MANUALE D'AUSILIO ALLA PROGETTAZIONE TERMOTECNICA

IDRONICA

AiCARR

Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente

MANUALE D'AUSILIO ALLA PROGETTAZIONE TERMOTECNICA

IDRONICA

AiCARR

Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente

© 2015 AiCARR
via Melchiorre Gioia, 168 - 20125 Milano
Tel. 02.6747.9270 - Fax 6747.9270
www.aicarr.org
Prima edizione 2015
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 di AiCARR.
Si ringraziano le seguenti aziende per la gentile concessione dell'uso delle immagini e grafici presenti all'interno del volume:
BELIMO ITALIA srl, CALEFFI Spa; CGT Spa; FROLING Srl; HOVAL Srl; JOHNSON CONTROLS SYSTEMS AND SERVICE ITALY Srl; KLOBEN Sas; VIESSMANN Srl
Finito di stampare nel mese di Settembre 2015
Prodotto interamente realizzato in Italia
Codice ISBN: 978-88-95620-66-4

PREFAZIONE

Ho sempre ritenuto che una delle principali lacune culturali presente nell'ambito della progettazione degli impianti HVAC e idraulici in genere sia quella relativa a una approfondita e consapevole conoscenza dell'idronica, da intendersi non tanto come conoscenza dei criteri di dimensionamento dei circuiti idraulici, quanto piuttosto come conoscenza dei criteri relativi alla loro scelta e impostazione progettuale in relazione alle caratteristiche prestazionali e alle esigenze funzionali delle macchine, delle apparecchiature e dei terminali che tali reti sono chiamate a collegare e a rendere fra loro funzionanti nel migliore dei modi.

Solamente una mirata progettazione idronica delle reti termofluidiche garantisce, infatti, il corretto funzionamento degli impianti, consentendo ai sistemi di produzione energetica di operare senza rischio di avarie e nelle migliori condizioni di resa e ai sistemi di utenza di fornire le prestazioni attese in qualsiasi situazione di esercizio.

Alla luce di ciò, quando sono stato chiamato dal Past President Michele Vio a ricoprire per il triennio 2011-2013 il ruolo di Presidente della Commissione Comitati Tecnici, ho ritenuto che fra le molteplici iniziative di approfondimento e divulgazione culturale che la Commissione da me presieduta avrebbe dovuto cercare di portare a termine fosse molto importante inserire anche quella di redigere un "Manuale di idronica" che avesse lo scopo di illustrare in modo chiaro e completo non soltanto i principi dell'idronica, ma anche e soprattutto i suoi aspetti applicativi nell'ambito delle varie tipologie impiantistiche. In altre parole un manuale che, partendo dall'analisi delle molteplici problematiche di circuitazione idronica, caratteristiche di ciascuna macchina o apparecchiatura, spiegasse ai progettisti i motivi in base ai quali devono essere disegnate le relative reti idroniche di allacciamento e fornisse loro le corrette soluzioni progettuali sotto forma di schemi funzionali di principio.

Mi sono pertanto rivolto a un gruppo di amici che sapevo da sempre essere attenti cultori di questa specifica tematica, chiedendo loro di cimentarsi in quest'impresa. Eravamo agli inizi del 2011 e ricordo ancora bene che cosa disse con tutta la sua autorevolezza Alberto Cavallini nel corso della prima riunione: "è una sfida importante e faticosa che vale la pena di affrontare, a una condizione però: che ci si impegni tutti in prima persona". L'armiamoci e partite non era tollerato né tollerabile e così è stato.

Ci sono voluti più di quattro anni per pubblicare il manuale, non tanto perché i vari Autori non avessero le idee chiare su che cosa scrivere, quanto piuttosto perché trovassero il tempo di farlo, ma ora sfogliandolo non si può non essere tutti orgogliosi del lavoro svolto e più che convinti che valeva assolutamente la pena spendere energie in tal senso.

Quello che è stato prodotto è un testo di grande spessore e importanza, unico nel suo genere non soltanto a livello nazionale, ma anche internazionale. Un testo che tutti gli addetti ai lavori, e in particolare i progettisti, dovrebbero conoscere approfonditamente e tenere a portata di mano per farne quell'uso quotidiano per cui esso è stato volutamente e specificatamente pensato. Un testo da raccomandare e far subito imparare ai giovani che ambiscono a diventare progettisti di impianti meccanici.

E per concludere i ringraziamenti a nome di AiCARR e miei personali.

