

Cristiano Vergani
Responsabile R & S
Deparia Engineering S.r.l.
Email: cristiano.vergani@deparia.com

Tecnologia e collaudi HVAC

Gli utenti degli edifici di recente costruzione o ristrutturazione, lamentano spesso vari inconvenienti dovuti a impianti tecnologici difettosi: in particolare, gli impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria sono caratterizzati da una elevata probabilità di malfunzionamento, a causa dell'elevato grado di complessità che li contraddistingue. Per questo motivo, un collaudo accurato è indispensabile per evitare inconvenienti spiacevoli sotto il profilo del comfort e dei costi di gestione.

Salvo eccezioni, nel mondo reale l'edificazione e la ristrutturazione degli stabili sono sempre caratterizzate da un tratto comune: si è sempre in ritardo sulla tabella di marcia. E se per caso non si è in ritardo, normalmente vuol dire che per consegnare l'edificio in tempo si è dovuta saltare qualche tappa. Il più delle volte, la tappa più facile da cancellare è rappresentata dal collaudo degli impianti, se non altro perché viene per ultima, quindi la sua mancata esecuzione non può pregiudicare le altre. Di solito, le conseguenze di un collaudo mancato o frettoloso non tardano a manifestarsi:

- discomfort degli occupanti;
- insoddisfazione del committente (e di conseguenza sospensione o rallentamento dei pagamenti);
- probabile o certo incremento dei costi energetici e di manutenzione;
- problemi di varia natura che potrebbero comportare gravi conseguenze a lungo termine (ridotta vita operativa di componenti chiave dell'impianto, rotture e disfunzioni a catena, ecc.).

L'importanza del problema è sottolineata dal fatto che, negli ultimi tempi, le clausole che riguardano la fase di collaudo degli impianti siano state

puntualmente inserite in ogni contratto d'impresa di una qualche importanza, con tanto di gravose penali in caso di inadempienza. Questo non deve stupire, in quanto l'importanza dell'impianto HVAC è cresciuta notevolmente in termini di valore percentuale rispetto al costo complessivo dell'edificio: allo stesso tempo, è cresciuta la consapevolezza delle conseguenze del suo malfunzionamento negli utenti. Per questi motivi, la funzionalità di questi impianti, indispensabili al benessere degli occupanti, è sempre oggetto della massima attenzione, mentre il ricorso a periti specializzati, in caso di controversia tra committente ed impresa, è un fenomeno in netta ascesa. Un aspetto significativo è rappresentato anche dalla comparsa di figure professionali specializzate nel collaudo di specifici settori d'impianto. Esistono infatti strutture di consulenza in grado di fornire team di collaudo formati da esperti in aeraulica, di macchine termiche, di idronica, di controlli elettronici, di contenimento del rumore, di qualità dell'aria interna, di normativa e rapporti con le autorità sanitarie, secondo un modello ampiamente collaudato nella realtà nord americana.

Scopo del collaudo

L'impianto appena assemblato deve dimostrare di potere garantire le prestazioni di progetto: in particolare, devono essere verificati e testati tutti i dispositivi aeraulici, dalle prese di aria esterna fino alle bocchette interne di distribuzione, passando per le unità centralizzate di trattamento dell'aria. Tutti i servomeccanismi, i ventilatori, le unità condensanti, le serrande, i filtri, le condotte, i giunti devono essere accuratamente ispezionati, controllati e messi alla prova. Allo stesso modo, devono essere esaminati tutti i dispositivi idronici, come le pompe, le tubazioni di distribuzione dell'acqua, le unità di raffreddamento e riscaldamento e gli scambiatori di calore. Infine, una volta controllati i singoli elementi, si dovrà passare alla verifica prestazionale completa, con la misura delle portate e della temperatura dei flussi, da effettuare nelle condotte e nei locali serviti dall'impianto, con l'integrazione di tutte le verifiche ambientali che possono incidere sul comfort degli occupanti.

Un lavoro così complesso necessita di una accurata pianificazione, se non si vuole incorrere in inutili perdite di tempo.

Pianificazione del collaudo

La scaletta "tipo" prevede innanzi tutto la raccolta del materiale cartaceo: ci si deve far consegnare, dal responsabile della direzione dei lavori, il progetto generale d'impianto, con i disegni esecutivi di ogni singola sezione, verificandone lo stato di aggiornamento. Inoltre, ci si dovrà procurare tutta la documentazione relativa ad ogni singolo elemento soggetto a prova, specialmente i diagrammi di lavoro di ventilatori e pompe. Quindi, si dovranno esaminare accuratamente i documenti raccolti, in modo da impadronirsi della struttura generale e del funzionamento dell'impianto nel suo complesso.

A questo punto, si potrà passare alla pianificazione vera e propria, con la sequenza temporale dell'ispezione suddivisa per blocchi, in base alla tipologia dei controlli: in questo modo, si potrà decidere la dotazione di attrezzature necessaria per la giornata, nonché pianificare la presenza delle persone che possono servire nei vari momenti (elettricista, tecnico programmatore, idraulico, lattoniere, rappresentante della proprietà, ecc.).

La prima fase operativa consiste nel controllare che l'impianto si trovi nelle condizioni minime indispensabili per il collaudo, cioè si deve presentare pulito, libero da residui di lavorazione, con tutti i dispositivi rotanti già testati per il corretto verso di rotazione (questa operazione deve essere a carico di chi ha eseguito gli allacciamenti elettrici).

