



## NADCA White Paper: Restoring Energy Efficiency Through HVAC Air Distribution System Cleaning

### **Collaboratori:**

*Mike White, Chairman, Education Committee, Dan Stradford, Chairman, White Paper Subcommittee, Bob Baker, ASHRAE, Anne Marie Blankenship, Southern California Edison, Charlie Cochrane, NADCA, Mike Dexter, NADCA, Scott Gordon, NEBB, Tony Hill, NADCA, Julia Luongo, University of Colorado, Long Nguyen, Southern California Edison, Robert Rizen, NADCA, April Yungen, NADCA*

### **Introduzione**

Come leader globale per la difesa del settore e come risorsa riconosciuta per informazioni affidabili, la National Air Duct Cleaners Association (NADCA) è univocamente qualificata per fornire una guida per il consumatore e per le aziende relativamente alle migliori procedure per l'ispezione, la manutenzione ed il ripristino dei sistemi HVAC:

Uno degli aspetti critici dei sistemi HVAC è il consumo energetico e il ruolo che la progettazione, la costruzione e la manutenzione dei sistemi HVAC gioca nell'ottimizzazione dell'uso dell'energia.

Questo documento tratta i seguenti argomenti:

- A. Come la pulizia riduce il consumo energetico
- B. Come può essere misurato il consumo energetico prima e dopo la pulizia
- C. I problemi meccanici ed altre problematiche che un appaltatore può incontrare all'interno di un sistema HVAC. Problemi che possono essere rilevati e corretti al fine di massimizzare l'efficienza energetica del sistema HVAC.

**NOTA IMPORTANTE:** Rimane ancora molto da imparare sulla misurazione ed il miglioramento dell'efficienza energetica legato alla pulizia dei sistemi HVAC. Questo documento, quindi, non deve considerarsi definitivo fino a quando i metodi qui descritti non saranno pienamente verificati sul campo.

### **Disclaimer**

Anche se le seguenti informazioni riflettono gli attuali metodi per la misura dell'energia nella pulizia dei sistemi HVAC, i lettori dovrebbero tener presente che ci sono sviluppi regolari nelle tecnologie e dovrebbero quindi informarsi sulle metodologie più recenti quando devono scegliere il modo più appropriato di procedere.

NADCA riconosce che esistono differenti opinioni su come misurare e interpretare la prestazione dell'energia nei sistemi HVAC. Abbiamo cercato in questo documento di trovare consenso tra un

ampio spettro di rappresentanti nel settore imprenditoriale della pulizia dei sistemi HVAC, del bilanciamento e del collaudo degli stessi come anche nel campo dell'efficienza energetica.

Questo documento è stato scritto negli Stati Uniti d'America ed è inteso principalmente per l'utilizzo in questo Paese. Esso può anche essere utile per i professionisti ed altri operatori al fuori degli USA. Tutti gli utilizzatori sono chiamati a fare riferimento alle autorità federali, statali, provinciali e locali che hanno giurisdizione sugli argomenti trattati nel presente documento.

### **Pulizia della batteria del condensatore**

Anche se non è parte del sistema di distribuzione dell'aria, il condensatore elimina (rimuove) il calore dal refrigerante di un sistema HVAC, solitamente attraverso batterie in apparenza simili a quelle dell'evaporatore. Polvere e altri depositi sulla superficie hanno effetti isolanti simili. Poiché i condensatori sono fuori dal flusso dell'aria del sistema, essi solitamente non sono considerati nel processo di pulizia nello standard NADCA ACR.

Comunque, la pulizia dei condensatori ha un significativo, a volte drammatico, impatto positivo sull'efficienza energetica e quindi la pulizia periodica dei condensatori e delle batterie è una parte necessaria per una corretta manutenzione del sistema HVAC.

**Visto che i metodi di pulizia dei condensatori sono simili a quelli usati per le batterie degli evaporatori, la pulizia dei condensatori dovrebbe essere considerata come un intervento aggiuntivo della pulizia dei sistemi di distribuzione HVAC per ripristinarne la prestazione energetica.**

### **Come la pulizia dei sistemi di distribuzione HVAC migliora la prestazione energetica**

L'energia viene consumata dai sistemi HVAC in un gran numero di processi. L'aria viene solitamente distribuita dalle canalizzazioni attraverso l'utilizzo di un ventilatore elettrico. Le batterie refrigeranti rimuovono il calore dall'aria. Le batterie di riscaldamento forniscono calore all'aria.

Nel normale ciclo di utilizzo di un Sistema HVAC, il particolato trasportato dall'aria si deposita lentamente su diversi componenti del sistema portando ad una diminuzione dell'efficienza energetica. In alcuni casi, la perdita di efficienza dovuta allo sporco di un singolo componente può essere minima. Quando però la perdita di efficienza riguarda tutti i componenti il suo impatto può essere importante. Generalmente, maggiore è il deposito di particolato e maggiore è la perdita energetica.

La rimozione del particolato dai componenti del Sistema HVAC ripristina la prestazione energetica del sistema.

I seguenti componenti presenti nel flusso dell'aria, quando puliti, sono comunemente fonti di ripristino della prestazione energetica

**Batteria evaporante:** L'aria viene normalmente raffreddata all'interno di un sistema HVAC passando attraverso una batteria evaporante. Il deposito di polvere e di altri materiali ha un effetto isolante sulle superfici della batteria, portando ad un aumento dei tempi necessari al raffreddamento e ad un maggiore consumo energetico. In più, il deposito tra le alette della batteria riduce il passaggio utile all'aria. La procedura di pulizia delle batterie evaporanti è descritto nello standard NADCA ACR (Assessment, Cleaning and Restoration).

**Batteria di riscaldamento:** Simile ad una batteria di raffreddamento, la batteria di riscaldamento all'interno del plenum del bruciatore è composta da centinaia di stretti passaggi per l'aria. Ogni ulteriore restringimento di questi passaggi riduce il flusso dell'aria e diminuisce l'efficienza del riscaldamento. La causa più frequente di un intasamento della batteria è l'accumulo di polvere, sporco o altri agenti inquinanti. Spesso le conseguenze di una cattiva manutenzione come il mancato rispetto delle tempistiche del cambio filtri, la polvere o lo sporco possono intasare gli stretti passaggi della batteria e ridurre il flusso d'aria. Questo fatto aumenta anche i consumi per il riscaldamento in quanto il bruciatore deve funzionare più a lungo per raggiungere i settaggi del termostato. Un pesante intasamento della batteria può ridurre a tal punto il flusso dell'aria da creare un surriscaldamento dell'aria facendo scattare la sicurezza del sistema e mandando in blocco la caldaia. La procedura di pulizia della batteria di riscaldamento è descritta nello standard NADCA ACR.

