

16 NOVEMBRE 2021

#9 RUBRICA:
GLI IMPIANTI NEGLI EDIFICI NZEB

DALLA TEORIA ALLA PRATICA

Dott. Ing. Michele Vio



Rubrica: Gli impianti negli edifici NZEB: dalla teoria alla pratica

Lo sfruttamento del Free-Cooling diretto

Nell'articolo precedente si è mostrato come un impianto a tutta aria a portata variabile VAV (Variable Air Volume) richiedesse ai generatori freddi meno energia rispetto ad un impianto ad aria primaria e fan-coil. Questo accade perché un impianto VAV riesce a sfruttare molto meglio il raffreddamento gratuito (Free-Cooling) ovvero l'immissione diretta di aria esterna più fredda di quella ambiente per raffreddare i locali.

In questo articolo si spiega il perché è si mostra anche l'importanza del clima, in particolare della entalpia dell'aria esterna. Per farlo si utilizza un confronto con un edificio per uffici posto in tre diverse località: Milano, Roma e Bari [Corgnati e altri 2016].

In questo articolo si prescinde dal certo maggior consumo degli ausiliari, in particolare dei ventilatori, degli impianti VAV.

Il free cooling diretto

In molti edifici capita spesso di dover raffreddare l'ambiente non solamente in estate, ma anche nella mezza stagione o in inverno, quando la temperatura dell'aria esterna è inferiore di quella mantenuta all'interno degli ambienti climatizzati.

Un esempio tra tutti è quello di un centro commerciale durante i giorni immediatamente precedenti alle vacanze natalizie: l'affollamento delle persone e l'illuminazione creano dei carichi endogeni ben superiori alle dispersioni di calore attraverso le pareti e le superfici vetrate, che devono, pertanto, essere smaltiti dall'impianto di condizionamento.

Per evitare un inutile spreco di energia, si può sfruttare direttamente la bassa temperatura dell'aria esterna, inferiore a quella interna, immettendola direttamente nell'ambiente. Si ottiene così un raffreddamento gratuito, free-cooling nella denominazione anglosassone. L'aggettivo "diretto" è legato al fatto che l'aria esterna viene inviata direttamente in ambiente, per distinguerlo dal free-cooling indiretto, ottenuto sfruttando la bassa temperatura dell'aria esterna per raffreddare l'acqua di un circuito idraulico, da inviare ai terminali.

Il free-cooling diretto è sempre preferibile, quando sia possibile utilizzarlo, perché permette dei risparmi energetici più elevati.

Esistono sostanzialmente tre sistemi distinti per ottenere il free-cooling diretto:

- free-cooling tradizionale
- free-cooling assistito dal raffreddamento adiabatico diretto
- free-cooling assistito dal raffreddamento adiabatico diretto ed indiretto

Dei tre sistemi, il primo è il meno efficiente, ma il più semplice, mentre l'ultimo è in assoluto il più efficiente, ma richiede una regolazione più complessa.

Il free-cooling diretto tradizionale

Quando sussistono le condizioni di attivazione del free-cooling, viene prelevata tutta l'aria esterna, escludendo il ricircolo e by-passando (o fermando) il recuperatore di calore. La batteria fredda, collegata idraulicamente ai gruppi frigoriferi, provvede, se necessario, a raffreddare ulteriormente l'aria (figura 1)