Volendo schematizzare la sequenza delle operazioni, si dovrà procedere come segue:

- Verifiche preliminari degli impianti e delle apparecchiature, in particolare:
 - stato di pulizia
 - prova idraulica delle tubazioni
 - prova di tenuta delle canalizzazioni
 - prove di circolazione
- Verifica della rispondenza degli impianti alle prescrizioni contrattuali, in qualità e quantità.
- Verifica della rispondenza di apparecchiature ed impianti alle norme e leggi vigenti.

- norme UNI-CTI;
- norme UNI-CIG;
- decreti, leggi, regolamenti, circolari e prescrizioni generali e locali
- Verifica ed approvazione del manuale di uso e manutenzione e dei relativi allegati, come disegni esecutivi, elenco ricambi, documentazione generale sui componenti adottati ecc.
- Verifica del bilanciamento degli impianti.
- Controllo della certificazione del costruttore sulle prestazioni dei componenti basilari d'impianto.
- Eventuale revisione di parti di impianto per renderle collaudabili e conseguente revisione di schemi, disegni, procedure
- Collaudo funzionale e prestazionale degli impianti, eseguito simulando le varie possibili condizioni di funzionamento pieno carico, media stagione, fasi transitorie. In particolare:
 - misura a campione della portata nelle canalizzazioni
 - misura a campione delle portate di diffusori e griglie
 - misura a campione delle temperature interne ed esterne, dell'umidità e della velocità dell'aria interne
 - misura a campione della rumorosità interna
 - controllo dell'efficienza dei filtri
 - controllo dell'efficienza degli scambiatori di calore
 - misure e controlli supplementari che dovessero rendersi necessari
- Redazione del verbale di collaudo.

I controlli del sistema aeraulico

In genere conviene iniziare dal sistema aeraulico, procedendo dai ventilatori, dopo avere controllato che le varie serrande poste sul percorso dell'aria siano state predisposte, manualmente o attraverso gli appositi servomotori elettrici, in una posizione compatibile con l'azionamento delle unità ventilanti. Il primo aspetto da controllare è l'assorbimento elettrico, seguito dalla misura della velocità di rotazione della girante. Per questi controlli è necessario munirsi di una

pinza amperometrica e di un tachimetro, preferibilmente senza contatto, quindi di tipo ottico. La procedura di avviamento elettrico dovrebbe essere già stata effettuata dall'elettricista, con la conseguente taratura dei tempi di passaggio da stella a triangolo o la programmazione dello starter o dell'inverter elettronico di comando. A volte purtroppo non è così, e la conseguente messa a punto dell'avviamento può comportare una grossa perdita di tempo. Una volta superato questo scoglio, si può passare alle verifiche strumentali: se il ventilatore è comandato da un inverter, in genere tutte le informazioni necessarie sono già presenti sul pannello operatore dello strumento o su quello principale del quadro elettrico di alimentazione, in particolare l'assorbimento elettrico e il numero di giri. Se la girante è accoppiata al motore da una trasmissione a cinghie e pulegge, si dovrà controllare la correttezza del rapporto di trasmissione e il corretto stato di tensione delle cinghie stesse. Naturalmente occorrerà indagare sulle cause di eventuali rumori anomali e di vibrazioni accentuate: non è affatto inconsueto che, per incuria del fornitore o per un danneggiamento durante il trasporto, ci si trovi in presenza di giranti sbilanciate o di cuscinetti rovinati o privi di lubrificazione. Se tutto va bene, si può passare alla verifica dei parametri di pressione, portata e rendimento. Queste misure sono facilmente eseguibili per mezzo di uno strumento elettronico portatile multifunzione collegato ad un tubo di Pitot. Uno strumento multifunzione evoluto, rappresenta un dispositivo quasi indispensabile nei collaudi, in quanto permette di velocizzare enormemente le misure e di ottimizzare gli investimenti. Infatti, un solo strumento, purché dotato delle opportune sonde, può effettuare tutte le misure aerauliche necessarie, rilasciando i valori rilevati già elaborati e corretti in base ai parametri ambientali. Una volta controllati i ventilatori, si può passare all'esame ispettivo dell'esterno delle condotte e delle serrande (di parzializzazione, miscelazione, ecc.). Si dovrà verificare l'assenza di trafileggi e posizionare le serrande manuali nella posizione di lavoro prevista. Si passerà quindi alla verifica delle portate e della temperatura dell'aria nelle condotte. La verifica delle portate a livello dei terminali si effettuerà durante le operazioni finali di bilanciamento dell'impianto, fino a raggiungere i valori nominali previsti dal progetto.

I controlli del sistema idronico

Come nel sistema aeraulico, si procede a partire dall'elemento attivo più importante, cioè dalle pompe. Una volta verificato l'avviamento e l'assorbimento elettrico, si può passare alle misure di portata e pressione attraverso l'impiego di ugelli Venturi o diaframmi calibrati e sensori di pressione. Si dovranno quindi ispezionare tutte le tubazioni e gli scambiatori di calore per escludere eventuali perdite. Tutte le valvole parzializzatrici manuali e automatiche dovranno essere poste in posizione di massima apertura: prima di procedere ai rilevamenti di temperatura si dovranno controllare le perdite di carico a valle degli elementi principali (segmenti di tubazione, scambiatori ecc.) in modo da individuare eventuali strozzature dovute a detriti o difetti di giunzione. Il bilanciamento dell'impianto idronico dovrà essere effettuato insieme a quello aeraulico, con la verifica della portata e della temperatura dell'aria immessa in ambiente dai vari diffusori (griglie, anemostati, ugelli).

