



1

dall'industria realizzazioni

## Travi fredde per un'industria della refrigerazione

Un sistema a travi fredde per la nuova palazzina direzionale di un importante azienda costruttrice di componenti per la refrigerazione industriale. Il progettista dell'impianto ripercorre tutte le fasi della realizzazione: dalla nascita dell'idea all'analisi teorica della fattibilità, fino all'esame dei vantaggi e svantaggi della scelta dopo la verifica di funzionamento sul campo.

di Giorgio Ferraro

Quando la committente mi convocò per un briefing al fine di definire le caratteristiche dell'impianto di climatizzazione da realizzare nella futura palazzina direzionale, non avevo le idee molto chiare. Certamente non volevo realizzare un classico impianto a fan coil, ma l'importanza dell'edificio e, soprattutto, il tipo di committente mi preoccupavano non poco.

La LU-VE Contardo è infatti una primaria azienda multinazionale leader in Europa nella produzione di componenti per la refrigerazione industriale certificata Eurovent: insomma il mio cliente era del settore ed io, umile ciabattino, mi presentavo a casa dell'industria-

1 La nuova palazzina direzionale della società LU-VE Contardo, a Ubolde (VA), oggetto dell'articolo. La superficie per piano è di circa 500 m<sup>2</sup>, mentre quella totale risulta di 1.500 m<sup>2</sup>, con un volume di 4.500 m<sup>3</sup>.

2 L'edificio è organizzato su tre livelli: un piano terra

con un importante ingresso ed una serie di sale riunioni; un primo piano con gli uffici contabilità e amministrazione; un secondo piano con gli uffici direzionali.

3 Ogni ambiente è trattato con 2 o 3 travi ad induzione installate a filo controsoffitto ed alimentate con aria a 14 °C ed acqua a 15 °C.



le della scarpa di qualità. L'obiettivo era quello di realizzare un edificio di alto livello in cui l'aspetto funzionale dell'impiantistica doveva sposarsi perfettamente con quello estetico, senza prevaricarlo o esserne prevaricato. La qualità richiesta dell'impianto di climatizzazione era elevata, con particolare attenzione ad un'impiantistica a basso impatto sonoro e senza correnti d'aria. Un ulteriore impegno era rappresentato dal desiderio della proprietà di utilizzare, ove possibile, componenti prodotti dalla azienda stessa da mostrare come biglietto da visita. Dato che nessuno, neppure la committente come già detto, voleva un impianto a fan coil, restavano due possibilità: un impianto a tutta aria, possibilmente del tipo monocondotto VAV, oppure un impianto misto aria-acqua del tipo a soffitto freddo.

L'impianto a tutta aria venne rapidamente abbandonato. La committente desiderava infatti un impianto senza elevate quantità d'aria trattata. Dato l'alto valore del carico specifico, superiore ai 100-110 W al m<sup>2</sup> di superficie trattata, con un impianto a tutta aria ciò significava una portata di aria trattata di 30 m<sup>3</sup>/h per metro quadrato, pari a 10 vol/h. Il desiderio della proprietà era quello di ridurre al minimo, o meglio evitare, le eventuali lamentele dell'utenza, costituita prevalentemente da personale femminile. La struttura prefabbricata dei solai inoltre mal si adattava alla importante forometria richiesta da un impianto a tutta aria. Sul tavolo rimanevano due sole tipologie di impianto: il classico e mai tramontato soffitto radiante di tipo Frenger oppure un impianto a travi fredde.

Personalmente ritengo il soffitto radiante ancora il miglior impianto che si possa oggi realizzare. Il suo limite è l'essere, anche con l'utilizzo di grosse quantità d'aria primaria, un impianto a due tubi che male si adatta ad elevati carichi interni e a condizioni climatiche molto variabili che oggi impongono l'impiego di impianti a 4 tubi (con fluidi caldi e freddi contemporaneamente disponibili), con le conseguenti garanzie di funzionalità ma anche con i conseguenti costi di realizzazione e, a posteriori, di gestione. L'impianto da realizzare era stato quindi automaticamente definito: travi fredde a quattro tubi con aria primaria. Si trattava di verificare, dati alla mano (carichi termici, carichi solari) l'effettiva fattibilità dell'impianto. Un piccolo, ma importante, punto a favore della scelta fatta era co-



stituito dal fatto che la committente produce le batterie alettate di scambio aria/acqua per le travi fredde di un primario costruttore presente sul nostro mercato.