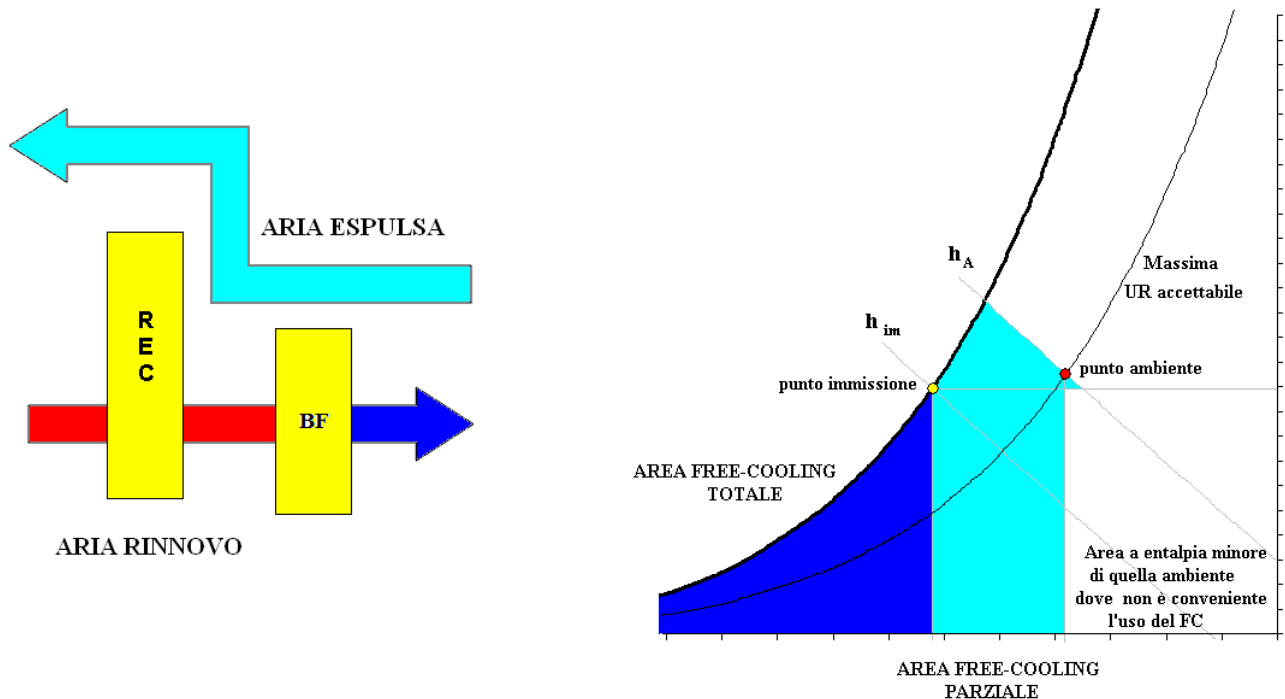


Figura 1: Free-cooling Tradizionale

Per massimizzare l'effetto del free-cooling è necessario puntare alla massima UR accettabile all'interno dell'ambiente. Le condizioni di attivazioni sono due: sia la temperatura che l'entalpia dell'aria immessa (esterna di rinnovo) devono essere inferiori a quella massima accettabile all'interno dell'ambiente climatizzato. Infatti, se la sola entalpia fosse inferiore, ma la temperatura superiore, il gruppo frigorifero richiederebbe una maggiore potenza per abbassare la temperatura fino al punto d'immissione necessaria.

Quando i valori della temperatura e dell'umidità specifica (quindi l'entalpia) dell'aria esterna sono inferiori a quelli del punto di immissione massimo accettabile I (free-cooling totale, area blu), non è necessario utilizzare la batteria fredda per integrare la potenza termica richiesta. La potenza di integrazione fornita dalla batteria fredda è necessaria nell'area del free-cooling parziale (area azzurra), caratterizzata da valori di temperatura e entalpia dell'aria esterna inferiori a quella dell'aria in ambiente, nelle condizioni massime accettabili.

Le aree nelle quali è conveniente l'utilizzo del free-cooling sono tanto maggiori quanto più elevati sono i valori di:

- temperatura dell'aria e di umidità relativa accettabili in ambiente;
- temperatura dell'aria di immissione e quindi di portata di aria immessa.

L'aumento della portata di aria immessa innalza la temperatura d'immissione, quindi allarga l'area blu del free-cooling totale e permette un maggior sfruttamento del free-cooling, ma aumenta anche il consumo per la ventilazione. Di conseguenza, va verificata la sua effettiva convenienza [Vio, 2018].

I vantaggi del Free-Cooling tradizionale

L'analisi che segue viene effettuata in un edificio per uffici di circa 12000 m² posizionato a Milano, con isolamento di legge, vetratura pari al 33%, come quello descritto nei lavori riportati in bibliografia [Corgnati 2016] [Vio 2018] cui si rimanda per ulteriori approfondimenti. Qui sono importanti i concetti generali.

La figura 2 mostra l'andamento temporale della potenza media oraria per ogni ora dell'anno nel caso di impianto ad aria primaria + fan-coil e un impianto tutt'aria VAV. Le linee rosse, positive, rappresentano la richiesta al generatore caldo, e quelle blu, negative, rappresentano la potenza richiesta al generatore freddo.