Verifiche in ambiente

Le verifiche in ambiente dovrebbero rappresentare il momento più importante del collaudo, in quanto il fine ultimo di tutta l'operazione dovrebbe essere la tutela del comfort degli occupanti: invece, di frequente questa fase viene trascurata o eseguita frettolosamente, perché quando l'impianto ha dimostrato di soddisfare i dati di progetto, si suppone che vada tutto bene. Purtroppo, è evidente che così non è, dato che in molti casi, dopo un po' di tempo dall'inaugurazione dell'edificio, capita di dover rimettere mano in fretta e furia all'impianto di condizionamento perché gli utenti si lamentano o addirittura accusano malanni vari a causa, ad esempio, di una errata distribuzione o miscelazione dell'aria.

Le verifiche in ambiente si possono effettuare staticamente per quando riguarda le grandezze termoigrometriche, ovvero è possibile posizionare delle stazioni di rilevamento nelle zone abitualmente occupate, e registrare i dati di temperatura ed umidità nell'arco delle 24 ore. Questa operazione può essere effettuata per mezzo di campionatori elettronici dotati di sonde, oppure più semplicemente, con i classici registratori portatili a pennini e tamburo di carta, con carica manuale a molla. Questi rilevamenti devono però essere integrati con una precisa

mappatura della velocità e della direzione dell'aria nell'ambiente, utilizzando anemometri con sensori a filo caldo da montare su prolunghe. In alcuni casi può essere indicato l'impiego di fumogeni, molto efficaci nell'evidenziare corti circuiti tra mandata e ripresa oppure zone di "calma" in cui il ricambio dell'aria non avviene affatto. Naturalmente, la taratura in apertura e direzionalità delle griglie o degli ugelli di mandata dovrà essere ottimizzata per la massima efficienza di ventilazione e per evitare eccessive velocità dell'aria in corrispondenza degli occupanti.

Redazione del verbale di collaudo

Naturalmente, durante le operazioni di collaudo, tutti i parametri rilevati devono essere annotati o registrati elettronicamente. E' consigliabile documentare tutte le operazioni eseguite con fotografie o riprese con telecamera, sia per il proprio archivio personale e per la formazione dei propri collaboratori, sia come documentazione da allegare al rapporto di collaudo. La redazione del rapporto di collaudo deve essere eseguita con molta attenzione, dato che implica delle responsabilità e perché normalmente sulle operazioni effettuate è riconosciuta una garanzia: se il cliente dovesse rilevare ancora delle anomalie dopo le operazioni di collaudo, il collaudatore ne dovrà rispondere. Il documento deve contenere le generalità del committente e degli esecutori delle operazioni. Ogni collaudo del singolo componente deve riportare marca e modello del particolare, i valori di targa dichiarati dal costruttore e i dati registrati durante le rilevazioni strumentali effettuate, più gli eventuali commenti del collaudatore. Il documento deve comprendere anche la lista degli strumenti utilizzati, completa dei certificati di calibrazione individuali. Devono essere quindi inclusi i valori rilevati *in toto* sull'impianto e i campionamenti ambientali. Il verbale termina con la dichiarazione di buon funzionamento dell'impianto nelle diverse condizioni di prova determinate.

La misura della velocità dell'aria

Il campo di misura della velocità dell'aria si estende da 0 a 100 m/s, e può essere suddiviso in tre sezioni:

- basse velocità da 0 a 5 m/s
- medie velocità da 5 a 40 m/s
- elevate velocità da 40 a 100 m/s

A seconda del campo interessato, si possono utilizzare sonde di misura basate su differenti tecnologie: le sonde termiche sono molto precise per velocità fino a 5 m/s. Le sonde ad elica sono preferibili per le velocità intermedie, mentre i tubi di Pitot sono ideali per le alte velocità. Anche la temperatura dell'aria è importante nella scelta: le sonde termiche si possono utilizzare fino a 70°C, le normali sonde ad elica sono indicate fino a 60°C, ma esistono versioni speciali che possono funzionare anche a 350°C. I tubi di Pitot possono essere utilizzati fino ad una temperatura di 600°C.

Le sonde termiche

Dette anche "a filo caldo", si basano sul principio della sottrazione di calore da parte della corrente d'aria che investe un filamento o un sensore resistivo mantenuto a temperatura costante da un circuito elettronico. La corrente erogata dal circuito è proporzionale alla velocità dell'aria che investe il sensore. Se il flusso d'aria è turbolento, queste sonde manifestano un errore per eccesso, in quanto reagiscono al flusso d'aria in modo non-direzionale. Nei condotti per condizionamento, si trovano spesso condizioni di elevata turbolenza: per minimizzare l'errore di misura, occorre inserire la sonda in un punto dove l'andamento è rettilineo per una estensione equivalente a almeno dieci diametri del condotto a monte della sonda e almeno quattro diametri a valle.

Le sonde ad elica

Il principio di misura delle sonde ad elica, è basato sulla conversione della rotazione di una ventolina in un segnale elettrico dotato di frequenza proporzionale alla velocità dell'aria. Ventole di diametro maggiore (60 o 100 mm) sono le più indicate per misurare flussi mediamente turbolenti a bassa velocità

(es. all'uscita dei diffusori a griglia). Per le misure nei condotti si utilizza una ventolina di piccolo diametro (15 mm) che, avendo una massa ridotta, può misurare velocità relativamente elevate (circa 60 m/s). Le sonde ad elica sono molto sensibili all'orientamento del flusso rispetto all'asse di rotazione: l'indicazione è massima quando la direzione del flusso coincide con l'asse dell'elica. Come nelle sonde termiche, anche per le sonde ad elica è necessario adottare delle precauzioni particolari nelle misure in condotto, utilizzando solo tratti rettilinei per almeno dieci diametri a monte e quattro a valle del punto di misura.