**Batteria di Post-Riscaldamento:** Le batterie di post-riscaldamento vengono utilizzate in alcuni sistemi HVAC e appaiono simili ad una batteria evaporante. Sono tipicamente posizionate alla fine dei sistemi di distribuzione e fungono da sistema secondario di riscaldamento per riscaldare nuovamente l'aria proveniente dall'unità di trattamento. Le batterie di post-riscaldamento sono utilizzate per regolare l'umidità e/o il confort degli occupanti. Le cassette VAV spesso contengono batterie di post-riscaldamento. Poiché la distanza tra le alette della batteria può essere molto piccola, esse fungono quasi da filtro riempiendosi di particolato col passare del tempo. Ispezioni e pulizie periodiche sono necessarie per garantire un corretto riscaldamento ed una adeguata distribuzione dell'aria nei locali.

**Deviatori di flusso:** i deviatori di flusso incanalano l'aria in corrispondenza delle curve al fine di indirizzare correttamente il flusso. Il deposito di particolato può ridurre lo spazio tra le alette del deviatore, ma ancora più significativo può essere la riduzione del flusso d'aria dovuta al blocco creato da grandi detriti su di essi. Filtri, cartoni, pezzi di materiale isolante, stracci e altri materiali vengono spesso rimossi dai deviatori di flusso durante le operazioni di pulizia.

**Diffusori di mandata:** posizionate dalla fine del Sistema di distribuzione, i diffusori immettono l'aria all'interno degli spazi occupati attraverso una serie di lame che sono normalmente regolabili per permettere una corretta distribuzione e diffusione. Quando lo sporco ed i detriti si accumulano sul diffusore e sulle sue alette, il flusso dell'aria può risultare significativamente ridotto impattando negativamente sulla prestazione energetica e sul confort all'interno degli ambienti.

**Griglie di ripresa:** il flusso d'aria ritorna dalle griglie di ripresa alla Unità di Trattamento Aria attraverso un sistema di canalizzazioni o, in alcuni casi, attraverso un plenum (come ad esempio un controsoffitto). Questi tipi di griglie possono essere molto sporche a causa dello sporco e della polvere presenti all'interno dei locali restringendo così il passaggio utile all'aria e riducendone così il

movimento. Con il passare del tempo esse possono anche occludersi completamente. I depositi sulle griglie di ripresa si possono portare a sistemi HVAC molto logori e inefficienti.

**Griglie di presa aria esterna:** La presa aria esterna in un sistema HVAC è importante per la qualità dell'aria all'interno dell'edificio. Le direttive locali impongono la quantità di aria esterna richiesta per la salute e la sicurezza degli occupanti. Spesso delle griglie o delle reti vengono posizionate sull'apertura per prevenire l'ingresso di uccelli, roditori e detriti. Questi schermi vengono intasati dai detriti presenti in ambiente e vengono catturati dalle griglie stesse. Le griglie possono anche essere bagnate dall'umidità e dalla pioggia facendo sì che i depositi si "incollino" alle superfici delle griglie stesse. Questi depositi non permettono un appropriato afflusso di aria all'interno dell'edificio. Ciò porta ad una non corretta pressurizzazione dei locali e può causare un incremento delle concentrazioni di biossido di carbonio negli ambienti.

**Ventilatore:** i ventilatori spingono l'aria attraverso le batterie di riscaldamento e raffreddamento. Ciò viene effettuato facendo ruotare una serie di pale che sono connesse da un albero e comandate da un motore. Queste pale sono progettate per muovere un determinato quantitativo di aria. Il deposito di particolato su di esse, in particolare modo quelle curve, riduce la loro capacità di muovere aria causando un funzionamento prolungato del motore mentre sposta meno aria per ciascuna rotazione.

**Serrande:** le serrande sono delle valvole o piatti che bloccano o regolano il passaggio di aria all'interno di un condotto, un camino, una cassetta VAV, una unità di trattamento aria o altri apparati. Le serrande sono utilizzate per bilanciare e/o controllare i flussi d'aria. Ne esistono di tre tipi: a lama singola, a lame opposte ed a lame parallele. Quelle a lama singola si trovano negli stacchi laterali, tipicamente alla connessione con il collettore principale. Quelle a lame opposte si trovano in corrispondenza delle bocchette di mandate e sono costituite da coppie di alette che si muovono in direzioni opposte. Le serrande a lame parallele sono utilizzate principalmente per miscelare i flussi d'aria. Le alette sono posizionate in modo parallelo al fine di direzionare il flusso per ottenere il massimo effetto di miscelazione. Il risultato di un eccessivo deposito di sporco sulle serrande è una diminuzione del passaggio di aria. Un deposito significativo può anche limitare il movimento della serranda, riducendo il flusso e provocando problemi di pressurizzazione dell'impianto. Ciò porta a far sì che i ventilatori ed i compressori lavorano più duramente, incrementando i consumi energetici e riducendo la vita utile degli apparati.

**Silenziatori:** i silenziatori sono composti da materiali fonoassorbenti con pareti metalliche forate che permettono alle onde sonore di attraversarle e di essere assorbite dalle fibre minerali. Ciò riduce il rumore prodotto da un sistema HVAC. Chiamati anche Silenziatori dei canali essi sono posizionati nel flusso dell'aria e lo diminuiscono attraverso un sistema di deflettori interni. Quando un silenziatore si sporca o si ottura, il quantitativo di aria trasportata dal sistema si riduce. In funzione del livello di restringimento, questo fatto può influire sul flusso, sulla temperatura e sul livello di confort.

**Coibentazione:** L'isolamento interno, detto anche coibentazione, è stato utilizzato per diversi anni all'interno delle canalizzazioni, delle cassette di miscelazione, dei diffusori lineari, delle UTA e di molti altri componenti dei sistemi HVAC. L'isolamento in fibra di vetro è il più comune, ma possono anche essere utilizzati altri materiali. La SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors

National Association), autorità industriale per la costruzione di canali metallici, ha delle linee guida specifiche per l'installazione dei rivestimenti interni che, se non seguite, possono portare ad un distacco della coibentazione dai canali. Il distacco dell'isolamento può ridurre il flusso d'aria ed il materiale derivante può essere trasportato a valle e depositarsi sulle superfici di batterie di post-riscaldamento, bocchette e serrande di regolazione solo per citarne alcune. I rivestimenti più vecchi possono essere ben ancorati alle pareti delle canalizzazioni, ma possono iniziare a sfaldarsi rilasciando pezzi di materiale nel flusso d'aria. Una accurata ispezione di ogni sistema HVAC permetterà di rilevare se sono presenti tratti con isolamento interno degradato. La rimozione del materiale isolante modifica la sezione utile del canale o del componente se non viene previsto il riposizionamento. Il fatto di non riposizionare il materiale coibentante può influire sulle proprietà acustiche e termiche del sistema.