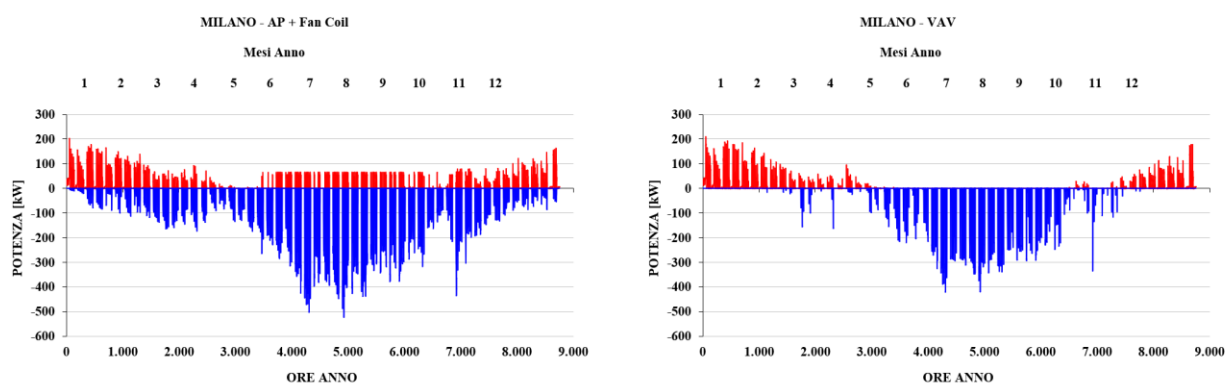


Figura 2: Potenza richiesta per ogni ora dell'anno ai generatori caldo e freddo

Relativamente alla regolazione dell'impianto AP+Fan Coil, nella figura riportata è stato considerato un impianto con immissione d'aria di rinnovo fissa a 18°C, controllo della batteria fredda basata sull'umidità dell'aria ambiente e non a punto fisso (lo stesso vale anche per l'impianto VAV: con la regolazione a punto fisso le prestazioni energetiche sarebbero ben peggiori) portata variabile in funzione della presenza delle persone e temperatura dell'acqua d'immissione dei fan-coil variabile tra 7°C e 14°C. Il recuperatore di calore è del tipo solo sensibile con efficienza pari al 73% (di altri tipi di recuperatori di calore si parlerà nel prossimo articolo).

La figura mostra chiaramente una minor richiesta di energia al generatore freddo, ma merita un approfondimento per quanto riguarda il generatore caldo. Quando serve solo riscaldamento e non raffreddamento, non c'è alcuna differenza nella richiesta energetica tra le due tipologie d'impianto. Viceversa, nei mesi compresi tra giugno e ottobre l'impianto ad aria primaria + fan-coil ha una richiesta di post-riscaldamento, che non c'è nel caso del VAV. Questo, però, non è un problema energetico, se si usano una serie di accorgimenti descritti nei prossimi articoli.

Per comprendere meglio quando e perché l'impianto VAV richieda meno potenza al generatore freddo si può osservare la figura 3, in cui viene riportata la differenza percentuale di potenza tra impianto Aria Primaria + Fan-Coil e impianto VAV, in funzione sia della temperatura (diagramma di sinistra) che della entalpia dell'aria esterna.

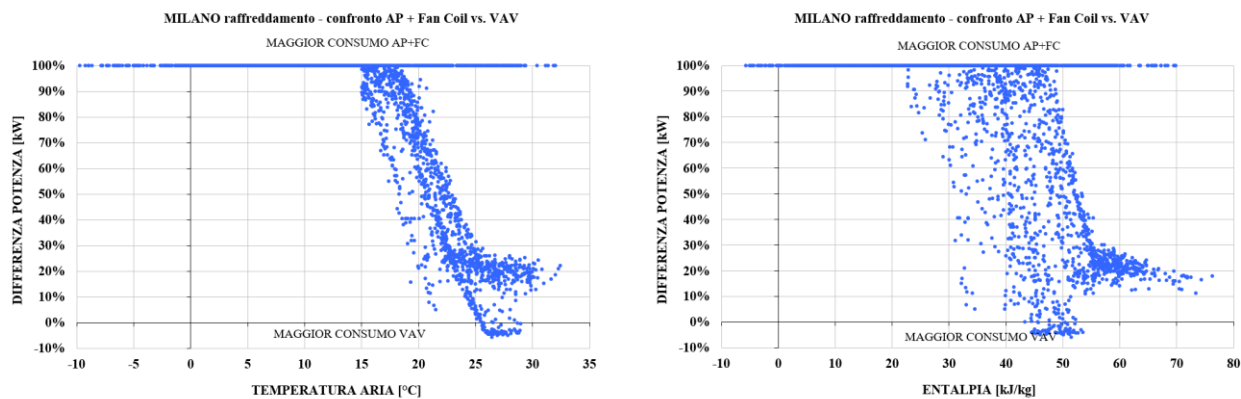


Figura 3: differenza di potenza richiesta per ogni ora al generatore freddo tra impianto AP+FC e VAV (ogni punto rappresenta un'ora)

Come si può notare, l'impianto VAV non richiede alcuna potenza al generatore freddo (Free-cooling totale) fino a quando la temperatura dell'aria esterna è inferiore a 15°C (valore d'immissione). La riduzione scende in modo netto e lineare fino a 26°C. Al di sopra dei 26°C, la riduzione si stabilizza: ciò dipende dalla maggiore deumidificazione effettuata dall'impianto ad aria primaria e fan-coil: in quelle condizioni, infatti, i fan-coil sono alimentati a temperatura dell'acqua prossima a 7°C e ciò comporta una deumidificazione eccessiva, così, come spiegato in un articolo precedente.

