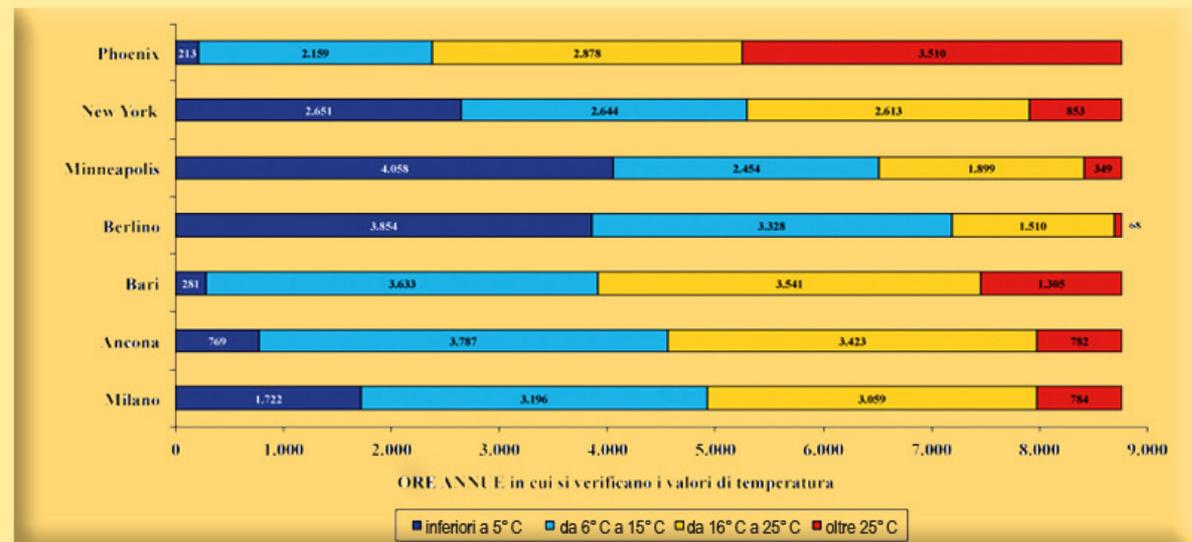


# Il recupero energetico dall'aria espulsa



**Michele Vio**

# **IL RECUPERO DI CALORE DALL'ARIA ESPULSA**



© 2014 Editoriale Delfino srl  
via Lomellina, 33 - 20133 Milano  
Tel. 02.7000.4542 - Fax 02.7000.5054  
[www.editorialedelfino.it](http://www.editorialedelfino.it)

Prima edizione 2014

I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo (microfilm, copie fotostatiche compresi), sono riservati per tutti i Paesi.

Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta con sistemi elettronici, meccanici o altro senza l'autorizzazione scritta dell'Editore.

Si ringrazia la prof. Francesca Romana d'Ambrosio per il contributo alla realizzazione del volume

Finito di stampare nel mese di ottobre 2014

Prodotto interamente realizzato in Italia

Codice ISBN: 978-88-97323-34-1

## LE GUIDE AiCARR

AiCARR, associazione culturale no profit, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile. Nata nel 1960, AiCARR si è sempre occupata delle problematiche relative all'uso consapevole dell'energia e delle risorse naturali oltre che dell'innovazione delle infrastrutture energetiche, sia nel settore impiantistico che in quello edilizio.

AiCARR conta oltre 2400 Soci fra Progettisti, Costruttori di macchine, Installatori, Manutentori, Accademici, Ricercatori, Studenti, Funzionari di Enti e Agenzie Governative e di Istituzioni nazionali e internazionali, scientifiche e operative.

Gli scopi fondamentali di AiCARR sono la produzione e la diffusione della cultura del benessere sostenibile e la formazione e lo sviluppo professionale degli operatori di settore, al fine di incrementarne la qualificazione, il contributo alla discussione e alla elaborazione delle normative di settore, la collaborazione, in qualità di autorevole interlocutore, con altre Associazioni ed Enti governativi, italiani ed europei.

I settori di interesse di AiCARR sono la progettazione del sistema edificio-impianto, il progresso e la diffusione delle norme tecniche, l'innovazione delle tecnologie impiantistiche ed edilizie ai fini del risparmio energetico, la manutenzione degli impianti, la riqualificazione energetica degli edifici esistenti, l'utilizzo delle fonti rinnovabili.

In questo scenario si colloca l'attività editoriale di AiCARR, che affianca e supporta la struttura tecnico-scientifica dell'Associazione diffondendo informazioni e cultura attraverso la Collana AiCARR, di cui fanno parte le Guide.