Caratteristiche dell'edificio

La nuova palazzina uffici (figura 1) è organizzata su tre livelli: un piano terra con un importante ingresso affacciato sul vuoto del vano ascensore (figura 2) ed una serie di sale riunioni; un primo piano con gli uffici contabilità-amministrazione; un secondo piano con gli uffici direzionali. La superficie per piano è di circa 500 m², mentre quella totale risulta di 1.500 m², con un volume di 4.500 m³. L'affollamento medio è di 50 persone con punte fino a 100. Il fabbisogno minimo di aria esterna è stato calcolato in 5.000 m³/h

Le tabelle 1 e 2 riportano i carichi termici complessivi e per piano.

Comfort e rumore

Vari sono gli elementi a favore dell'impiego delle travi fredde. Il livello di confort è ottimo, offerto da una impiantistica del tipo a 4 tubi con aria primaria. Buono è il livello di rumorosità, tenendo presente che si deve garantire un aumento non superiore a 3 dB ad impianto attivo rispetto al rumore di fondo ipotizzato in 34-35 dB(A).

La trave, senza silenziatori, garantisce un livello di pressione sonora di 28-32 dB(A), con una attenuazione standard dell'ambiente di 10 dB(A). Ogni ambiente è servito da 2 o 3 travi (figura 3), pertanto il livello sonoro con 3 travi risulta pari a: 30 + 4,7 = 34 -35 dB(A).

Infatti la formula per il calcolo del rumore prodotto da fonti uguali è la seguente:

$$Lp_{30} + Lp_{30} + Lp_{30} \text{ dB(A)} = 10\log(3) + Lp_{30} = 4,7 + 30 = 34,7 \text{ dB(A)}$$

Il rumore indotto dall'impiantistica è dello stesso livello del rumore di fondo, quindi entro i limiti progettuali che ci si era imposti.

Copertura dei carichi

La capacità di copertura del carico ambiente è buona. Si dovevano infatti coprire carichi fino al limite di 120 W al m² di pavimento. La copertura del soffitto realizzabile con le travi fredde non supera il 14-16 % dello stesso. Con una resa di 320 W al metro lineare di trave con larghezza di 60 cm (pari a 520 W/ m² di trave), ottenibile con un differenziale di 9 K tra temperatura dell'aria ambiente (25 °C) e temperatura media dell'acqua (16 °C), si può garantire una resa pari a 520 W/ m² x 0,15 = 78-80 W/ m² di pavimento

A questa potenza va aggiunta la resa

dell'aria primaria, che deve quindi assicurare da un minimo di 25 ad un massimo di 35 W/ m² di pavimento per ottenere i 120 W/ m².

Con un differenziale di 11 K tra aria primaria (14 °C) ed ambiente (25 °C), la portata d'aria risulta pari a 30 W/ m² /11 K x 0,35 = 7-8 m³/h. m² di pavimento, pari a 2,5 vol/h

Questo dato concorda perfettamente con il fabbisogno medio di aria primaria per metro lineare di trave, pari a 10 l/s, quindi 36 m³/h per metro di trave.

Poiché un metro di trave serve circa 5-6 m² di pavimento, si ritorna al fabbisogno di 6-8 m³/h per metro quadrato di pavimento.

Qualità dell'aria e manutenzione

La qualità dell'aria è ottima. La necessità di utilizzare ben 2,5 vol/h di aria ci ha permesso di ottimizzare la quantità di aria esterna minima, garantendo un apporto medio di 100 m³/h di aria di ventilazione per persona , con un minimo di 50 m³/h persona, pari ad 1 vol/h complessivo. L'ottima filtrazione garantita da filtri di efficienza EU 8 installati sull'unità di trattamento fornisce ottime garanzie di bassa polverosità.

Il livello di manutenzione è medio/basso. Rispetto ad un impianto a fan coil sono infatti assenti sia l'elettroventilatore locale, normalmente fonte, a medio termine, di rumore, sia i filtri di protezione dello stesso, principale punto di manutenzione. Restano soltanto i due servomotori delle valvole calda e fredda. Un'accorta

Tab. 1 – Carichi termici complessivi.