**Raddrizzatore di flusso:** questo apparato ha la funzione di "raddrizzare" il flusso d'aria e di eliminare le turbolenze nei sistemi HVAC. Normalmente si trova nelle giunzioni con sensori per canali. Le sezioni di transito di questo apparato "a nido d'ape" possono essere quadrati, circolari o esagonali. Questi sistemi possono essere intasati da polvere ed altri detriti e su di essi si potrebbero depositare parti di coibentazione staccata dal canale o altri depositi di grandi dimensioni. Questo può restringere il passaggio d'aria e influire sull'efficienza energetica.

**Misuratori di portata (AFMS):** vengono utilizzati come sistemi di misura diretta del volume di aria circolante nel Sistema. Un misuratore può essere installato su una presa d'aria esterna, misurando così il volume d'aria introdotta nel sistema. Poiché il volume d'aria varia nei sistemi VAV, il misuratore di portata controlla il posizionamento della serranda di presa aria esterna modulando così nel modo corretto il volume di aria in ingresso alla UTA.

Esistono due tipi di AFMS: la tipologia a pressione differenziale che usa un tubo di pitot (descritto successivamente) o un "anello di misura" che misura la velocità dell'aria e la tipologia a dispersione termica che utilizza un particolare sensore termico per calcolare il flusso attraverso una formula matematica.

Entrambe le tipologie richiedono una corretta manutenzione, anche se il tubo di pitot è suscettibile di problema di calibrazione nel caso in cui si dovesse otturare. I calcoli di portata d'aria saranno errati nel caso in cui i tubi di pitot dovessero occludersi a causa dello sporco, causando così un non corretto controllo della ventilazione (esterna). Un eccessivo quantitativo di aria esterna introdotto nel sistema impone un dispendio non necessario di energia.

**Sensori di velocità:** i sensori di velocità vengono utilizzati nelle cassette VAV (Variabile Air Volume) per misurare il flusso di aria a servizio di un locale climatizzato. La portata viene regolata tra un valore minimo ed uno massimo. Inoltre il riscaldamento di zona è spesso controllato basandosi sulla misurazione del volume d'aria in transito. I sensori di velocità funzionano come quelli a pressione differenziale (AFMS) descritti in precedenza.

Se i sensori di velocità si dovessero intasare a causa dello sporco, si potrebbero verificare letture errate provocando problemi che vanno da lamentele sul confort ad un maggiore consumo energetico. Quando la temperatura di una zona non viene raggiunta, la serranda VAV si apre, aumentando la velocità del ventilatore e la relativa potenza del motore.

**Separatore di gocce:** i separatori di gocce sono progettati per eliminare le gocce di acqua dal Sistema HVAC facendole depositare su una superficie. Queste gocce vengono poi convogliate al sistema di drenaggio. Quando il particolato si deposita all'interno dell'apparato, il separatore perde la sua capacità di rimuovere l'umidità e riduce il flusso di aria nel sistema. Ciò provoca un aumento della pressione a monte e impone al sistema di utilizzare più energia per compensare.

**Umidificatori:** un umidificatore aggiunge vapore acqueo all'aria al fine di incrementarne l'umidità. Quando installato in un sistema HVAC, un umidificatore o parte di esso risulta all'interno del flusso d'aria e provoca una certa resistenza al passaggio dell'aria stessa. Con il passare del tempo, il particolato che si deposita sull'umidificatore crea una significativa resistenza al flusso.

**Cassette di Miscelazione:** le cassette di miscelazione sono progettate per miscelare l'aria proveniente da diverse sorgenti al fine di raggiungere la temperatura richiesta all'interno dello spazio servito. Queste cassette sono solitamente composte da un plenum in lamiera isolato internamente, una serranda di regolazione, una mandata e due riprese. Si trovano spesso alla fine del sistema di distribuzione o vicino ai terminali e possono anche essere chiamate cassette di miscelazione terminali. Le cassette di miscelazione possono a volte comprendere anche un ventilatore e batterie di riscaldamento o raffreddamento. La cassetta di per se non tende a sporcarsi o degradarsi finché l'isolamento non si indebolisce. I componenti interni possono accumulare polvere e detriti, diminuendo il flusso d'aria.

**Cassette VAV:** le cassette VAV, o a volume d'aria variabile, controllano la temperatura dell'aria di mandata variandone la quantità. Ogni cassetta è a servizio di una zona (un gruppo di stanze o una area specifica) attraverso un termostato posizionato all'interno della zona stessa. Le cassette VAV sono costituite da diverse parti descritte in precedenza che possono accumulare sporco. Una serranda è posizionata all'interno con un controllore o attuatore connesso ad essa posto all'esterno dell'unità. Alcune cassette possiedono anche una batteria di post-riscaldamento per raggiungere la temperatura necessaria. Questi apparati possono avere una rete prima della batteria ed altre parti nel flusso dell'aria che possono sporcarsi e ridurre il flusso e l'efficienza.

**FPB (Booster):** Questo è un'altra tipologia di cassetta VAV. Il suo scopo è simile ad una VAV; controllare il volume d'aria a servizio di uno spazio occupato, tranne per il fatto che utilizza un ventilatore per aumentare il volume in transito. Il deposito di sporco sulle alette del ventilatore ed all'interno dell'alloggiamento può ridurre il flusso d'aria in aggiunta agli effetti negativi già visti in precedenza dovuti allo sporco degli altri componenti.

***Nota importante: la scienza e la tecnologia applicate ad una accurata misurazione del consumo di energia e della dinamica dell'aria in un sistema HVAC è complessa e richiede una formazione ampia. Molti fattori possono essere coinvolti soprattutto nei sistemi di grandi dimensioni. I metodi descritti di seguito offrono un approccio semplificato per approssimare le performance di un sistema HVAC prima e dopo la pulizia. Questi metodi forniscono ai membri NADCA e ad altri un modo ragionevolmente efficiente per determinare e quantificare i miglioramenti nell'efficienza energetica. Nonostante siano utili e pratici, essi non tengono in considerazione tutti i fattori. Essi non vogliono sostituire e non sono paragonabili ai metodi utilizzati dai professionisti del bilanciamento, dagli ingegneri meccanici e da altre figure qualificate in questo campo.***

Una appropriata pulizia di un sistema HVAC può portare ad un incremento percentuale del flusso d'aria e dello scambio termico delle batterie. Il calcolo di questa percentuale permette all'appaltatore della pulizia ed al proprietario dell'impianto di "pesare" i costi ed i benefici della pulizia e può aiutare a stabilire un rapporto costi/benefici per future pulizie periodiche.

Il calcolo delle performance del sistema richiede la conoscenza dei piedi cubi al minuto (CFM) di aria immessa ed il cambio di temperatura prima e dopo la batteria. Da questo possiamo calcolare l'output del sistema in BTU o British Thermal Units (vedi definizione sotto).