Dal punto di vista dell'entalpia, la diminuzione comincia al di sopra di 22 kJ/kg, ed è prossima a 0% per condizioni già inferiori a 40 kJ/kg (ad esempio una condizione può essere quella di 22°C con UR = 40%, con un'entalpia di 38,8 kJ/kg). L'appiattimento del risparmio avviene per valori di entalpia superiori a 55 kJ/kg, in quanto l'ambiente interno è mantenuto a 26°C con UR=55%, pari ad un'entalpia di 55,6 kJ/kg.

La richiesta di potenza è superiore per il VAV solamente per poche condizioni con temperatura compresa tra 26°C e 28°C e entalpia compresa tra 45 kJ/kg e 55 kJ/kg: si tratta di condizioni molto particolari in cui la deumidificazione diventa eccessiva nel caso del VAV, più che dell'impianto ad aria primaria e fan-coil.

Ricapitolando, il risparmio energetico è totale fino a che l'entalpia è inferiore a 20 kJ/kg, ottimo tra 20 kJ/kg e 40 kJ/kg, buono fino a 55 kJ/kg, comunque discreto al di sopra di questo valore.

Il free-cooling diretto coadiuvato dal Raffreddamento Adiabatico Diretto (RAD)

Per ampliare il campo dei valori di entalpia dell'aria esterna ove sfruttare il free-cooling, è possibile aggiungere il raffreddamento adiabatico diretto (RAD), come mostrato in figura 4.

Quando le condizioni lo consentono, è possibile utilizzare il Raffreddamento Adiabatico Diretto aggiungendo un umidificatore adiabatico nel condotto di rinnovo, a monte della batteria fredda, per pre-raffreddare l'aria di rinnovo.

Il sistema RAD si ottiene a costo zero se si utilizza l'umidificatore già presente per il funzionamento in riscaldamento, basta avere l'accortezza di installarlo a monte e non a valle della batteria fredda. Quando il valore dell'entalpia dell'aria esterna è inferiore a quello del punto di immissione massimo accettabile I (free-cooling totale, area blu), non è necessario utilizzare la batteria fredda per integrare la potenza termica. La potenza di integrazione fornita dalla batteria fredda è necessaria nell'area del free-cooling parziale (area azzurra, umidificatore in funzione), nella quale il valore dell'entalpia dell'aria esterna è inferiore a quello relativo alle condizioni di

immissione, h_i . Il free-cooling parziale è sfruttabile anche quando il valore dell'entalpia dell'aria esterna è inferiore a quello dell'aria in ambiente, ma il valore dell'umidità specifica dell'aria esterna è maggiore di quello di immissione (aria grigia). In questa condizione l'umidificatore è disattivato.