In primo luogo ad Adileno Boeche per la professionalità, l'impegno, la determinazione e, in molti casi, la caparbietà con cui ha saputo svolgere il faticoso e ingrato compito del Coordinatore. E poi a tutti gli Autori e al Revisore per il bellissimo omaggio che essi fanno con questo volume all'Associazione, un dono prezioso non solamente in termini di sapere e conoscenza, che già di per sé non sarebbe poca cosa, ma di impegno e tempo sottratti alla famiglia, al lavoro e allo svago.

Matteo Bo
Presidente Commissione Comitati Tecnici AiCARR
Triennio 2011-2013

Torino, Luglio 2015

PRESENTAZIONE

Quando Alberto Cavallini, nell'ormai lontana primavera del 2011, mi parlò dell'iniziativa di Matteo Bo, a quel tempo presidente della Commissione Comitati Tecnici, di redigere in ambito AiCARR un manuale di idronica e mi propose di assumermi il ruolo di coordinare il gruppo di lavoro (allora non ancora individuato) che avrebbe dovuto scrivere il manuale, come avrei potuto rifiutare? E questo innanzitutto per il rapporto che mi legava (e mi lega tuttora) ad Alberto, che conoscevo da oltre quarant'anni, che era stato mio giovane insegnante durante gli studi universitari e poi mio correlatore di laurea, nonché, ora e da tempo, amico e socio nella società di ingegneria all'interno della quale entrambi operiamo; secondariamente, per l'interesse che ho sempre nutrito, e che era ben noto ad Alberto e a Matteo, per questa branca fondamentale della termotecnica che è l'idronica e che, nella mia lunga esperienza professionale, ho purtroppo constatato essere quasi sconosciuta ai più, anche per scarsità di letteratura tecnica specifica. Mi affascinò subito l'idea che il manuale prospettato potesse colmare questa grande lacuna, dal momento che, a quanto constava a tutti noi addetti ai lavori, mancava sul mercato a livello non solo nazionale, ma anche europeo, un'opera sufficientemente completa ed esaustiva su questo argomento.

Il gruppo di lavoro venne rapidamente costituito, coinvolgendo professionisti che, secondo Matteo, Alberto ed io, potevano essere da un canto interessati e, d'altro canto, assolutamente competenti quanto meno in alcuni settori specifici dell'idronica: la compagine fu quindi formata, oltre che da noi tre, da:

- *l'ing. M. Stefano Venco (libero professionista)*
- *l'ing. Michele Vio (libero professionista, allora Presidente AiCARR)*
- *l'ing. Davide Elardo (società Belimo Italia)*
- *l'ing. Luca Alberto Piterà (segretario tecnico AiCARR)*

ed anche da alcuni tecnici sia di una nota casa costruttrice di caldaie che di un altrettanto noto costruttore di pompe. Tutti costoro, peraltro, si defilarono abbastanza presto, per motivi dovuti ad altri impegni o anche di tipo diverso.

Il primo lavoro fu naturalmente quello di pensare un complesso organico e logico di argomenti da trattare e quindi di scrivere un primo indice degli argomenti stessi, ovvero dei capitoli, attribuendo poi a ciascun capitolo uno o più autori fra quelli costituenti il gruppo.

L'impresa cui ci accingevamo si prospettò subito complessa e lunga, anche e soprattutto per la difficoltà di coordinare personalità così diverse (anche come esperienze professionali), impegnate e operanti in luoghi spesso lontani fra loro, al fine di ottenere un risultato il più possibile completo e omogeneo come impostazione formale, livello di contenuti, grafica e così via.

Spero (ma saranno i lettori a valutarlo) che, con l'impegno e gli sforzi di tutti, ci siamo riusciti.

L'impostazione e i contenuti del volume possono essere riassunti come descritto nel seguito.