I tubi di Pitot

I tubi di Pitot devono essere utilizzati in unione ad un manometro differenziale: grazie alla loro struttura, immersi in un flusso d'aria, sono in grado di raccogliere contemporaneamente i valori di pressione statica e di pressione totale: conoscendo il valore differenziale tra le due pressioni e la densità dell'aria, è facilmente ricavabile la velocità del flusso, utilizzando un coefficiente di correzione che è tipico del tubo utilizzato. In genere i tubi di Pitot si utilizzano connessi a strumenti multifunzione in grado di rilevare contemporaneamente umidità e temperatura dell'aria, e quindi, di fornire il valore di velocità calcolato in tempo reale.

Poiché la velocità dell'aria all'interno dei condotti non è affatto uniforme, ma soggetta a turbolenze e ad un gradiente crescente di velocità procedendo dalle pareti verso il centro, per effettuare misure corrette è necessario procedere secondo le procedure descritte nella norma EN 12599: procedura con griglia di misura, adatta per sezioni quadrate; procedura ad assi baricentrici, per griglia di misura in sezioni circolari; procedura logaritmica, per griglia di misura sempre per sezioni circolari. Molti strumenti multifunzione in commercio possono accettare in ingresso tutti i tipi di sonda anemometrica esistenti, e sono in grado di effettuare automaticamente i calcoli necessari ad ottenere direttamente il valore di portata, immettendo preventivamente diametro (o dimensioni) della sezione e fattore di forma del condotto.

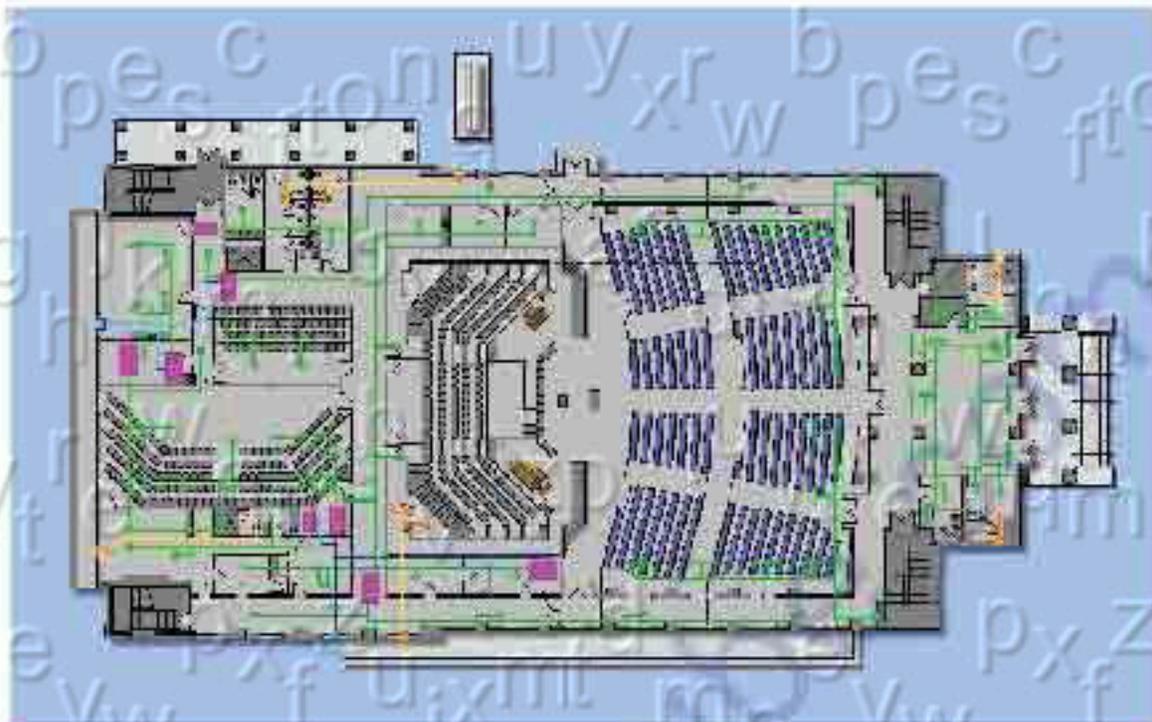


Figura 1

Per pianificare efficacemente le procedure di collaudo occorre partire dal progetto complessivo dell'impianto. Innanzi tutto si deve verificare lo stato di aggiornamento dei disegni: può capitare che alcune modifiche dell'ultimo momento non siano state riportate sulla copia in vostro possesso.