Per i sistemi con un apporto di aria esterna, è necessaria anche la misurazione dell'umidità prima e dopo la batteria. Questo perché l'aria esterna può incrementare o diminuire i livelli di umidità dell'aria interna e ciò può avere effetti significativi sulle misure di temperatura e sul calore totale dell'aria interna.

**NOTA IMPORTANTE SUI FILTRI E LA PORTATA: I filtri, puliti o sporchi, diminuiscono il flusso d'aria. Per assicurare che un cambio dei filtri non influisca sulle misure pre e post pulizia, i filtri devono essere nelle stesse condizioni quando si misura la portata sia prima che dopo la pulizia. Ciò vuol dire che, se i filtri sono nuovi, usati o rimossi durante la lettura pre pulizia, essi dovranno essere nelle medesime condizioni anche nella lettura post.**

**Calore sensibile:** calore rilevato da un termometro.

**Calore latente:** la quantità di calore assorbita o rilasciata da una sostanza durante il suo cambio di stato, come ad esempio il ghiaccio mentre si trasforma in acqua o l'acqua in vapore, a pressione e temperatura costanti. Riscaldare o raffreddare l'umidità presente nell'aria consuma dell'energia che non viene rilevata da un termometro.

**Calore totale:** calore sensibile più calore latente.

**BTU (British Thermal Units):** la quantità di calore necessaria a riscaldare una libbra di acqua di un grado Fahrenheit. Come esempio un fiammifero da cucina lungo 10 cm consumato completamente genera approssimativamente 1 BTU.

**Delta:** Ai nostri fini, è la variazione o la differenza tra due misure o grandezze, rappresentato dal simbolo matematico  $\Delta$ .

**Delta T:** la differenza tra due misure di temperatura a volte rappresentato con  $\Delta t$ .

**CFM (Piede cubo al minute):** Nei sistemi di distribuzione di aria, questa è una normale misura del volume d'aria in transito in uno specifico punto o sezione di canale.

**Delta H:** (rappresentata con  $\Delta h$  ed anche chiamata Entalpia – vedi definizione sotto) Ai nostri fini è la differenza tra due misure del calore contenuto nell'aria secca espresso in BTU/lb. Per determinare il contenuto di calore dell'aria, deve essere misurato e preso in considerazione nel calcolo il livello di umidità in essa contenuta, detta umidità relativa. L'umidità relativa e la temperatura sono poi incrociate su un diagramma psicrometrico (vedi definizione sotto) per determinare il  $\Delta h$ .

**Temperatura di bulbo secco (DB):** la temperatura di un gas o di una miscela di gas misurata da un termometro di precisione. Il bulbo secco rappresenta la misura del calore sensibile o dell'intensità di calore.

**Temperatura di bulbo umido (WB):** la temperatura dell'aria misurata da un termometro il cui bulbo è ricoperto da un panno bagnato. La temperatura di bulbo umido aiuta a misurare l'umidità relativa ed è rilevata solitamente con strumenti elettronici.

**Entalpia:** la quantità di calore totale contenuta in una sostanza; la somma del calore sensibile e del calore latente in un processo di scambio termico. Nel campo HVAC, la misura viene effettuata in BTU/lb di aria secca.

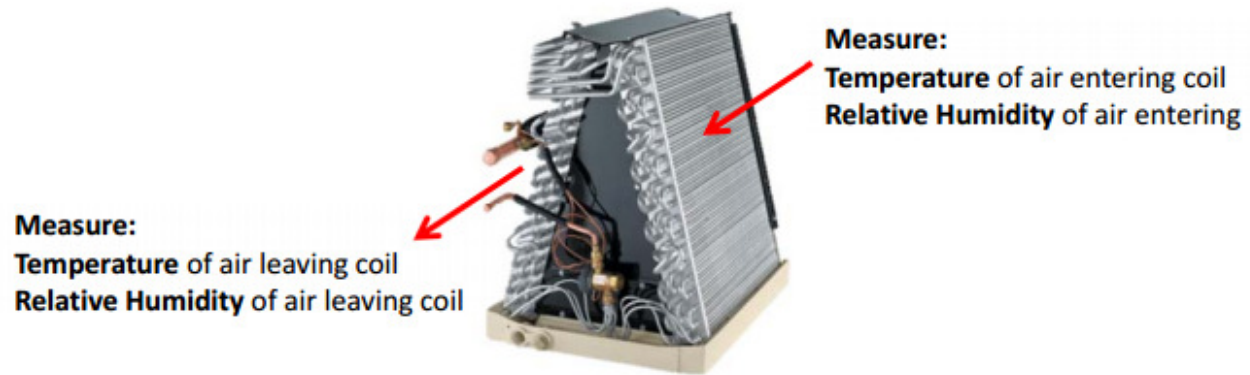
**Diagramma psicrometrico:** Un diagramma che mostra, oltre ad altre grandezze, il calore totale calcolato partendo dalla temperatura e dalla umidità relativa.



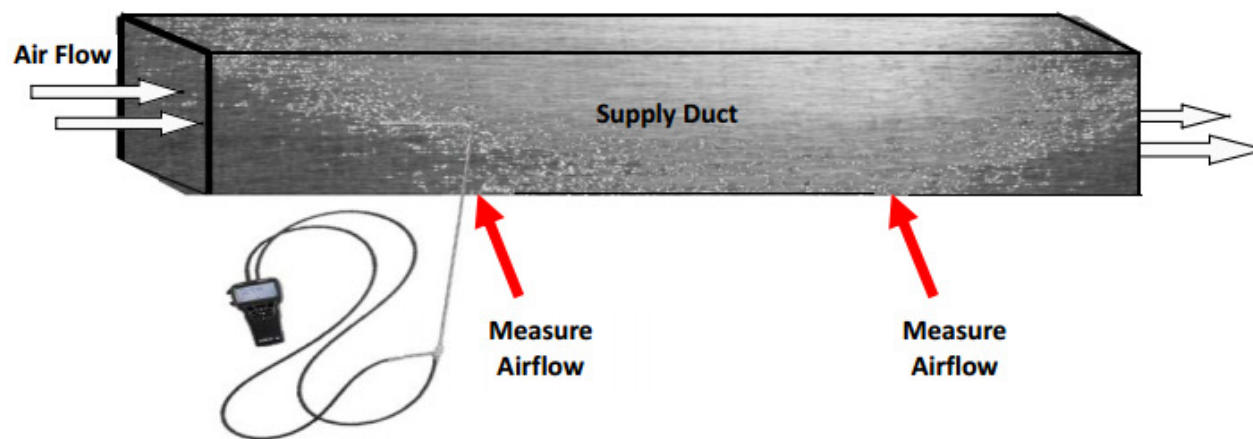
Dove vanno effettuate le misurazioni

La *temperatura* dell'aria viene misurata in ingresso ed in uscita dalla batteria di raffreddamento.

