta alla domanda energetica, integrata nei sistemi smart grid.
Smart grid	Rete elettrica intelligente che integra produzione, consumo e automazione degli edifici.
Cloud AI / Edge Computing	Tecnologie digitali avanzate per l'ottimizzazione predittiva e adattativa degli impianti HVAC.
Norma/Sigla	Descrizione sintetica
ISO 52120-1 / UNI EN ISO 52120-1	Norma internazionale che definisce i requisiti minimi e le funzioni dei sistemi di automazione e controllo degli edifici (BACS) per migliorare l'efficienza energetica. Sostituisce la EN 15232.
EN 15232	Precedente norma europea che classificava l'efficienza energetica dei sistemi BACS in edifici; ora sostituita dalla ISO 52120-1.

GLOSSARIO

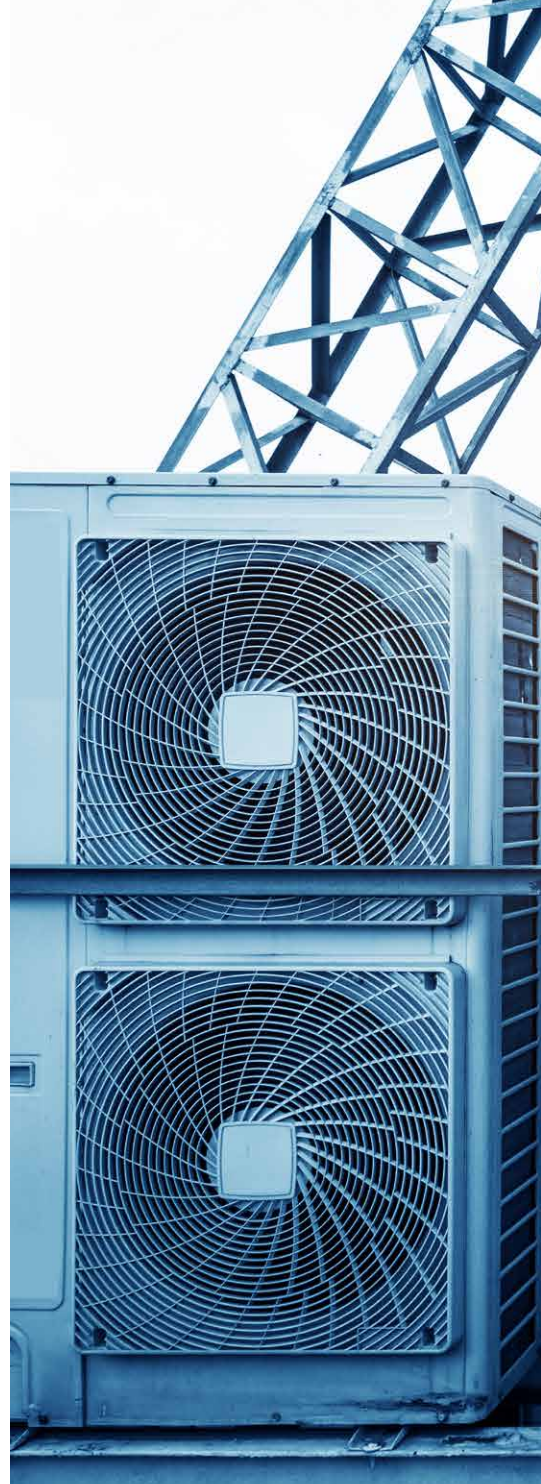
EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)	Direttiva europea sulla prestazione energetica degli edifici, aggiornata nel 2024 ("Direttiva Case Green"), che impone l'adozione di sistemi BACS e requisiti di efficienza energetica.
UNI 10339:1995	Storica norma italiana sugli impianti aeraulici ai fini del benessere; definiva portate minime di aria esterna, criteri di filtrazione, ecc. Ritirata nel 2024.
UNI EN 16798	Norma europea che sostituisce la UNI 10339:1995, definisce i livelli di qualità dell'aria interna (IAQ), portate di ventilazione, temperature e umidità raccomandate.
UNI EN 15780:2011	Norma tecnica che definisce gli standard di pulizia e le metodologie di ispezione/bonifica per sistemi di ventilazione e condotte aerauliche.
ASHRAE 55	Standard internazionale (USA) che definisce i criteri di comfort termico negli ambienti interni, inclusi intervalli di temperatura e umidità.
ISO 7730	Norma internazionale che specifica i metodi per valutare il comfort termico negli ambienti chiusi tramite indici come PMV e PPD.
Regolamento UE 1253/2014 (Ecodesign)	Regolamento europeo che impone requisiti minimi di efficienza energetica, recupero di calore e ventilatori a velocità variabile per le UTA (Unità Trattamento Aria).
ISO 16890	Standard internazionale per la classificazione dei filtri aria in base all'efficacia di trattenimento delle polveri sottili (ePM10, ePM2.5, ePM1). Sostituisce la EN 779.
EN 779	Vecchia norma europea per la classificazione dei filtri aria (G, M, F, H, U), ora sostituita da ISO 16890.
VDI 6022	Standard tedesco per la progettazione igienica e la manutenzione degli impianti di ventilazione e climatizzazione, in particolare per UTA "igieniche".
ISO 846	Norma internazionale che valuta la resistenza dei materiali alla crescita di microrganismi, rilevante per UTA in ambienti sanitari/industriali.