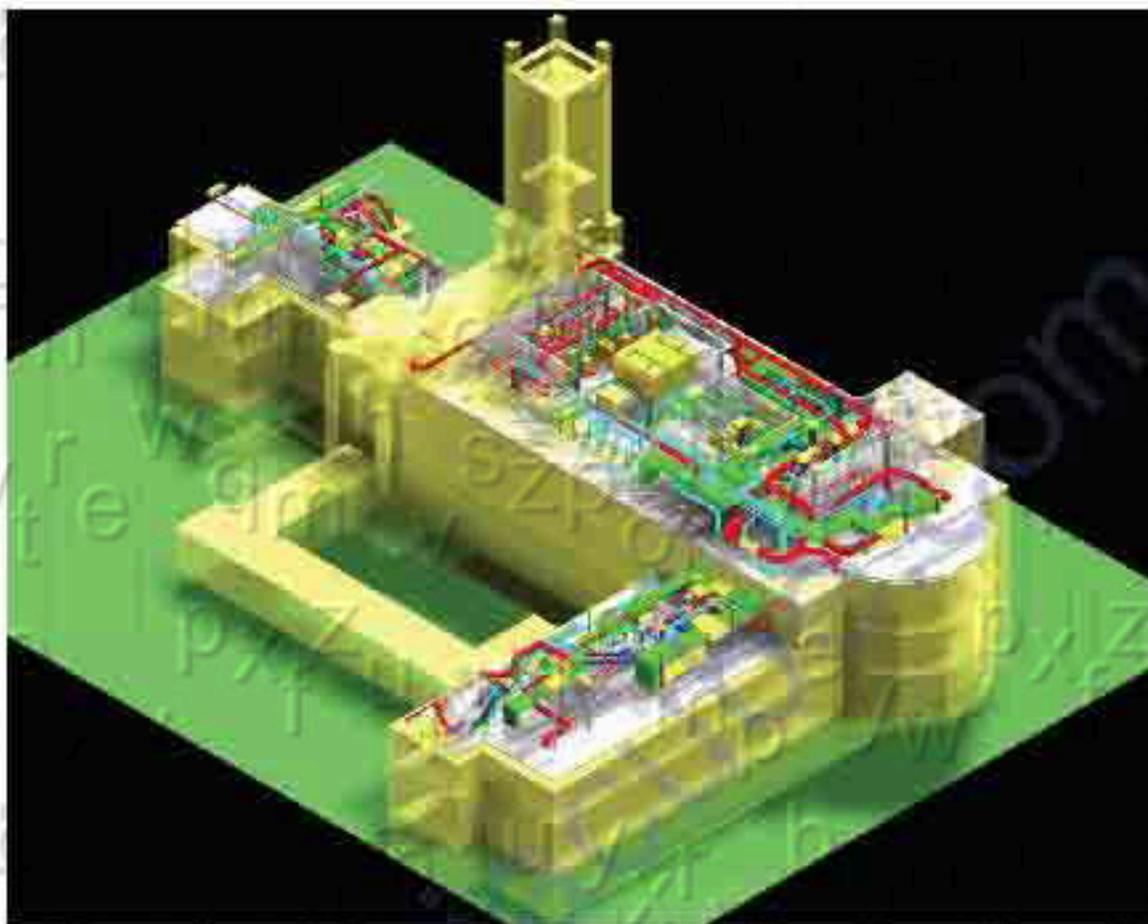


Figura 2

Nel caso di impianti HVAC molto complessi, un rendering in 3D può essere molto utile per identificare i vari sottoinsiemi e dispositivi di servizio dispersi ovunque nell'edificio.

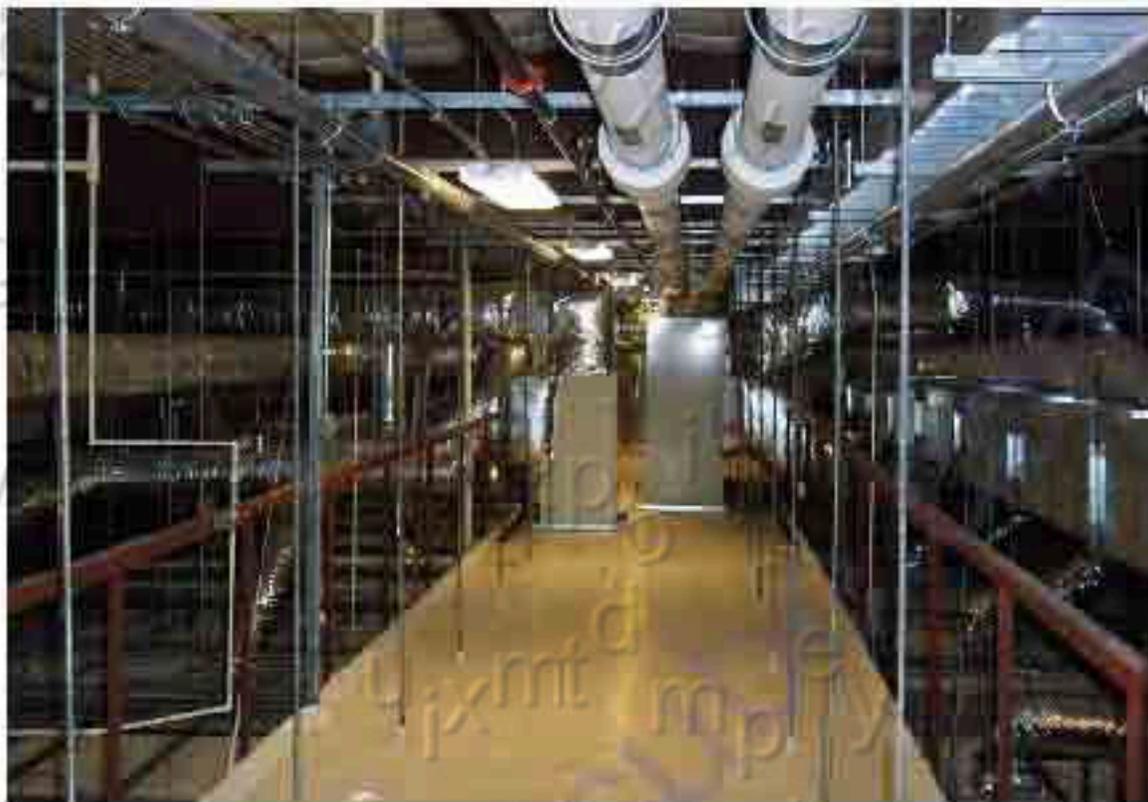


Figura 3

Gli spazi tecnici sono sempre sfruttati al massimo, e non sempre è agevole accedere ai vari dispositivi da controllare: nell'immagine è visibile un controsoffitto attrezzato, parzialmente ispezionabile per mezzo di una passerella sospesa a tiranti metallici.