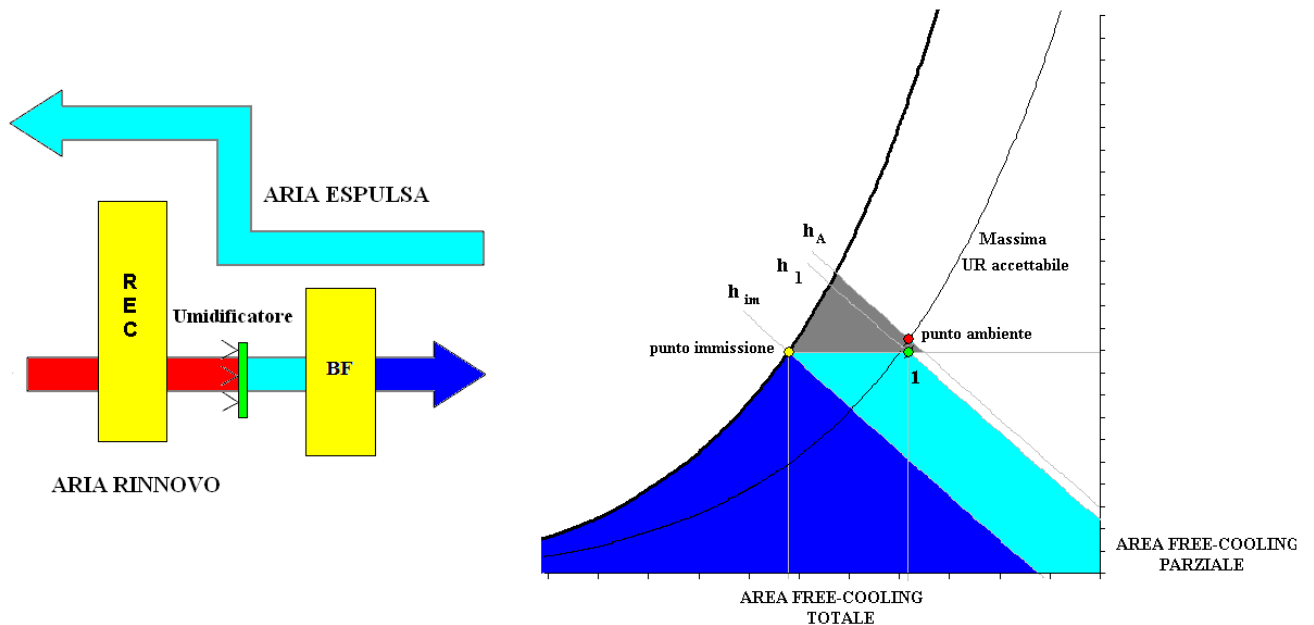


Figura 4: Free-cooling + Raffreddamento adiabatico diretto

Come si può notare, il RAD permette di ampliare sia l'area del Free-cooling parziale che quella del Free-Cooling totale.

Il free-cooling diretto coadiuvato dal RAD + RAI

Aggiungendo anche il Raffreddamento Adiabatico Indiretto (RAI) si aumenta ulteriormente il campo di valori dell'entalpia dell'aria esterna in cui si può utilizzare il free-cooling, come mostrato in figura 5. Le aree sono indicate dal colore verde.

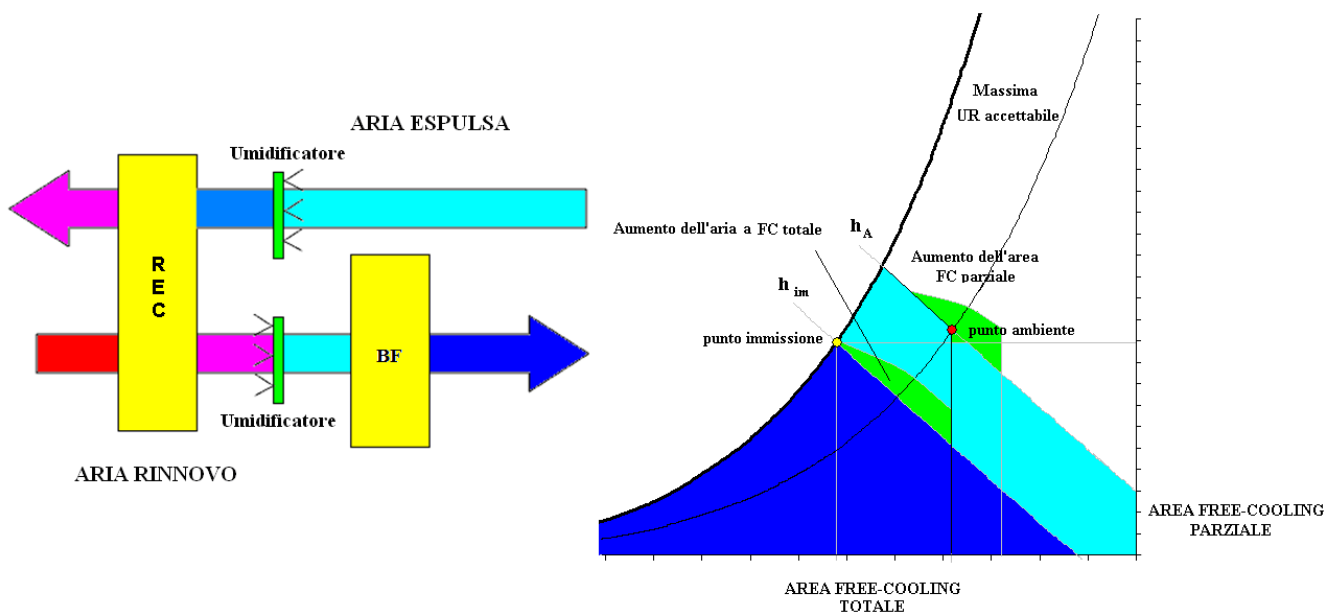


Figura 5: Free-cooling + RAD + RAI

Si aggiunge un umidificatore adiabatico nel condotto di espulsione: in questo modo l'aria espulsa viene preraffreddata aumentando così la zona di funzionamento. Il recuperatore non è mai bypassato e deve sempre essere dimensionato per la portata di aria di rinnovo in condizioni di free-cooling.

Il RAD può anche non esserci, ma comunque è sempre consigliato.

Analisi nel clima italiano

Come visto fin qua, lo sfruttamento del free-cooling dipende soprattutto dai valori di entalpia delle città dove è installato l'impianto.

Si supponga di spostare lo stesso edificio visto in precedenza a Roma e a Bari [Corgnati 2016].