- *Cap. 1: Principi fondamentali dell'idronica (A. Boeche). Si richiamano qui il Primo Principio della Termodinamica, il Teorema di Bernoulli ed i fondamenti di moto dei fluidi, illustrandone le principali applicazioni ai circuiti idronici aperti e chiusi.*
- *Cap. 2: Le pompe (A. Cavallini). L'argomento delle pompe centrifughe (e non solo) è trattato in modo particolarmente approfondito, partendo dai concetti basilari dei triangoli delle velocità e sviluppando con rigore scientifico i temi delle perdite energetiche, dei rendimenti, delle potenze, delle curve caratteristiche, delle pompe a velocità variabile e così via.*
- *Cap. 3: L'idronica di base dei circuiti chiusi (A. Boeche). Vengono illustrati gli schemi elementari e via via più complessi di circuiti primari e secondari, a spillamento e iniezione, a portata costante e variabile, con i relativi bilanci energetici (una serie di schede esemplificative risulta di grande comodità); viene infine sviluppato il tema degli edifici di grande altezza.*
- *Cap. 4: L'idronica di base dei circuiti aperti (A. Boeche). Strutturato come il precedente, questo capitolo riguarda i circuiti aperti idrosanitari (compresa la produzione di acqua calda sanitaria) e antincendio, i circuiti a servizio delle torri evaporative e quelli per gli edifici di grande altezza.*
- *Cap. 5: Corpi scaldanti e raffrescanti (M. Vio). Dopo alcuni richiami di trasmissione del calore vengono presi in esame i vari tipi di corpi scaldanti e raffreddanti, approfondendone le caratteristiche funzionali e le relazioni fra emissione termica, portata d'acqua e temperature di lavoro.*
- *Cap. 6: Le valvole di regolazione (D. Elardo). Il capitolo illustra le valvole di regolazione, le loro caratteristiche, il loro comportamento e i concetti ad esse correlati.*

- *Cap. 7: Comportamenti dei circuiti regolati con valvole a due o tre vie (D. Elardo). Vengono qui considerati i circuiti idronici regolazione a tre vie (ovvero a portata sostanzialmente costante) e a due vie (a portata variabile), scendendo nei particolari del loro funzionamento e della relativa ottimizzazione.*
- *Cap. 8: Le problematiche idroniche dei generatori di calore a combustione (M. Bo, M. Vio). Il capitolo affronta le principali (e non solo queste) questioni idroniche riguardanti le caldaie (a condensazione e non) ed i cogeneratori, fornendo preziose indicazioni per i progettisti.*
- *Cap. 9: Le problematiche idroniche degli impianti solari termici (L. A. Piterà). L'idronica di questi impianti, che spesso viene trascurata, è qui illustrata ed approfondita in modo chiaro e completo, mettendo anche in evidenza i problemi connessi a sovratemperature, rischi di gelo, ecc.*
- *Cap. 10: Le problematiche idroniche dei refrigeratori d'acqua e pompe di calore (M. Vio). Analogamente al caso dei generatori di calore, vengono qui presi in considerazione, sotto il profilo idronico, i gruppi refrigeratori e le pompe di calore, con i relativi possibili schemi di collegamento e di distribuzione alle utenze, sviluppando gli argomenti legati alle portate d'acqua, alle temperature di lavoro, al contenuto d'acqua degli impianti, ai serbatoi inerziali e così via. Vengono illustrati anche i principi di funzionamento delle "banche del ghiaccio".*
- *Cap. 11: Gli impianti ad anello d'acqua (M. S. Venco). Si tratta di impianti che pochi tecnici conoscono, ma che possono trovare un vasto campo di applicazioni, consentendo, se ben progettati, dei grandi risparmi energetici. E Stefano Venco li conosce bene!*
- *Cap. 12: Raccolta di schemi di principio di centrali termiche e frigorifere e d'impianti ad anello d'acqua (M. Bo, A. Boeche, A. Cavallini, L. A. Piterà, M. S. Venco, M. Vio). Si tratta di un'ampia raccolta di schemi funzionali di centrali, dei quali vengono illustrati e commentati il funzionamento e i vantaggi, ma anche gli elementi di criticità.*

Completa il volume un'ampia appendice (a cura di M. Bo, A. Boeche, L. A. Piterà) comprendente dati tecnici, tabelle di calcolo, e così via.

E' davvero da sottolineare come l'opera, al di là dei contenuti concettuali e teorici, comprenda soprattutto il vasto "know-how" tecnico di tutti gli autori, di valore inestimabile in quanto frutto di anni di professione ad alto livello.

A tutti gli autori pertanto (nonostante i sacrifici e le arrabbiature ai quali mi hanno costretto e i grattacapi che mi hanno dato come coordinatore del gruppo di lavoro) vanno i miei vivi complimenti e sinceri ringraziamenti per l'impegno profuso e il risultato finale raggiunto.

Un "grazie" particolare desidero infine rivolgere a Mara Portoso, che con encomiabile spirito di sacrificio e abnegazione ha accettato l'oneroso ruolo di revisore finale della ragguardevole mole di materiale prodotto dai vari autori.