Figura 4

Prima di ricorrere alle misure strumentali, si deve eseguire una completa ispezione visiva senza tralasciare alcun particolare: giunti antivibranti, raccordi, filtri, coibentazioni, guarnizioni, portelli di ispezione, etichette identificatrici e così via, ogni componente deve essere verificato dal punto di vista della conformità al progetto e della funzionalità.

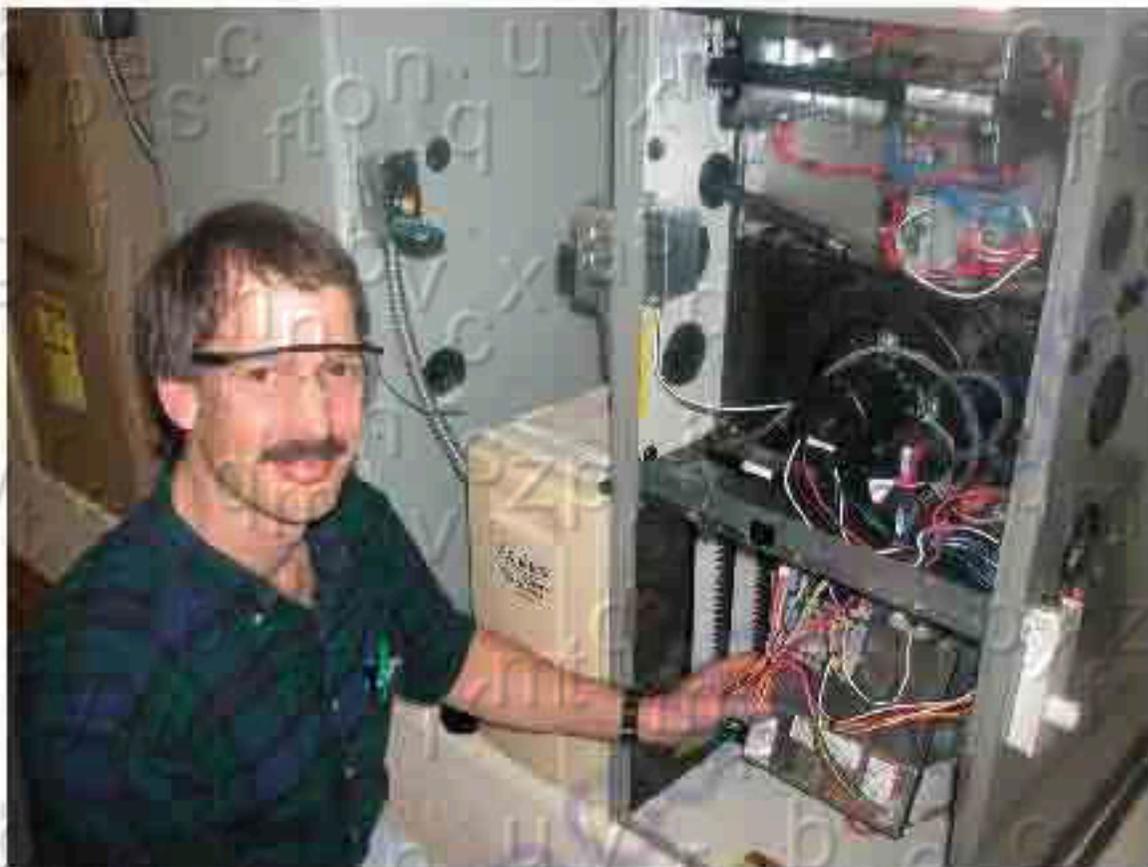


Figura 5

Gli impianti HVAC sono caratterizzati da una elevata presenza di controlli elettronici, molto spesso responsabili di malfunzionamenti difficili da diagnosticare. I problemi di origine elettronica richiedono pazienza, metodicità, un elevato grado di preparazione ed una strumentazione all'altezza della situazione.



Figura 6

Per la messa a punto dei circuiti frigogeni oggi sono disponibili strumenti molto sofisticati, che permettono di verificare accuratamente tutti i parametri di funzionamento attraverso l'impiego di computer palmari, più piccoli, maneggevoli e facili da usare rispetto ai normali computer portatili.



Figura 7

L'uso di uno strumento multifunzione è di grande utilità durante i collaudi: i modelli più recenti possiedono la capacità di rilevare tutti i parametri significativi del funzionamento di un impianto HVAC, memorizzarli, stamparli e riversarli in un computer per analizzarli in modo approfondito o riportarli all'interno di documenti.



Figura 8

Oltre ai normali attrezzi utili ad accedere "meccanicamente" ai vari dispositivi d'impianto, si deve sempre avere a disposizione una serie di apparecchi di ispezione e controllo: nell'immagine possiamo vedere, tra gli altri, una pinza amperometrica per verificare il corretto assorbimento dei dispositivi elettrici, un cerca fughe per gas criogeni, un termometro digitale a contatto. Un misuratore laser di distanze può essere veramente utile per verificare posizionamenti e misure in modo rapido e sicuro. Non ci si deve mai scordare una piccola ma potente torcia elettrica, preferibilmente dotata di una base magnetica per poterla fissare alle superfici metalliche.



Figura 9

Per ottenere una misura di portata attendibile, non è possibile utilizzare direttamente una sonda anemometrica su una griglia o un anemostato: occorre utilizzare un adattatore a doppio cono, dotato di sonda collocata al centro della giunzione tra i coni contrapposti. Nella immagine è riportato un cono di misura dotato di anemometro a scala analogica.



Figura 10

Un tipico esempio di impianto di condizionamento a convettore acqua/aria e controlli individuali di portata e temperatura.