L'*umidità relativa* dell'aria viene misurata in ingresso ed in uscita dalla batteria di raffreddamento.



*Air pressure* is measured at the main supply duct with a pitot tube.



*Air velocity*, if needed, is measured at a return register. This also gives CFM.



### **Formule per la misurazione dei BTU in uscita**

Di seguito due formule per il calcolo delle performance di un sistema HVAC.

Queste formule forniscono un metodo per calcolare i BTU generati dal sistema HVAC prima e dopo la pulizia. Per esempio, se i BTU sono 10.000 prima della pulizia e 15.000 dopo, abbiamo generato un miglioramento della capacità del 50% che equivale ad una più elevata prestazione energetica.

#### **FORMULA NO. 1:**

La prima formula si applica ai sistemi senza ricambio d'aria esterna, principalmente sistemi residenziali. Senza l'apporto di aria esterna, l'influenza dell'umidità esterna è molto bassa e quindi non è necessario prendere in considerazione l'umidità nei calcoli. L'ingresso di umidità dall'esterno, ad esempio causato da un edificio non a tenuta, potrebbe influire sull'accuratezza di questo metodo.

Nei climi secchi, l'ingresso di aria esterna potrebbe abbassare l'umidità interna. Come detto in precedenza, questo metodo può fornire una significativa misura delle performance del sistema con un approccio semplificato.

Gli strumenti e i metodi per la determinazione di ciascun parametro della formula – temperature, portata (CFM), ecc. – saranno riportati di seguito.

La formula è:

$$BTU/ora = CFM \times \Delta T \times 1.08$$

La temperatura (T) è la temperatura di bulbo secco dell'aria misurata all'ingresso e all'uscita della batteria di raffreddamento ( $\Delta T$ ).

Questa formula fornisce il valore del carico di calore sensibile attraverso una batteria evaporante.

## **Formula No. 2:**

Per sistemi con immissione di aria esterna, che comprendono la maggior parte dei sistemi commerciali, la formula è:

$$BTU/ora = CFM \times \Delta h \times 4.5$$

Questa formula fornisce il valore del carico di calore totale (sensibile + latente) attraverso una batteria evaporante.

Al fine di calcolare h (entalpia) è necessario conoscere sia la temperatura di bulbo secco che l'umidità relativa (o in alternativa, la temperatura di bulbo umido) dell'aria in ingresso ed in uscita dalla batteria di raffreddamento. I valori rilevati sono poi riportati su un diagramma psicrometrico o inseriti in un software come ad esempio Munters PsychroApp per determinare l'entalpia di ciascun flusso d'aria. La differenza tra l'entalpia dell'aria in uscita con l'entalpia dell'aria in ingresso determina il  $\Delta h$  dei due flussi d'aria.

## **Attrezzature necessarie**

### FORMULA 1:

1. Termometro elettronico: uno strumento digitale che misura la temperatura.
2. Manometro: uno strumento che misura la pressione dell'aria.
3. Tubo di Pitot: sottili tubi metallici connessi ad un manometro da inserire in un canale di distribuzione per misurare la pressione. Sono disponibili tubi da 18", 24" e 36".
4. Anemometro a ventolina: uno strumento con una ventola che viene fatta ruotare dal movimento dell'aria e che ne misura la velocità in FPM.

### FORMULA 2:

1. Termoigrometro digitale: uno strumento digitale che misura la temperatura e l'umidità relative (o in alternativa, la temperatura di bulbo umido).
2. La stessa strumentazione necessaria per la Formula 1.

NOTA: tutti gli strumenti dovrebbero essere calibrati secondo le specifiche del costruttore.

## **Effettuare le misure**

Prima di effettuare qualsiasi misura, il sistema deve essere acceso e deve funzionare in modo stabile con le batterie in funzione. Alcuni sistemi necessitano di alcuni minuti per raggiungere queste condizioni ed altri, in particolar modo i sistemi commerciali di grandi dimensioni, possono impiegare anche una o due ore.

### **Batteria di raffreddamento**

Viene utilizzato un termoigrometro digitale per le letture prima e dopo la batteria effettuando dei fori in punti specifici nell'UTA o nei canali ad essa collegati ed inserendo la sonda.

NOTA IMPORTANTE: quando si effettuano i fori vicino alla batteria, bisogna prestare attenzione a non bucare la batteria stessa o altri apparati. Assicurarsi di avere una visuale adeguata prima di forare.

1. Individuare un punto sulla lamiera a circa sei pollici a monte della batteria. Esso dovrebbe essere a mezza altezza dove ci si aspettano valori medi di temperatura e di flusso. In caso di batterie grandi o compartimentate, scegliere due o più punti e utilizzare la media delle letture. Se le letture differiscono in modo marcato, effettuare altre misurazioni ed assicurarsi che si stiano leggendo temperature simili.
2. Effettuare un foro nei punti scelti. Il foro deve essere largo abbastanza (tipicamente ¼" or 3/8") da permettere di inserire la sonda del termoigrometro.
3. Scrivere le letture della temperatura e, se si sta usando la formula 2, dell'umidità relativa.
4. Rimuovere la sonda e chiudere i fori con tappi in plastica, nastro d'alluminio o con metodi alternativi appropriati. Ripristinare qualsiasi isolamento esterno che sia stato rimosso per facilitare le misurazioni.
5. Ripetere lo stesso procedimento anche nel flusso a valle al massimo a 6" dalla batteria.

### **Calcoli sulle letture di temperatura**

Nel caso di una singola lettura da ciascuna parte della batteria, occorre semplicemente sottrarre la temperatura a valle dalla temperatura a monte. Il risultato è il delta T ( $\Delta T$ ). Esempio: 70 gradi (monte) meno 55 gradi (valle) = 15 gradi ( $\Delta T$ ).

Nel caso di letture multiple, farne la media per ciascun lato. Esempio: 70 gradi + 72 gradi + 71 gradi = 213. Dividere per 3 per avere la media:  $213 / 3 = 71$ . Questa è la temperatura da utilizzare per il flusso a monte.

Per misurazioni multiple di umidità relativa, applicare lo stesso procedimento descritto per la temperatura. Solitamente, il medesimo strumento permette di misurare sia la temperatura che la umidità relativa.

### **Misurare la portata (CFM)**

Di seguito sono riportati due metodi per la misura della portata (CFM). Il primo è un metodo semplificato. Il secondo è un metodo più avanzato, ma più accurato.

Per la misura della portata possono essere utilizzati altri strumenti, come ad esempio un balometro, ma alla condizione che venga utilizzato lo stesso metodo prima e dopo la pulizia.