Fabbisogno massimo senza aria esterna	98 kW
Fabbisogno sensibile aria esterna	35 kW
Fabbisogno complessivo	143 kW

Tab. 2 – Carichi medi per piano in W/m² (sensibile).

	Piano terra -primo	Piano secondo	Locale angolo	Piano terra sale riunione	Atrio con lucernario
Luci	10 - 12	10 - 12	8 - 10	15	---
Computer	10 - 12	6 - 8	6 - 8	10	---
Persone	10	6	6	55	---
Copertura	---	10	10	---	---
Carico solare	60	60	90	---	120
Altri carichi	5	7	4	10	---
Totale	95 - 99	95 - 99	124 - 128	90	120

4 Per l'atrio al secondo piano, aperto sul vuoto fino a piano terra ed illuminato da un grande lucernario, l'elevato carico solare e l'impossibilità fisica di montare le travi fredde hanno imposto

l'utilizzo di un impianto a tutta aria.

5 La centrale frigorifera è contenuta all'interno di una struttura trasparente in vetro posta proprio in prossimità dell'ingresso della palazzina.



progettazione può prevedere l'installazione delle valvole nelle zone comuni e/o nei corridoi per evitare di accedere all'ufficio per l'eventuale manutenzione elettrica.

### Consumo energetico

Molto contenuto è il consumo energetico. Per quanto riguarda l'energia elettrica, essendo la trave fredda in pratica un induttore orizzontale, l'energia motrice dell'unità è data dall'aria primaria cui è richiesta una sovrappressione finale di circa 60-80 Pa.

Il risparmio energetico rispetto ad un equivalente impianto a fan coil è di circa 150-160 kWh/anno per ogni kW termico, pari a circa 18-20 €/kW.

Per l'edificio in questione, che presenta un fabbisogno di 120 kW (senza calcolare il carico dell'aria esterna), ciò significa un risparmio di costi di energia elettrica pari a  $20 \text{ €/kW} \times 120 \text{ kW} = 2.400 \text{ €/anno}$ . Se si esclude il gruppo frigorifero, la po-

tenza elettrica utilizzata (in pratica dovuta al solo ventilatore dell'aria primaria) è pari al 50% della potenza elettrica assorbita da un impianto a fan coil con aria primaria.

Il ventilatore dell'aria primaria è dotato di inverter. Circa il 33% della portata di aria primaria (4.000 m<sup>3</sup>/h su un totale di 12.000) alimenta cassette VAV, pertanto si è dovuto introdurre un controllo automatico del valore di pressione statica utile e quindi della portata trattata. La presenza del controllo della pressione statica a monte degli utilizzi garantisce il mantenimento della portata al variare dell'intasamento dei filtri.

### Le problematiche

Gli elementi potenzialmente fonte di problemi di un impianto a travi fredde possono essere i movimenti d'aria ed il pericolo di formazione della condensa. Il movimento d'aria è leggermente avvertibile. In effetti la necessità di utilizzare ben 2,5 vol/h di aria primaria porta la totalità

dell'aria immessa (primaria + aria ambiente indotta) a circa 8-10 vol/h, paragonabile all'aria trattata da un impianto a tutta aria con medio-alti carichi specifici.

La sensazione del lancio con la trave fredda è tuttavia decisamente meno avvertita rispetto ad un impianto a tutta aria: a parità di portata d'aria trattata la superficie di lancio è infatti almeno 4 volte superiore a quella del diffusore equivalente. La temperatura media del lancio è paragonabile ma le velocità residue a livello uomo sono decisamente più basse per la maggior superficie di lancio. La variazione del lancio è nulla e la portata è costante al variare del carico.

Il pericolo di formazione della condensa è stato invece valutato in modo diverso a seconda della destinazione d'uso degli ambienti:

- basso per gli uffici operativi e direzionali;
- medio/alto per le sale meeting;
- alto per il locale preparazione cibi.

6 L'acqua refrigerata è prodotta da un'unità motoevaporante collegata con un condensatore evaporativo del tipo ad umido in grado di incrementare la resa del condensatore con temperature esterne superiori ai 40 °C.