Figura 11

Anche per la misura precisa della portata degli anemostati è necessario un adattatore a coni contrapposti: il modello illustrato è formato da una cappa in tessuto a tenuta d'aria ed incorpora un misuratore digitale di flusso con correzione automatica in base a temperatura e umidità ambientale.



Figura 12

Misura di portata in un condotto di grande diametro. In questo caso occorre utilizzare un tubo di Pitot di lunghezza almeno pari al diametro del condotto, eseguendo numerose misure ad intervalli equidistanti dal centro verso la periferia della sezione. Per facilitare la misura è consigliabile segnare con un pennarello dei riferimenti sul corpo della sonda. Ad ogni misura è necessario assicurarsi che l'estremità del tubo, piegata a 90° , sia rivolta con precisione verso la provenienza del flusso: per fare ciò basterà ruotare leggermente il tubo tra le dita fino a leggere il valore massimo per quella data posizione. Il manometro differenziale utilizzato può fornire direttamente il valore di portata che risulta dalla media delle diverse misure effettuate.



Figura 13

A volte, è necessario spostare il punto di lavoro del ventilatore alterando il rapporto di trasmissione tra motore e girante, montando pulegge di diametro diverso fino ad ottenere il numero di giri ottimale.

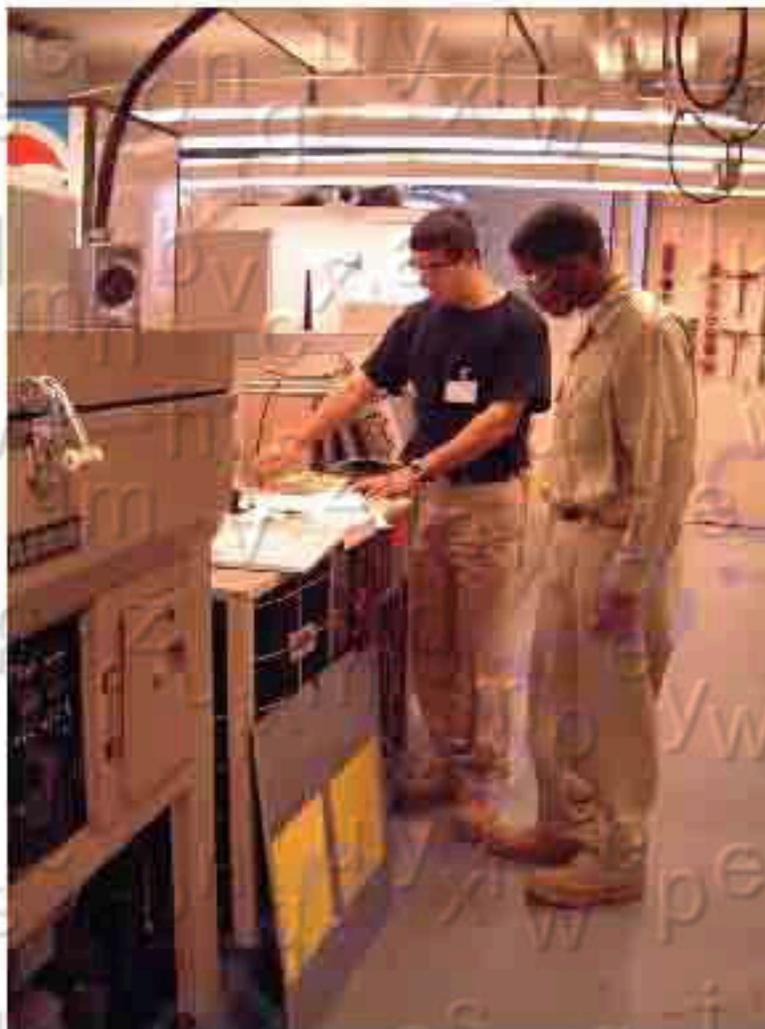


Figura 14

Prima di mettere le mani sull'impianto, è meglio studiare attentamente il progetto, dialogando con il progettista o il responsabile della direzione dei lavori, cercando di individuare tutti i possibili punti critici della procedura di collaudo.

Principali riferimenti normativi per le operazioni di verifica e collaudo degli impianti HVAC

UNI 5104/83. Impianti di condizionamento dell'aria. Norme per l'ordinazione, l'offerta ed il collaudo (norma ritirata per sostituzione con UNI 10339/95; contiene tuttavia alcuni riferimenti ancora utili);

UNI 10339/95. Impianti aerulici a fini di benessere;

UNI 8199/98. Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione - Linee guida contrattuali e modalità di misurazione;

ASHRAE 111/88. Practices for Measurement, Testing, Adjusting, and Balancing of Building Heating, Ventilation, Air-Conditioning, and Refrigeration Systems;

ASHRAE Gdl 1- 1996. The HVAC Commissioning Process;

ASHRAE Gdl 5- 1994. Commissioning Smoke Management Systems;

ANSI/ASHRAE/SMACNA 126-2000. Method of Testing HVAC Air Ducts;

UNI 8852/87. Impianti per la climatizzazione invernale per gli edifici adibiti ad attività industriale ed artigianale. Norme per l'ordinazione, l'offerta ed il collaudo;

UNI 8854/86. Impianti termici ad acqua calda e/o surriscaldata per il riscaldamento degli edifici adibiti ad attività industriale ed artigianale. Regole per l'ordinazione, l'offerta ed il collaudo;

UNI 5364 /76. Impianti di riscaldamento ad acqua calda. Regole per la presentazione dell'offerta e per il collaudo;

UNI 8061/80. Norme per la progettazione, costruzione ed esercizio per gli impianti a fluido diatermico.