### **Metodo Semplificato: flusso di ricircolo o di mandata**

Anemometro a ventolina

Esistono casi in cui è necessario utilizzare un metodo semplificato per la misura della portata oppure in cui la misurazione trasversale (vedi sotto) non può essere effettuata perché non esiste un tratto rettilineo sul collettore di mandata. In questi casi bisogna utilizzare un metodo meno accurato per stimare la portata che si basa sull'utilizzo di un anemometro elettronico a ventolina. Questo strumento fornisce una lettura digitale della velocità che viene automaticamente mediata su un periodo prefissato.

*La portata viene misurata con un anemometro in corrispondenza di una griglia di ripresa. Se ciò non fosse possibile, ad esempio negli impianti senza ricircolo, la misura di portata viene effettuata su una bocchetta di mandata. E' possibile anche utilizzare una griglia di ricircolo all'interno di un plenum a controsoffitto.*

*E' necessario prendere quattro misure di portata per ciascuna griglia, una in ciascun quadrante – in altro a destra, in alto a sinistra, in basso a destra ed in basso a sinistra. Come portata bisogna utilizzare la media di queste quattro letture.*

**Nota sul fattore Ak:** quando si utilizza un anemometro a ventolina per determinare la portata è necessario utilizzare un fattore di correzione chiamato "Ak" o "K". Il fattore Ak è la percentuale di CFM che passa attraverso la griglia dopo aver tenuto conto della resistenza al flusso causata dalla griglia stessa. Comunque, poiché stiamo effettuando delle letture comparative prima e dopo la pulizia e stiamo solamente cercando di calcolare la percentuale di incremento dei CFM, per i nostri scopi il fattore Ak NON sarà preso in considerazione nei calcoli.



### **Metodo Avanzato: flusso nel collettore di mandata**

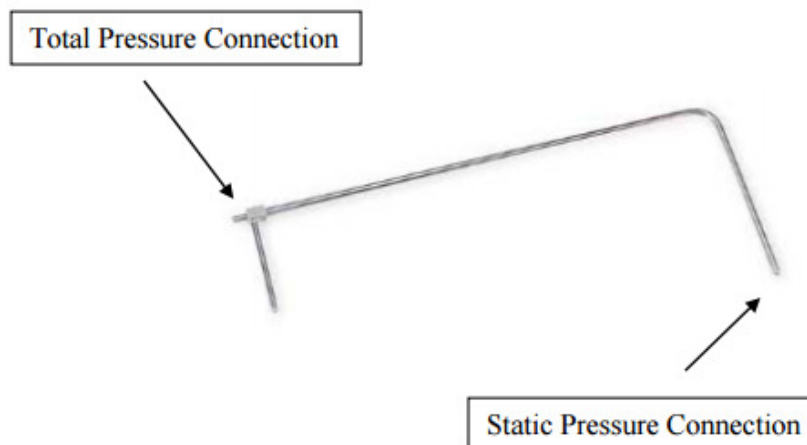
Lettura trasversale:

La lettura trasversale in un canale è il metodo più accurato di calcolo della portata. Lo scopo di una misura trasversale è di definire un accurato profilo di velocità dell'aria in transito in una determinata sezione del canale. La velocità media è poi moltiplicata per l'area della sezione del canale per determinare la portata (CFM).

Digital Manometer



Pitot Tube



- a. Trovare una sezione rettilinea di un canale di mandata che sia distante almeno 6 – 10 diametri a valle di eventuali apparecchiature più vicine. Molto spesso, non è possibile trovare un canale con queste caratteristiche. Di conseguenza, sarà necessario utilizzare il tratto rettilineo più lungo possibile sacrificando parte dell'accuratezza del metodo.
- b. Misurare le dimensioni interne del condotto tenendo in considerazione l'eventuale coibentazione interna. Moltiplicare la larghezza del condotto per la sua altezza per determinare l'area della sezione in pollici quadrati. Dividere per 144 per calcolare l'area in piedi quadrati.
- c. Basandosi sulle dimensioni interne del canale e usando le risorse descritte alla fine di questo documento o le applicazioni disponibili (come ad esempio TABcalcs), determinare il corretto posizionamento dei fori sul canale. Effettuare un foro delle dimensioni appropriate per l'inserimento del tubo di Pitot (normalmente 7/16").
- d. Contrassegnare il tubo di Pitot come descritto al punto c. Usare del nastro isolante per questo scopo.
- e. Usando un manometro digitale collegarlo al tubo di Pitot, connettendo l'ingresso positivo al connettore della pressione totale del tubo (estremità del tubo) e l'ingresso negativo al connettore della pressione statica (laterale). Questo tipo di connessione permetterà di misurare la pressione dinamica ( $v_p$ ) che verrà utilizzata per determinare la velocità dell'aria in FPM (piedi al minuto).
- f. Inserire il tubo di Pitot nel primo foro sul canale in corrispondenza del primo contrassegno, tenendolo in modo che la sonda della pressione totale sia completamente nel flusso d'aria. Registrare la velocità rilevata. Continuare con le altre misure di velocità nello stesso modo e spostarsi nel foro successivo fino ad aver completato tutta la sezione ed aver registrato tutte le velocità.
- g. Sommare tutte le velocità e dividere per il numero totale di misurazioni in modo da ottenere la velocità media in FPM.
- h. Moltiplicare la velocità media calcolata al punto g per l'area netta in piedi quadrati della sezione calcolata al punto b.  $FPM \times area = CFM$  (portata d'aria all'interno del condotto).

### Esempio

Il numero di fori, la loro distanza reciproca e il numero di segni sul tubo di Pitot vengono determinati basandosi su un numero minimo di 16 letture di pressione dinamica presi al centro di aree uguali a non più di 6" in modo tale che ciascuna area non superi i 36 pollici quadrati. Il primo e l'ultimo foro dovranno essere a metà della distanza dalla parete del condotto (o dell'isolamento interno). Esempio: metà di 6" = 3".

Esempio: un canale ha una sezione di 26" x 20", i fori verranno effettuati sul lato da 26". Per calcolare l'interasse dei fori dividere 26" per 5 = 5.2"

Il primo foro sarà a ½ della distanza calcolata dalla parete del condotto, quindi a 5.2" x 0,5 = **2.6"**

Il secondo foro sarà a 2.6" + 5.2" dalla parete del canale = **7.8"**

Il terzo a 7.8" + 5.2" dalla parete del canale = **13.0"**

Il quarto a 13.0" + 5.2" dalla parete del canale = **18.2"**

Il quinto a 18.2" + 5.2" = **23.4"**

La marcatura del tubo di Pitot viene determinata allo stesso modo. Il tubo di Pitot viene inserito tenendo conto della dimensione del lato da 20". E' necessario che il numero di letture sia tale da far si che la distanza tra ciascun segno sul tubo non sia superiore ai 6".