Diverse sono state quindi le strategie adottate. Per gli uffici sono state previste le seguenti misure di protezione:

a) sensore anticondensa (sonda a contatto in grado di avvertire la formazione di condensa sui tubi dell'acqua fredda), che manda in chiusura la valvola del freddo. È stato utilizzato solo per alcuni ambienti critici con alta presenza specifica di persone.

b) immissione di aria primaria a 13,5-14 °C, che garantisce la non condensazione sulla batteria con acqua gelida in ingresso a 14,5 °C con ambiente a 25 °C ed umidità relativa al 50-55%.

La bassa temperatura di immissione dell'aria primaria garantisce anche la disponibilità di una potenza frigorifera specifica pari a circa  $(25-14) \times 0,35 = 3,85$  W/m<sup>3</sup>.h

Con una portata di 7-8 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> ciò assicura una potenza di 29-30 W/m<sup>2</sup>.

c) Per le sale meeting si è deciso invece per la rinuncia all'impianto a trave fredda. L'alto valore del carico latente (45-50 W/m<sup>2</sup>) avrebbe infatti richiesto 20-25 m<sup>3</sup>/h. m<sup>2</sup> di aria primaria, valore

praticamente impossibile da ottenere; pertanto si è optato per un impianto a tutta aria con cassetta VAV in grado di garantire una portata max di 25-27 m<sup>3</sup>/h. m<sup>2</sup> (8-9 vol/h), con un minimo di 12-15 m<sup>3</sup>/h. m<sup>2</sup> (4-5 vol/h), con batteria di post.

Analogamente per il locale preparazione cibi la presenza saltuaria ma importante di vapor d'acqua, e pertanto l'alto pericolo di formazione di condensa, ci ha imposto l'utilizzo di una cassetta VAV con batteria di post.

Per quanto riguarda l'atrio al piano secondo (**figura 4**), aperto sul vuoto fino a piano terra ed illuminato da un lucernario di ben 20 m<sup>2</sup> di superficie, l'alto carico solare e l'impossibilità fisica di montare le travi fredde hanno imposto anche per questo ambiente l'utilizzo di un impianto VAV con batteria di post.

#### Canali di mandata e di ripresa

La necessità di installare cassette VAV ha imposto la formazione di due reti di canali di mandata: la rete di alimentazione delle cassette VAV, con una pressione

statica utile residua di 260-300 Pa, e la rete di alimentazione dell'aria alle travi fredde, con una statica utile residua di 80-120 Pa.

La necessità di trattare 2,5 vol/h (12.000 m<sup>3</sup>/h), di cui un solo volume (4500 m<sup>3</sup>/h) di aria esterna, ha richiesto la formazione di una rete di canali di ripresa. Questo fatto ha appesantito notevolmente la rete di canali, che ha richiesto ben 4,5 kg di canali installati per ogni m<sup>2</sup> trattato, contro i soli 2,5-3 kg/m<sup>2</sup> per un classico impianto a fan-coil.

#### La centrale frigorifera

La centrale frigorifera è contenuta all'interno di una struttura trasparente in vetro posta proprio in prossimità dell'ingresso della palazzina (**figura 5**).

Al fine di rispondere positivamente alla richiesta della LU-VE Contardo di utilizzare componenti di propria produzione nella realizzazione dell'impianto, oltre alle travi fredde, per le quali l'azienda produce conto terzi le batterie di scambio, abbiamo voluto utilizzare un condensatore evaporativo del tipo ad umido (**figura 6**), di cui l'azienda è produttore primario a livello europeo.

Il dimensionamento della macchina della LU-VE è stato eseguito in collaborazione con Trane, costruttore del gruppo frigorifero, azienda che ci ha seguito nella realizzazione dell'interfaccia tra la propria unità motoevaporante della serie CCUH (macchina di serie già predisposta per lavorare con condensatore ad aria separato) ed il condensatore evaporativo.

Il condensatore utilizzato è una delle unità più performanti della gamma. Infatti, oltre al controllo elettronico della velocità dei ventilatori di condensazione, è munito di una rampa di ugelli alimentati con acqua osmotizzata, in grado di mantenere ed incrementare la resa del condensatore con temperature esterne superiori ai 40 °C.