UNI 8364/84. Impianto di riscaldamento. Controllo e manutenzione.

Regolamento comunale edilizio – Regolamento comunale di igiene;

UNI 8852/87. Impianti di climatizzazione invernale per edifici adibiti ad attività industriale ed artigianale;

ASHRAE 62/2002. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality;

UNI 8894/88. Caratteristiche e trattamento delle acque nei circuiti di raffreddamento e di umidificazione;

UNI 5634/85. Colori distintivi delle tubazioni convoglianti fluidi liquidi o gassosi.

Tabella 1

L'elenco riportato costituisce un riferimento parziale: si raccomanda inoltre di utilizzare tutte le norme specifiche per il collaudo dei singoli elementi di impianto. Ottenere un panorama completo ed aggiornato è molto difficile, in quanto le norme applicabili sono molto numerose. Su Internet sono reperibili vari elenchi, utili come guida per ulteriori approfondimenti. Per quanto riguarda la realtà italiana, si consiglia di consultare l'"Elenco delle normative e delle leggi riguardanti gli impianti termotecnici" <http://www.giordano.it/gc/normterm/normterm.htm>

Elenco della documentazione necessaria per eseguire le operazioni di collaudo d'impianto
- Disegni esecutivi aggiornati relativi all'intero impianto;
- Distinta base completa dell'impianto;
- Documentazione dei sistemi controllo, come ad es. sequenze operative, diagrammi e software commentato di controllo di regolatori elettronici (sistemi di regolazione PID, PLC, bus di comunicazione ecc.);
- Elenco degli esecutori coinvolti nella realizzazione, compresi quelli in sub-appalto;
- Dichiarazioni di conformità rilasciate dagli esecutori degli impianti;
- Libretti di uso e manutenzione dei singoli componenti e relativa documentazione tecnica, come curve di lavoro di pompe e ventilatori, assorbimento elettrico, livelli di rumorosità ecc.;
- Certificati di garanzia dei singoli componenti;
- Certificati di omologazione e collaudo dei singoli componenti che lo richiedono;

Tabella 2

Non è possibile eseguire correttamente un collaudo di un impianto HVAC senza disporre di tutta la documentazione necessaria; è indispensabile richiedere preventivamente al responsabile della direzione dei lavori tutto quanto possa riguardare l'impianto ed i suoi elementi costitutivi.

Condizioni preliminari al collaudo
- i vari sistemi si devono potere avviare in condizioni di sicurezza;
- i sensori (temperatura, umidità, pressione ecc.) devono essere installati, collegati e funzionanti;
- tutte le serrande, automatiche o manuali, devono essere operative ed in posizione di completa apertura;
- i dispositivi di protezione termici ed elettrici devono essere installati ed operativi;
- tutti i filtri devono essere puliti e correttamente inseriti;
- ventilatori e condotti devono essere puliti e privi di detriti;
- il senso di rotazione di ventilatori e pompe deve essere stato verificato;
- eventuali serrande tagliafuoco devono essere installate e disposte in apertura;
- le alette delle batterie di scambio termico devono essere pulite e prive di danneggiamenti;
- i vari portelli di ispezione devono essere chiusi e con le guarnizioni in ordine;
- le griglie di presa e di emissione dell'aria devono essere installate e, se regolabili, completamente aperte;
- le tubazioni degli impianti idronici devono essere state testate in pressione, flussate e riempite;
- le alimentazioni di energia elettrica, acqua ed aria compressa (se necessaria) devono essere allacciate e disponibili;

Tabella 3

Prima di dare inizio al collaudo, ci si deve accertare che il personale addetto alla costruzione abbia lasciato l'impianto nelle condizioni ottimali. Dovrà quindi essere eseguita una ispezione preventiva di controllo per verificare che tutto sia in ordine e, in caso contrario, provvedere al completamento delle operazioni preliminari.

Lista della strumentazione e delle attrezzature per il collaudo HVAC	
Strumenti	Misuratori di portata d'aria, adattatori a cono per la misura di portata di griglie e diffusori
	Manometro assoluto e differenziale
	Stazione climatica ambientale e/o registratore meccanico di temperatura e umidità
	Pinza amperometrica
	Multimetro per misure elettriche e/o oscilloscopio portatile
	Tachimetro ottico
	Analizzatore di combustione
	Cercafughe per gas frigogeni
	Termometro digitale con vari tipi di sonda termometrica
	Psicrometro
	Misuratore di pressione per circuiti idronici
	Flussimetro idraulico
	Computer portatile o palmare in grado di interfacciarsi con sensori, controlli elettronici e strumentazione di misura. Software apposito.
Attrezzature vari	Serie completa di chiavi e cacciaviti multistandard di buona qualità
	Dispositivi ottici di ispezione (endoscopio a fibra ottica, specchietto montato su supporto orientabile, torcia elettrica)
	Kit per riparazioni di emergenza per condotti e tubazioni idrauliche (nastri adesivi ad alta resistenza in alluminio, prodotti sigillanti in nastro o pasta)
	Serie di adattatori, nippli, riduzioni e valvole per connessioni idrauliche
	Dispositivi di protezione individuale (caschetto, occhiali e mascherine antinfortunistiche, guanti ecc.)

Tabella 4

La dotazione di attrezzi e strumenti necessaria per affrontare efficacemente un collaudo d'impianto è discretamente ampia e comporta un investimento non indifferente. Tutti gli strumenti di misura devono sempre essere accompagnati dal corrispondente certificato di taratura, che deve essere periodicamente rinnovato affinché le misurazioni possano essere ritenute ufficialmente valide.