Adileno Boeche
Coordinatore e responsabile del Gruppo di Lavoro

Padova, Luglio 2015

INDICE

CAPITOLO 1 - PRINCIPI FONDAMENTALI DELL'IDRONICA **1**

1.1 DEFINIZIONI E CONCETTI 1

1.2 IL PRINCIPIO DI CONTINUITÀ 2

1.3 IL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA 3

1.4 IL TEOREMA DI BERNOULLI 5

1.5 CIRCUITI IDRONICI ELEMENTARI APERTI E CHIUSI 7

1.6 IL MOTO "REALE" DELL'ACQUA NELLE TUBAZIONI 11

1.6.1 Generalità 11

1.6.2 Il moto laminare 11

1.6.3 Il moto turbolento 12

1.7 GLI ATTRITI NEI CIRCUITI IDRONICI 13

1.7.1 Generalità sugli attriti 13

1.7.2 Le perdite di carico distribuite; il fattore di attrito 13

1.7.3 Le perdite di carico concentrate (o accidentali) 16

1.8 CURVE CARATTERISTICHE DEI CIRCUITI IDRONICI; CIRCUITI IN PARALLELO E IN SERIE 16

1.9 CENNI SULLE CURVE CARATTERISTICHE DELLE POMPE CENTRIFUGHE 20

1.10 IL PUNTO DI FUNZIONAMENTO NEL SISTEMA CIRCUITO-POMPA 21

1.10.1 Concetti fondamentali 21

1.10.2 Circuiti a caratteristica variabile 22

1.10.3 Pompe a velocità variabile 22

1.10.4 Pompe in parallelo 23

1.10.5 Pompe in serie 24

CAPITOLO 2 - LE POMPE **26**

2.1 GENERALITÀ 26

2.2 LE POMPE VOLUMETRICHE 27

2.3 LE POMPE ROTODINAMICHE 32

2.3.1 Generalità 32

2.4 LE POMPE CENTRIFUGHE NELLE APPLICAZIONI HVAC 35

2.4.1 Le più comuni soluzioni costruttive 35

2.4.2 La caratteristica ideale (euleriana) di una girante centrifuga 38

2.4.3 La caratteristica reale di una pompa centrifuga. Rendimenti 40

2.4.4 Le leggi di affinità per le pompe centrifughe 46

2.4.5 Diagrammi a mosaico 46

2.4.6 Cavitazione. NPSH 47

2.4.7 Sulle condizioni operative delle pompe centrifughe 50

2.4.8 Pompaggio a portata variabile 52

2.4.9 Rendimento delle pompe centrifughe 62

2.4.10 Regolamenti europei sulla ecosostenibilità 65

2.4.11 Aspirazione da serbatoi aperti 69

2.4.12 Installazione delle pompe centrifughe 75

CAPITOLO 3 - L'IDRONICA DI BASE DEI CIRCUITI CHIUSI **78**

3.1 ANDAMENTO DELLE PRESSIONI ENTRO UN CIRCUITO CHIUSO 78

3.1.1 Circuito con pompa inattiva 78

3.1.2 Circuito con pompa attiva 79

3.2 IL BILANCIAMENTO DEI CIRCUITI IDRONICI. FONDAMENTI 80

3.3 CIRCUITI IDRONICI ELEMENTARI 82

3.4 L'IDRONICA NEGLI EDIFICI DI GRANDE ALTEZZA 138

3.5 IL SEPARATORE IDRAULICO E L'ACCUMULO INERZIALE 140

3.6 L'ACCUMULO DI FREDDO 142

CAPITOLO 4 - L'IDRONICA DI BASE DEI CIRCUITI APERTI **144**

4.1 INTRODUZIONE 144

4.2 RETI IDROSANITARIE 144

4.2.1 Generalità 144
4.2.2 Le reti di distribuzione dell'acqua fredda sanitaria 144
4.2.3 La produzione e distribuzione dell'acqua calda sanitaria (ACS) 146
4.2.4 La questione "legionella" 148
4.2.5 Il caso degli edifici di grande altezza 150
4.3 RETI IDRICHE ANTINCENDIO 154
4.3.1 Generalità 154
4.3.2 Il caso degli edifici di grande altezza 156
4.4 CIRCUITI D'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO CON TORRI EVAPORATIVE 157
4.4.1 Generalità 157
4.5 SISTEMI IDRONICI CON ACCUMULO (GENERALMENTE DI FREDDO) A PELO LIBERO, A PRESSIONE ATMOSFERICA 160