La figura 6 mostra il numero di ore in cui è necessaria raffreddare gli ambienti, divise per fasce di valori dell'entalpia.

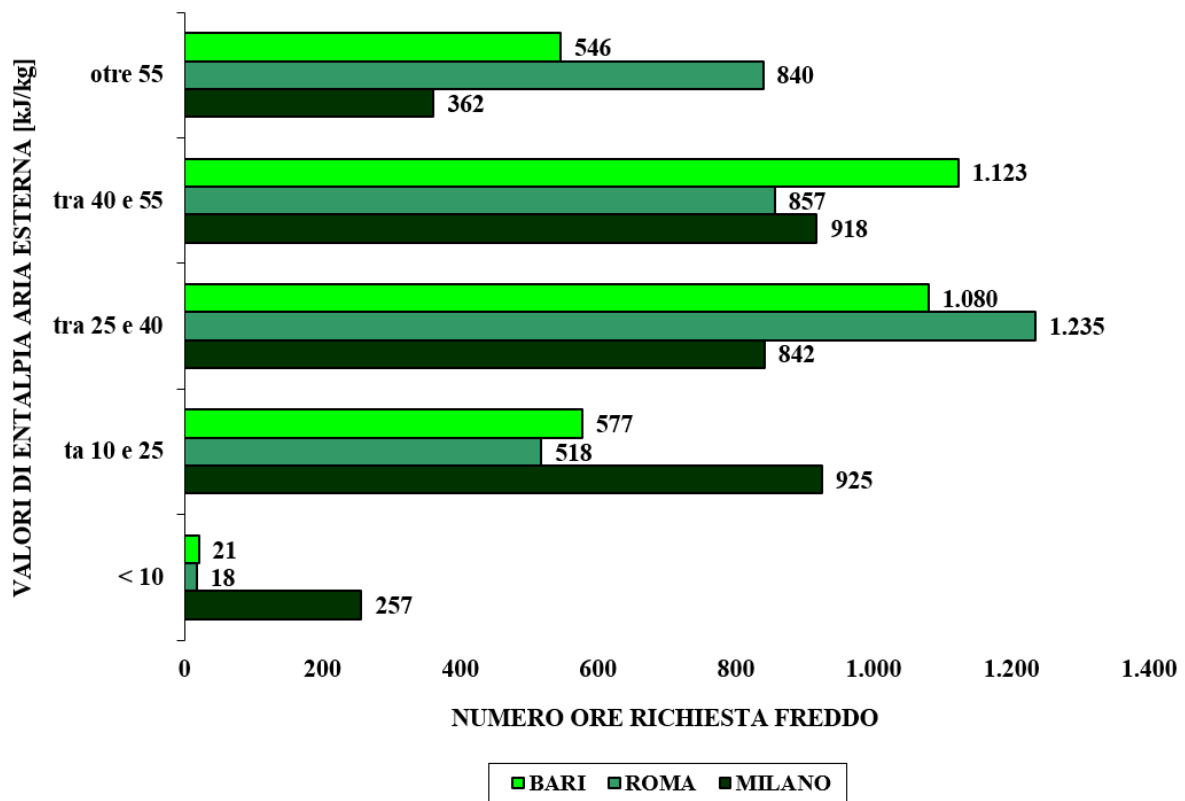


Figura 6: numero di ore in cui è necessario il raffreddamento, divise per fasce di valori di entalpia originali

La figura 7 riporta i consumi richiesti al generatore freddo per le 4 tipologie d'impianto, Aria primaria + Fan coil (AP+FC), e i 3 VAV con Free Cooling tradizionale, RAD e RAI.

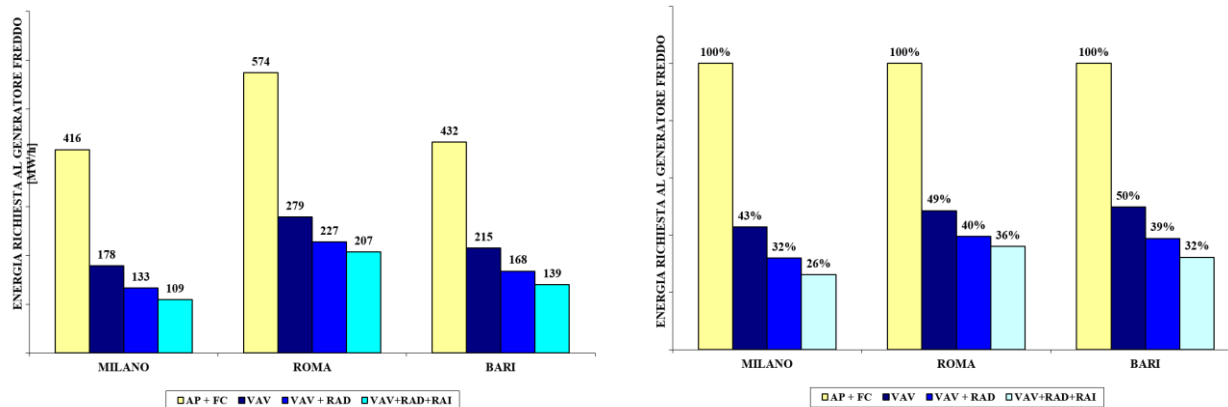


Figura 7: richiesta di energia al generatore freddo in valore assoluto e percentuale