Le Guide AiCARR, che sono un prodotto della Commissione Comitati Tecnici, vogliono rappresentare uno strumento utile per i Soci che in esse troveranno interessanti indicazioni per la loro attività professionale.

Francesca R. d'Ambrosio

*Coordinatore della Sottocommissione Editoria della Commissione Cultura di AiCARR*



## GUIDA AiCARR

### *IL RECUPERO DI CALORE DALL'ARIA ESPULSA*

AiCARR è un'associazione culturale il cui scopo principale è quello di favorire lo sviluppo sostenibile e il risparmio energetico. Per questo motivo ha il dovere di segnalare le eventuali incongruenze tra le varie leggi e normative nei campi di suo interesse.

La Guida sul recupero di calore dall'aria espulsa nasce in quest'ottica. E' ormai consuetudine utilizzare recuperatori di calore con efficienze sempre più elevate: in questa direzione spingono sia la normativa e la legislazione attualmente in vigore, sia la bozza del nuovo regolamento europeo "Laying down ecodesign for ventilation units", che alla data di pubblicazione di questa Guida non ha ancora un numero ufficiale. Questa impostazione, che forse è corretta nel clima freddo del nord Europa e in qualche misura nel clima continentale degli USA e nei climi molto caldi del medio oriente, è errata e fuorviante nel clima mediterraneo e in quello italiano in particolare, assai mite. Infatti, un eccessivo recupero di calore potrebbe portare a risultati opposti a quelli desiderati, con un sostanziale aumento della spesa di energia primaria. Il problema è serio, perché il rispetto dei valori delle efficienze minime imposte potrebbe impedire il rispetto dei consumi di energia primaria sanciti dalla Direttiva 2010/31/UE, la cosiddetta EPBD recast, portando a una evidente incongruenza nel rispetto della legge, che sarebbe insuperabile da parte del progettista termotecnico. Ciò è evidentemente in totale controtendenza con l'impostazione ufficialmente riconosciuta, ma è supportato dai principi della fisica, come questa Guida dimostra chiaramente.

Michele Vio

*Autore della Guida*

*Past Presidenti di AiCARR*



## PRESENTAZIONE

Questa Guida, rivolta ai progettisti, agli energy manager e a tutti coloro che si occupano di gestione degli impianti HVAC, parte dall'assunto che la sola efficienza energetica non è sufficiente per definire le prestazioni energetiche dei recuperatori di calore.

La Guida illustra un nuovo approccio alla progettazione dei recuperatori di calore, che assimila l'energia recuperata a quella proveniente da un qualunque generatore il cui consumo è associato alla quota di energia, per lo più elettrica, necessaria per il suo funzionamento.

Come spesso accade con tutto ciò che è "nuovo", questo approccio potrà non trovare unanime consenso. AiCARR ha previsto che ciò possa accadere e non a caso questa Guida è disponibile sotto forma di power point sul sito dell'Associazione, in modo che se dovessero arrivare commenti sui suoi contenuti, questi saranno valutati e discussi e, se accettati, opportunamente inseriti nel testo. In sintesi, questa Guida, per il tipo di contenuti e per la modalità di diffusione rappresenta il primo tentativo editoriale di AiCARR di condividere con i Soci uno degli obiettivi primari dell'Associazione: fare cultura tecnica. E cultura tecnica significa anche confronto tra gli addetti ai lavori su argomenti specifici, soprattutto su temi affrontati con approcci diversi da quelli tradizionali.

Buona lettura da AiCARR, con l'augurio e con la speranza che l'Associazione contribuisca sempre più allo sviluppo della tecnica e della tecnologia, in modo da raggiungere l'unico vero scopo della progettazione energetica consapevole: rendere minimo il consumo di energia primaria.

Francesca R. d'Ambrosio

*Coordinatore della Sottocommissione Editoria della Commissione Cultura di AiCARR*



## Gruppo di lavoro

Questa Guida è stata redatta da:

Michele Vio                      libero professionista

## Revisori

La revisione di questa linea guida è stata fatta dai seguenti esperti che hanno fornito preziosi suggerimenti:

|                         |                                   |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Francesca R. d'Ambrosio | Università degli Studi di Salerno |
| Federico Pedranzini     | Politecnico di Milano             |
| Luca A. Piterà          | Segretario tecnico di AiCARR      |

La Commissione Comitati Tecnici ringrazia il Comitato Tecnico Sistemi impiantistici e Applicazioni che ha coordinato il lavoro