CAPITOLO 5 - CORPI SCALDANTI E RAFFRESCANTI 163
5.1 INTRODUZIONE 163
5.2 CENNI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE 163
5.2.1 Conduzione termica 163
5.2.1.1 Parete piana 164
5.2.1.2 Parete cilindrica 165
5.2.2 Convezione termica 165
5.2.2.1 Convezione forzata 166
5.2.2.2 Convezione naturale 167
5.2.3 Irraggiamento termico 169
5.2.3.1 Influenza della temperatura delle pareti nello scambio termico per irraggiamento 171
5.2.4 Scambio termico globale 172
5.2.5 Cenni sugli scambiatori di calore 174
5.3 TIPOLOGIE DEI TERMINALI D'IMPIANTO 177
5.3.1 Terminali a scambio prevalente per convezione naturale 177
5.3.2 Terminali a scambio per convezione forzata 177
5.3.3 Terminali a scambio prevalente per radiazione 177
5.3.4 Terminali a scambio misto 177
5.4 CRITERI DI ACCOPPIAMENTO DEI TERMINALI AI GENERATORI 178
5.4.1 Funzionamento in riscaldamento 178

5.4.1.1 Accoppiamento con caldaie a condensazione 178
5.4.1.2 Accoppiamento con pompe di calore a compressione 178
5.4.1.3 Accoppiamento con pompe di calore a compressione a ciclo transcritico 181
5.4.1.4 Accoppiamento con pompe di calore ad assorbimento 182
5.4.1.5 Conclusioni sul funzionamento in riscaldamento 183
5.4.2 Funzionamento in raffreddamento 184
5.5 RADIATORI 184
5.5.1 Generalità 184
5.5.2 Curve prestazionali 185
5.5.3 Conclusioni sui radiatori 187
5.6 SISTEMI RADIANTI 187
5.6.1 Generalità 188
5.6.1.1 Potenza termica scambiata per irraggiamento 188
5.6.1.2 Potenza termica scambiata per convezione 189
5.6.2 Funzionamento in raffrescamento 190
5.6.2.1 Sistema a soffitto 190
5.6.2.2 Sistema a pavimento 193
5.6.3 Funzionamento in riscaldamento 193
5.6.3.1 Sistema a soffitto 194
5.6.3.2 Sistema a pavimento 194
5.7 BATTERIE DI SCAMBIO TERMICO 195
5.7.1 Scambio termico nelle batterie: analisi semplificata 195
5.7.2 Generalità 199
5.7.3 Funzionamento in raffrescamento e deumidificazione 200
5.7.3.1 Variazione della temperatura d'immissione dell'acqua 201
5.7.3.2 Variazione di portata d'acqua 202
5.7.4 Funzionamento in riscaldamento 203
5.8 TRAVI FREDDE 203
5.8.1 Funzionamento in raffrescamento 204
5.8.2 Funzionamento in riscaldamento 204