Dividere 20"/4 = 5" distanza tra i segni sul tubo di Pitot. Come prima, il primo segno sarà a ½ della distanza degli altri. Quindi i segni sul tubo saranno:

1. 2.5"
2. 7.5"
3. 12.5"
4. 17.5"

### **Metodo dell'aumento della temperatura per la stima della portata**

Quando una unità di trattamento aria possiede un riscaldamento elettrico, è possibile utilizzare un altro metodo per la stima della portata attraverso la batteria. Gli unici strumenti necessari per questo metodo sono i seguenti:

- 1 Termometro elettronico
- 2 Voltmetro
- 3 Amperometro

Nel caso di una batteria elettrica la procedura per la misura della portata consiste nella misura dell'incremento della temperatura attraverso la batteria stessa. Lasciare in funzione l'unità fino a quando la temperatura si stabilizza. Misurare la differenza di temperatura attraverso la batteria, insieme ai volt entrata e all'assorbimento di corrente in ampere degli elementi riscaldanti elettrici. Inserire queste informazioni nella seguente formula:

$$\text{CFM} = (\text{Volt} \times \text{Amp} \times 3.41) / (1.08 \times \Delta T)$$

### **APPLICARE LE FORMULE**

LO SCOPO DELLE FORMULE E' DI DETERMINARE LA PERCENTUALE DI INCREMENTO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA ATTRAVERSO IL MIGLIORAMENTO DELLA PORZIONE DI FLUSSO D'ARIA E CALOREN TRASFERITI

#### **FORMULA 1: BTU/h = CFM x ΔT x 1.08**

Esempio 1:

Sono state eseguite le seguenti misure.

Prima della pulizia:

- A. Temperatura prima della batteria: 72 gradi
- B. Temperatura dopo la batteria: 50 gradi
- C. ΔT = 22
- D. CFM: 200

Dopo la pulizia:

- A. Temperatura prima della batteria: 72 gradi
- B. Temperatura dopo la batteria: 45 gradi
- C. ΔT = 27
- D. CFM=225

*Inserire i dati nella formula:*

Prima della pulizia:

$$200 \text{ CFM} \times 22 \Delta T \times 1.08 = \underline{4752}$$

Dopo la pulizia:

$$225 \text{ CFM} \times 27 \Delta T \times 1.08 = \underline{6561}$$

Comparare dividendo la differenza del "dopo" e del "prima" per il "prima":

$$\underline{6561} - \underline{4752} \div \underline{4752} = 0.38$$

Questo vuol dire che La prestazione energetica è aumentata del 38%.



NOTA: Questo non significa una diminuzione del 38% nella bolletta elettrica del cliente per l'uso del sistema HVAC in quanto ciò richiede un calcolo più complesso con numerosi altri fattori.

Questo aumento del 38% in termini di prestazioni energetica - e maggiori  $\Delta T$  e CFM - significa che la batteria raffredda l'aria più velocemente, quindi deve lavorare di meno e il flusso d'aria sarà maggiore, il raffreddamento o riscaldamento dell'ambiente più veloce, quindi richiede meno tempo per il sistema HVAC per condizionare l'ambiente spazio.

In forma tabellare i risultati sono i seguenti:

	PRIMA DELLA PULIZIA	DOPO LA PULIZIA
Temperatura prima della batteria	72	72
Temperatura dopo la batteria	50	45
$\Delta T$	22	27
CFM	200	225
<b>Formula 1 prima: CFM x <math>\Delta T</math> x 1.08</b>		
	4752	
<b>Formula 1 dopo: CFM x <math>\Delta T</math> x 1.08</b>		
	6561	
<b>Miglioramento prestazione energetica</b>		
	38%	

#### FORMULA 2: BTU/h totali = CFM x $\Delta h$ x 4.5

In questo esempio usiamo degli ipotetici valori di temperatura e umidità relativa che possono essere rilevati in una normale batteria di raffreddamento ad acqua. A causa delle diverse caratteristiche di trasferimento termico di una batteria che utilizza un refrigerante rispetto ad una ad acqua, i valori di temperatura e di umidità relativa possono variare considerevolmente. In questa formula includiamo le misure di umidità relativa (o  $\Delta h$ ) e temperatura.

Prima della pulizia:

Temperatura prima della batteria = 76°F  
Umidità relativa prima della batteria = 65%

Temperatura dopo la batteria = 68°F  
Umidità relativa dopo la batteria = 75%

(è possibile utilizzare la temperatura di bulbo umido, come alternativa alla misura di umidità relativa, inserendola, con la temperatura di bulbo secco, nel diagramma psicrometrico per determinare l'entalpia)

Troveremo poi l'entalpia usando un diagramma psicrometrico. Inserendo le letture "prima della batteria" di 65% di umidità relativa e 76°F di temperatura.

Troviamo l'entalpia prima della batteria = 31.94

Ora immettiamo i valori "dopo la batteria" con una temperatura di 68°F ed una umidità relativa del 75%.

Il diagramma psicrometrico ci fornisce una entalpia = 28.31

La differenza tra l'entalpia prima e dopo la batteria è  $\Delta h$ .

$$\Delta h = 31.94 - 28.31 = 3.63$$

La portata misurata prima della pulizia è 1,200 CFM.

Dopo la pulizia:

La portata misurata dopo la pulizia è 1,500 CFM.

Umidità relativa prima della batteria = 55%

Temperatura prima della batteria = 73°F

Entalpia = 27.94

Umidità relativa dopo la batteria = 99%

Temperatura dopo la batteria = 54°F

Entalpia = 22.50

$$\Delta h = 27.94 - 22.50 = 5.44$$

#### **Applicando la formula:**

Prima della pulizia:

$$\text{BTU/h} = 1,200 \text{ CFM} \times 3.63 \Delta h \times 4.5 = 19,602$$

Dopo la pulizia:

$$\text{BTU/h} = 1,500 \text{ CFM} \times 5.44 \Delta h \times 4.5 = 36,720$$

Comparare dividendo la differenza del "dopo" e del "prima" per il "prima":

$$(36,720 - 19,602) \div 19,602 = 0.87 \text{ cioè un } 87\% \text{ di incremento di prestazione energetica.}$$

In forma tabellare i risultati sono i seguenti:

	PRIMA DELLA PULIZIA	DOPO LA PULIZIA
Temperatura prima della batteria	76	73
Temperatura dopo la batteria	68	54
$\Delta T$	8	19
CFM	1200	1500
UR prima della batteria	65	55
UR dopo la batteria	75	99
Entalpia prima della batteria (da diagr. psicrometrico)	31.94	27.94
Entalpia dopo la batteria (da diagr. psicrometrico)	28.31	22.5
$\Delta h$	3.63	5.44
Formula 2 prima: $CFM \times \Delta h \times 4.5$	19602	
Formula 2 dopo: $CFM \times \Delta h \times 4.5$	36720	
Miglioramento prestazione energetica	87%	

### Identificare gli sprechi energetici durante le procedure di ispezione e pulizia dei sistemi HVAC

L'ispezione e la pulizia dei sistemi di distribuzione HVAC permettono un raro e approfondito sguardo a diversi componenti che non vengono osservati nelle normali attività di manutenzione. L'appaltatore del servizio di pulizia potrebbe rilevare diverse problematiche del sistema non conosciute dal proprietario che causano una significativa perdita energetica.