Federico Pedranzini

*Presidente della Commissione Comitati Tecnici di AiCARR*



|     |  |     |
|-----|--|-----|
| 1.  | FONDAMENTI .....   | 11  |
| 2.  | L'EFFICIENZA DEI RECUPERATORI DI CALORE .....                                    | 24  |
| 2.1 | LA MISURA DELL'EFFICIENZA SECONDO IL METODO ASHRAE .....                         | 27  |
| 2.2 | LA MISURA DELL'EFFICIENZA SECONDO IL METODO DELLA NORMA UNI EN 308 .....         | 39  |
| 2.3 | CONFRONTO TRA I METODI ASHRAE E UNI EN 308 .....                                 | 55  |
| 2.4 | L'EFFICIENZA DEI RECUPERATORI IN SERIE .....                                     | 60  |
| 2.5 | $\varepsilon > 1$ : IL RAFFREDDAMENTO ADIABATICO INDIRETTO (RAI) .....           | 63  |
|     | 2.5.1 <i>IL CONSUMO DI ACQUA NEL RAI</i> .....                                   | 76  |
| 2.6 | I LIMITI DEL CONCETTO DI EFFICIENZA DEI RECUPERATORI .....                       | 79  |
| 2.7 | L'EFFICIENZA UTILE DEI RECUPERATORI DI CALORE .....                              | 95  |
| 2.8 | POTENZA MASSIMA RECUPERABILE.....  | 109 |
| 2.9 | L'INDICE DI EFFICIENZA DEI RECUPERATORI DI CALORE .....                          | 114 |
| 3.  | LE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEI RECUPERATORI DI CALORE .....                      | 136 |
| 3.1 | IL COP DEI RECUPERATORI DI CALORE .....  | 139 |
| 3.2 | IL CONFRONTO PRESTAZIONALE TRA RECUPERATORE E GENERATORE .....                   | 160 |
| 3.3 | IL COP DEL SISTEMA .....   | 167 |
| 3.4 | LA GERARCHIA DEL RECUPERO DI CALORE .....  | 178 |
| 4.  | LA REGOLAZIONE DEL RECUPERO DI CALORE .....                                      | 183 |
| 4.1 | IL BYPASS DEI RECUPERATORI DI CALORE .....                                       | 185 |
| 4.2 | LA FORMAZIONE DI CONDENSA E DI GHIACCIO SULLE SUPERFICI DI SCAMBIO TERMICO ..... | 191 |
| 4.3 | LE CONSEGUENZE ENERGETICHE DELLA REGOLAZIONE .....                               | 200 |
| 4.4 | LA GESTIONE DELLA REGOLAZIONE .....  | 209 |



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.    | LE TIPOLOGIE DI RECUPERATORI .....   | 216 |
| 5.1   | IL RECUPERO SENSIBILE .....  | 218 |
| 5.1.1 | <i>I RECUPERATORI A PIASTRE (A FLUSSI INCROCIATI)</i> .....                            | 219 |
| 5.1.2 | <i>I RECUPERATORI A TUBI DI CALORE</i> .....   | 222 |
| 5.1.3 | <i>I RECUPERATORI A BATTERIE CONIUGATE</i> .....                                       | 225 |
| 5.1.4 | <i>I RECUPERATORI ROTATIVI SENSIBILI</i> .....   | 228 |
| 5.2   | IL RECUPERO ENTALPICO .....  | 231 |
| 5.3   | I RECUPERATORI TERMODINAMICI .....   | 233 |
| 5.3.1 | <i>I RECUPERATORI TERMODINAMICI A ESPANSIONE DIRETTA</i> .....                         | 235 |
| 5.3.2 | <i>I RECUPERATORI TERMODINAMICI IDRONICI</i> .....                                     | 254 |
| 5.3.3 | <i>I RECUPERATORI TERMODINAMICI IDRONICI CON POMPE DI CALORE AD ASSORBIMENTO</i> ..... | 267 |
| 5.3.4 | <i>IL RECUPERO DI CALORE DAL SOTTORAFFREDDAMENTO DELLE POMPE DI CALORE</i> .....       | 272 |
| 5.4   | I RECUPERATORI GEOTERMICI .....  | 291 |
| 5.5   | I RECUPERATORI PER IL POST RISCALDAMENTO ESTIVO .....                                  | 296 |
| 5.5.1 | <i>I RECUPERATORI RIGENERATIVI (RUN AROUND COIL)</i> .....                             | 301 |
| 5.5.2 | <i>I RECUPERATORI DI CALORE DALL'ARIA DI ESPULSIONE</i> .....                          | 314 |
| 6.    | L'UTILIZZO CONTEMPORANEO IN SERIE DI TIPOLOGIE DIVERSE DI RECUPERATORI .....           | 322 |
| 6.1   | IL RECUPERATORE GEOTERMICO IN SERIE CON UN ALTRO RECUPERATORE .....                    | 324 |
| 6.2   | IL RECUPERATORE STATICO IN SERIE CON QUELLO TERMODINAMICO .....                        | 332 |
| 7     | IL FATTORE DI INFLUENZA PER LE PRESTAZIONI DEI RECUPERATORI DI CALORE ...              | 340 |
| 7.1   | L'IMPORTANZA DEL CLIMA .....   | 345 |
| 7.2   | LA TEMPERATURA E L'UMIDITÀ RELATIVA DELL'ARIA IN AMBIENTE .....                        | 361 |