I risparmi energetici sono molto importanti in tutte le città italiane esaminate, indipendentemente dalla collocazione geografica.

E' interessante osservare il risparmio energetico per fascia di entalpia.

Milano ha un elevato numero di ore con entalpia inferiore a 25 kJ/kg, quasi il doppio rispetto a Roma e Bari e un numero di ore sufficiente mente elevato comprese tra 25 kJ/kg e 40 kJ/kg.

La figura 8 mostra l'energia richiesta al generatore freddo (diagramma di sinistra) per le fasce di entalpia viste finora e il risparmio di energia (diagramma di destra) per le fasce di entalpia inferiori a 40 kJ/kg, tra 40 e 55 kJ/kg; superiori a 55 kJ/kg.

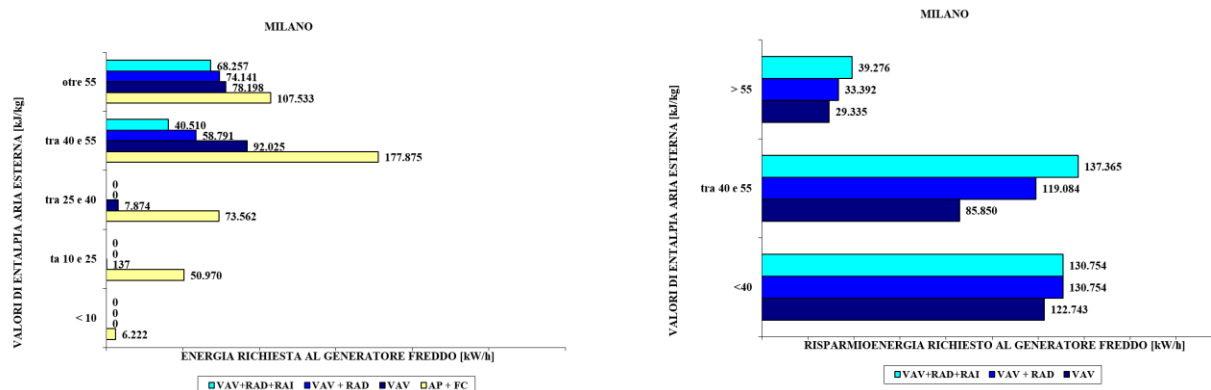


Figura 8: Milano richiesta di energia al generatore freddo in valore assoluto e risparmio di energia

Il massimo richiesta di energia si ha nella fascia compresa tra 40 e 55 kJ/kg. In questa il risparmio è molto elevato nel caso di impianto VAV coadiuvato da RAD +RAI. Il consumo è comunque elevato anche per valori di entalpia inferiori a 40 kJ/kg. In questa fascia il risparmio del RAD e del RAD + RAI è pari al 100%, ma in valore assoluto la differenza è bassa rispetto a un sistema tradizionale.

A Roma (figura 9), la massima richiesta di energia è nella fascia con valori di entalpia superiori a 55 kJ/kg, dove il free-cooling RAD + RAI riesce ad ottenere ottime prestazioni, in valore assoluto ben superiori a quelle del sistema tradizionale e al solo RAD.