D.Lgs. 81/2008	Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro in Italia; impone controlli, manutenzione e sanificazione periodica degli impianti di ventilazione.
D.P.R. 74/2013	Regolamento italiano che disciplina l'esercizio, la manutenzione e il controllo dell'efficienza energetica degli impianti termici.
D.M. 10 febbraio 2014	Decreto che introduce il Libretto di impianto obbligatorio per tutti gli impianti termici (riscaldamento e climatizzazione) sopra i 12 kW.
D.M. 274/1997	Decreto che disciplina le attività di pulizia, disinfezione e sanificazione degli impianti aeraulici, con obbligo di certificazione da parte di ditte abilitate.
Regolamento EU 517/2014 (F-Gas)	Regolamento europeo sui gas fluorurati a effetto serra, impone controlli periodici sulle fughe di refrigerante nei sistemi HVAC.
D.P.R. 146/2018	Regolamento italiano che recepisce il regolamento F-Gas europeo, disciplina la gestione dei gas fluorurati negli impianti di refrigerazione e climatizzazione.
CAM (Criteri Ambientali Minimi)	Requisiti ambientali per gli appalti pubblici in edilizia, premiano la presenza di sistemi di monitoraggio e controllo energetico integrati a BACS di Classe A.
Conto Termico (D.M. 16/02/2016)	Incentivo italiano per l'installazione di tecnologie di controllo e regolazione automatica degli impianti termici ed elettrici negli edifici pubblici.
Ecobonus	Detrazione fiscale per la riqualificazione energetica degli edifici, che include anche la building automation se conforme a UNI EN ISO 52120-1.

Ulteriori informazioni

Ci riserviamo il diritto di apportare modifiche tecniche o al contenuto di questo documento senza preavviso.

ABB non si assume alcuna responsabilità per la presenza di possibili errori o informazioni insufficienti in questo documento.

Tutti i diritti di questo documento, dei testi e delle illustrazioni nello stesso contenuti sono riservati. In assenza di autorizzazione scritta preventiva di ABB, è vietata qualsiasi riproduzione, divulgazione a terzi o l'utilizzo – parziale o totale – dei contenuti di questo documento.



Electrification Business
ABB S.p.A.

Servizio Clienti ABB SACE

Per ricevere informazioni
sui prodotti di Bassa Tensione:

02 2415 1515

attivo tutti i giorni da lunedì al sabato
dalle ore 9.00 alle ore 19.00.

Per tutte le informazioni legate a
ordini di vendita e consegne di prodotti
di Bassa Tensione:

Customer Support 02 2415 2415

attivo dal lunedì al venerdì
dalle ore 8.00 alle ore 18.00.

abb.it/lowvoltage