Di seguito una lista dei problemi normalmente riscontrati. E' importante che ciascun appaltatore del servizio di pulizia rilevi questi tipi di problemi e li riferisca al proprietario del sistema o ad un suo rappresentante. Questi problemi dovrebbero essere risolti solamente da coloro che sono addestrati a farlo e, se necessario, certificati a farlo.

**Perdite del sistema e dei condotti:** Condotti separati da giunti, plenum con saldature arrugginite o rotte, portine di ispezione non correttamente sigillate e altre cause di perdite d'aria possono provocare significanti sprechi energetici.

**Serrande chiuse, tarate non correttamente o bloccate:** Le serrande di regolazione devono essere tarate per rispettare i parametri di progetto e fornire ad uno specifico sistema la portata corretta, normalmente determinata dall'appaltatore del bilanciamento e collaudo (TAB). Queste regolazioni possono essere manuali, pneumatiche o automatiche attraverso dei controlli elettronici. Serrande chiuse o non regolate correttamente portano ad avere un sistema che non sta operando nella maniera ottimale dal punto di vista dell'efficienza.

**Problemi di filtrazione:** Coloro che operano nel settore della filtrazione sanno scegliere i filtri più appropriati. Filtri di bassa qualità o sporchi possono limitare il passaggio di aria o non garantire una adeguata rimozione del particolato. Spazi o aperture tra i filtri provocano il passaggio di aria non filtrata nel sistema HVAC. Ciò provoca un accumulo più rapido di polvere nel sistema che riduce l'efficienza energetica del sistema stesso.

**Eccessivo uso di tubazioni flessibili:** A volte le condotte flessibili non sono dimensionate per rispettare le reali necessità del sistema e, per esempio, viene utilizzato un tratto da venti piedi dove ne basterebbe uno da 10. Qualsiasi aggiunta di canale all'impianto incrementa la pressione statica del sistema e riduce la portata. La rimozione dei condotti flessibili in eccesso migliora le performance del sistema.

**Canali danneggiati:** I canali sono spesso calpestati nei sottotetti e deformati dai diversi impatti e colpi che possono subire nel tempo. Ogni modifica del profilo o del volume del canale può diminuire il passaggio d'aria.

**Coibentazione interna collassata:** Come già accennato nella prima parte di questo documento, la coibentazione interna al canale può collassare per vari motivi influenzando la portata e le performance del sistema. Normalmente, la situazione deve essere ripristinata altrimenti i problemi persisteranno. E' opportuno segnalare collapsi significativi della coibentazione al proprietario del sistema.

**Sistemi di estrazione (bagni, corridoi, sale operatorie, ecc) intasati o non funzionanti che non sono in grado di rimuovere l'aria dell'edificio:** Un sistema HVAC può funzionare perfettamente, ma essere inefficiente a causa delle scarse performance o del non funzionamento del sistema di estrazione aria dell'edificio. I sistemi di estrazione dei bagni, dei corridoi e altri sistemi ausiliari sporchi, intasati o non funzionanti non lavorano alla portata necessaria all'edificio e fa sì che l'impianto HVAC risulti inefficiente.

**Batterie deteriorate:** Le batterie intaccate dalla corrosione o danneggiate non funzionano come previsto provocando una diminuzione delle performance e dell'efficienza.

**Sistemi di recupero calore inefficienti:** Alcuni edifici o impianti HVAC possiedono dei sistemi di recupero che riducono la necessità di raffreddare o riscaldare aria già condizionata. Qualsiasi situazione che vada ad impattare sulle loro performance riduce l'efficienza energetica del sistema.

**Devianti di flusso, serrande e altri componenti rotti o mancanti:** Quando una parte del sistema è rotta o mancante, ciò influisce negativamente sulle performance del sistema stesso.

**Equipaggiamento HVAC non funzionante o scarsamente funzionante:** Un equipaggiamento scarsamente o non funzionante non permette al sistema di garantire le performance per le quali è stato progettato ed il risultato è spesso uno spreco energetico.

**Progettazione non corretta:** Un sistema non correttamente progettato, ad esempio con sezioni dei canali o UTA di dimensioni non adeguate, causa un significativo impatto sui consumi energetici.

**Cinghie rotte o usurate:** La rottura o l'usura delle cinghie può imporre al sistema HVAC di lavorare ad un regime più elevato al fine di garantire la portata di progetto usando così un maggiore quantitativo di energia. Lo stesso succede per le fasce delle pulegge usurate.

**Sistema non bilanciato:** Durante gli interventi di ispezione e pulizia, l'appaltatore potrebbe rilevare dei segnali di un impianto non correttamente bilanciato, come un eccessivo o insufficiente apporto di aria in certe zone, che non possono essere risolti con la pulizia stessa. Ciò può causare uno spreco di energia e deve essere risolto attraverso un nuovo bilanciamento dell'impianto.

## Referenze

National Environmental Balancing Bureau (NEBB) Procedural Standard for Testing Adjusting and Balancing of Environmental Systems 2015 – Eighth Edition National Environmental Balancing Bureau (NEBB) Testing Adjusting and Balancing Manual for Technicians – 1997 Edition

Duct Traverse Formulas: [www.tabcalcs.com](http://www.tabcalcs.com). There is also a TABcalcs phone app.

Psychrometric Chart Online: [http://www.daytonashrae.org/psychrometrics\\_imp.html#start](http://www.daytonashrae.org/psychrometrics_imp.html#start)

ACR, Assessment, Cleaning, and Restoration, the NADCA Standard

### **NOTE AIISA**

- Si precisa che i risultati derivanti dall'uso delle formule trasmesse portano a considerazioni di prima approssimazione sull'eventuale risparmio energetico conseguibile.

- I reali valori dei consumi/risparmi energetici devono essere valutati conoscendo attentamente tutti i componenti degli impianti.

Questo Documento contiene formule che si riferiscono ad unità di misura Americane.

Aiisa rende disponibili analoghe Formule che sono la trasposizione delle formule NADCA.

Potete richiedere il foglio excel relativo all'indirizzo e-mail [anam@aiisa.it](mailto:anam@aiisa.it).