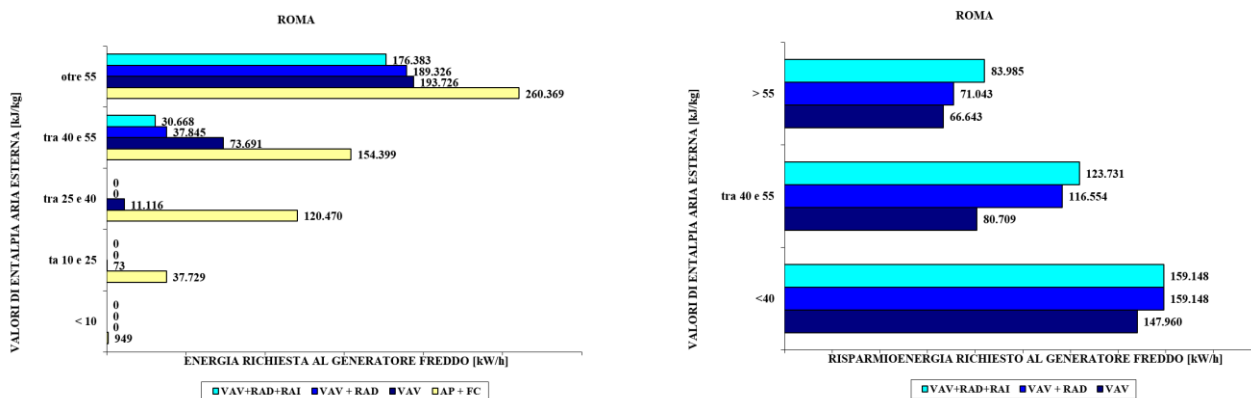


Figura 9: Roma richiesta di energia al generatore freddo in valore assoluto e risparmio di energia gli

A Bari (figura 10), la massima richiesta di energia si ha di nuovo nella fascia compresa tra 40 e 55 kJ/kg. Il clima i Bari è particolarmente adatto ai sistemi di raffreddamento adiabatico, sia diretto che indiretto, che ottengono degli ottimi risparmi proprio nella fascia di massimo consumo.

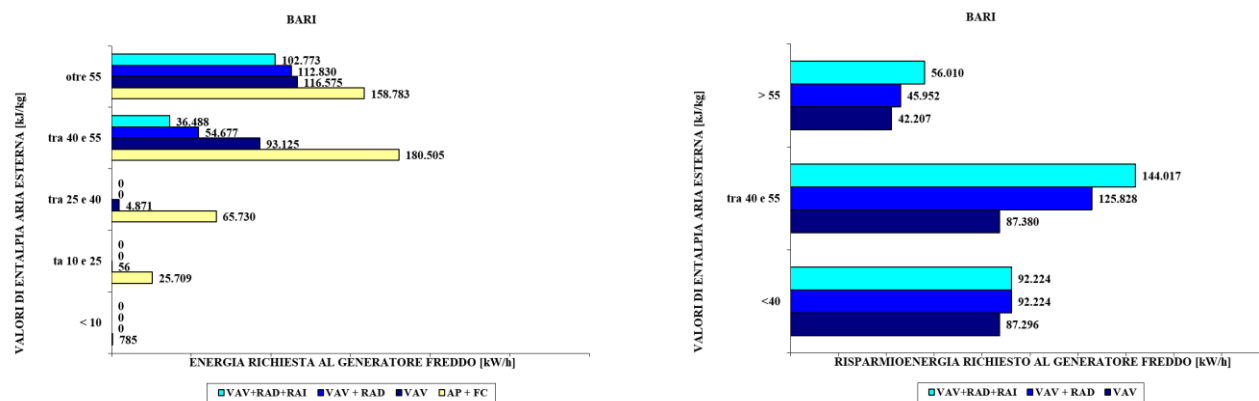


Figura 10: Bari richiesta di energia al generatore freddo in valore assoluto e risparmio di energia

Conclusioni

I sistemi a tutta aria permettono di sfruttare al massimo il free-cooling. Utilizzando in aggiunta al free-cooling tradizionale sistemi di raffreddamento adiabatico sia diretto RAD che indiretto RAI, i risparmi sono moltiplicati.

Queste soluzioni sono sempre consigliate quando l'impianto a tutta aria non può avere alternative (centri commerciali, teatri, cinematografi, ospedali, ecc.). Nel caso di edifici per uffici, i loro risultati sono ottimi, perché riducono di molto la richiesta di energia al generatore freddo. Di contro, come è già stato mostrato in un articolo precedente, il consumo energetico degli ausiliari, i ventilatori in particolare, può ridurre di molto questi benefici. Ovviamente, a parità di ogni altra condizione, il consumo dei ventilatori è legato alle dimensioni dei canali e, per ridurlo, è necessario installare canali più grandi, non sempre compatibili con gli spazi disponibili, soprattutto nella ristrutturazione degli edifici.

Nel prossimo articolo vengono trattati gli effetti dei recuperatori di calore sull'aria espulsa, diversi dai recuperatori solo sensibili.

Bibliografia

P. Corgnati, C. Becchio, M. Vio, L. Prendin, M. Magagnini. [2016](#). Influenza delle scelte progettuali sui consumi globali dell'edificio", [Atti del Convegno Aicarr, Padova, giugno, 2016](#)

Michele Vio articolo numero 48

Per maggiori approfondimenti sulla regolazione dei sistemi a Free-Cooling si veda anche:

M Vio, 2015 Guida sul recupero di calore, capitolo 7.5, scaricabile per i soci dal sito Aicarr

M Vio, 2008, Impianti di climatizzazione, Manuale di calcolo, Capitolo 5