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 7.3   | L'INFLUENZA DELLA TIPOLOGIA DI IMPIANTO .....  | 370 |
| 7.3.1 | <i>GLI IMPIANTI AD ARIA PRIMARIA</i> .....   | 373 |
| 7.3.2 | <i>GLI IMPIANTI A TUTTA ARIA</i> .....   | 380 |
| 7.4   | IL FABBISOGNO TERMICO RICHIESTO DALL'AMBIENTE .....  | 386 |
| 7.5   | L'UTILIZZO DEL FREE-COOLING .....  | 402 |
| 7.5.1 | <i>L'UTILIZZO DEL FREE-COOLING TRADIZIONALE</i> .....  | 406 |
| 7.5.2 | <i>L'UTILIZZO DEL FREE-COOLING INTEGRATO DAL RAD (RAFFREDDAMENTO ADIABATICO DIRETTO)</i> ..... | 419 |
| 7.5.3 | <i>L'UTILIZZO DEL FREE-COOLING INTEGRATO DAL RAD E DAL RAI</i> .....                           | 438 |
| 7.6   | L'UMIDITÀ SPECIFICA DELL'ARIA IMMESSA .....  | 457 |
| 7.7   | LA TEMPERATURA DELL'ARIA IMMESSA .....   | 479 |
| 7.7.1 | <i>IL CASO DELL'ISOLAMENTO TERMICO SCARSO</i> .....  | 481 |
| 7.7.2 | <i>IL CASO DELL'ISOLAMENTO TERMICO ELEVATO</i> .....   | 503 |
| 8     | LA SCELTA DEL RECUPERATORE PIU' ADATTO .....   | 512 |
| 8.1   | IL CALCOLO DELL'ENERGIA RICHIESTA PER IL TRATTAMENTO DELL'ARIA .....                           | 514 |
| 8.1.1 | <i>IL CALCOLO CON IL BIN METHOD DELL'ENERGIA RICHIESTA PER IL TRATTAMENTO DELL'ARIA</i> .....  | 517 |
| 8.1.2 | <i>IL CALCOLO PUNTUALE DELL'ENERGIA RICHIESTA PER IL TRATTAMENTO DELL'ARIA</i> .....           | 521 |
| 8.1.3 | <i>IL CALCOLO DELL'ENERGIA RICHIESTA PER IL TRATTAMENTO DELL'ARIA: ESEMPI</i> .....            | 525 |
| 8.2   | L'INFLUENZA DELL'EFFICIENZA SENSIBILE DEL RECUPERATORE .....                                   | 539 |
| 8.2.1 | <i>IL CASO DELL'ISOLAMENTO TERMICO SCARSO</i> .....  | 545 |
| 8.2.2 | <i>IL CASO DELL'ISOLAMENTO TERMICO ELEVATO</i> .....   | 554 |



|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 8.3   | L'INFLUENZA DELL'EFFICIENZA LATENTE DEL RECUPERATORE ..... | 559 |
| 8.3.1 | IL CASO DEL FABBISOGNO LATENTE BASSO.....                  | 564 |
| 8.3.2 | IL CASO DEL FABBISOGNO LATENTE ELEVATO .....               | 570 |
| 8.4   | L'INFLUENZA DELL'UTILIZZO DEL RAI IN RAFFRESCAMENTO .....  | 581 |
| 8.5   | IL CALCOLO DEL COP DEL SISTEMA .....                       | 588 |
| 8.6   | IL CALCOLO ENERGETICO STAGIONALE .....                     | 602 |
| 8.7   | ESEMPI DI CALCOLO .....                                    | 610 |
| 9     | INFLUENZA DELLA POSIZIONE DEL VENTILATORE.....             | 637 |
| 10    | CONCLUSIONI .....  | 650 |
| 11    | SIMBOLOGIA .....   | 654 |