CAPITOLO 6 - VALVOLE DI REGOLAZIONE 205

6.1 GRANDEZZE FONDAMENTALI 205

6.1.1 Curva caratteristica di regolazione 206

6.1.2 Caratteristiche principali delle valvole di regolazione 209

6.2 IL Kvs E IL METODO DI SELEZIONE DELLA VALVOLA 210

6.2.1 Definizione e misura del Kvs 210

6.2.2 Selezione della valvola a partire dal K_{vs} 211

6.3 TIPOLOGIE DI VALVOLE 212

6.4 DISPOSITIVI DI CONTROLLO E COLLEGAMENTO ALLA REGOLAZIONE 216

6.4.1 Segnali elettrici di pilotaggio e comunicazione 216

6.4.2 Dispositivi aggiuntivi 218

CAPITOLO 7 - COMPORTAMENTI DEI CIRCUITI REGOLATI CON VALVOLE A 2 O A 3-VIE 219

7.1 AUTORITÀ DELLA VALVOLA DI REGOLAZIONE 219

7.2 PORTATA VARIABILE E PORTATA COSTANTE 220

7.3 GLI SCHEMI BASE DEI CIRCUITI IDRONICI REGOLATI 223

7.4 IL BILANCIAMENTO STATICO E DINAMICO DEI CIRCUITI 230

7.4.1 Bilanciamento statico nei circuiti a portata costante 230

7.4.2 Bilanciamento dinamico nei circuiti a portata variabile 232

7.4.3 Organi di bilanciamento 235

7.4.4 Valvole PICV (o autobilancianti) a bilanciamento statico/dinamico integrato 237

7.5 ESEMPI NUMERICI DI SELEZIONE DELLA VALVOLA 239

7.5.1 Diagrammi di selezione delle valvole 240

7.5.2 Selezione delle valvole per impianti a portata costante 242

7.5.3 Selezione delle valvole per impianti a portata variabile 243

7.6 CRITICITÀ E ASPETTI ENERGETICI NELLA REGOLAZIONE DEI CIRCUITI 245

7.6.1 Importanza del funzionamento ai carichi parziali 245

7.6.2 Autorità, rapporto di regolazione e implicazioni sul Δt del circuito 246

7.6.3 Il bilanciamento e sua relazione con l'efficienza dell'impianto idronico 248

7.6.4 Trafilamento e problemi di ricircolazione fluido caldo-freddo 250

7.6.5 Risparmio energetico e valutazioni economiche 251

CAPITOLO 8 - LE PROBLEMATICHE IDRONICHE DEI GENERATORI DI CALORE A COMBUSTIONE 253

8.1 INTRODUZIONE 253

8.2 LE CALDAIE PER PRODUZIONE DI ACQUA CALDA 253

8.2.1 Problematiche di funzionamento in relazione al livello termico 253

8.2.1.1 La condensazione dei fumi nelle caldaie alimentate con idrocarburi 253

8.2.1.2 I vantaggi della condensazione dei fumi nelle caldaie alimentate con idrocarburi 257

8.2.1.3 Gli svantaggi della condensazione dei fumi nelle caldaie alimentate con idrocarburi 259

8.2.1.4 La condensazione dei fumi nelle caldaie alimentate con biomassa 259

8.2.1.5 Gli shock termici 261

8.2.2 Tipologie di caldaie alimentate con idrocarburi 261

8.2.2.1 Le caldaie standard 262

8.2.2.2 Le caldaie a bassa temperatura 263

8.2.2.3 Le caldaie a condensazione 266

8.2.3 I sistemi di controllo e regolazione dei moderni generatori di calore 270

8.2.4 Accorgimenti idronici volti a evitare la condensazione 271

8.2.4.1 Controllo della temperatura minima del ritorno realizzato direttamente tramite il sistema di regolazione della caldaia 271

8.2.4.2 Aumento della temperatura del ritorno realizzato mediante pompa di miscelazione comunemente denominata Pompa anticondensa 272

8.2.4.3 Aumento della temperatura del ritorno realizzato mediante pompa di miscelazione più valvola miscelatrice a 3-vie ... 274

8.2.4.4 Aumento della temperatura del ritorno negli impianti con circuito primario di caldaia e circuiti secondari di utenza (impianti con separatore idraulico) realizzato con valvola miscelatrice a 3-vie 275

8.2.5 Accorgimenti idronici volti a massimizzare la condensazione 276

8.2.6 Problematiche di funzionamento in relazione alla portata 278

8.2.7 Disaccoppiamento idronico mediante circuiti primari/secondari: il separatore idraulico 279

8.2.7.1 L'impiego del separatore idraulico nel caso di impianti con caldaie a condensazione 284

8.2.7.2 L'impiego del separatore idraulico nel caso di impianti con caldaie tradizionali 285

8.2.8 Le condizioni di funzionamento dei generatori di calore ad acqua calda 286

8.2.9 Considerazioni conclusive 287

8.3 I COGENERATORI CON MOTORI ENDOTERMICI ALTERNATIVI 288

8.3.1 Premessa 288

8.3.2 Principali fonti di recupero calore di un cogeneratore 289

8.3.3 Livelli termici di recupero calore di un cogeneratore 291

8.3.4 La trigenerazione in regime estivo 295

8.3.4.1 Modalità di accoppiamento fra cogeneratori e gruppi frigoriferi ad assorbimento 296

8.3.4.2 Utilizzo dei gruppi frigoriferi ad assorbimento come pompe di calore 299

8.3.5 Collegamenti idronici degli impianti di cogenerazione e trigenerazione 301

8.3.5.1 Collegamento dei cogeneratori al circuito di produzione dell'energia termica 302

8.3.5.2 Collegamento dei gruppi frigoriferi ad assorbimento al circuito acqua calda (lato generatore) 303

8.3.5.3 Collegamento dei gruppi frigoriferi ad assorbimento al circuito acqua refrigerata (lato evaporatore) 304

8.3.5.4 Collegamento dei gruppi frigoriferi ad assorbimento a impianti con circuiti secondari acqua refrigerata a Portata costante 304

8.3.5.5 Collegamento dei gruppi frigoriferi ad assorbimento a impianti con circuiti secondari acqua refrigerata a portata variabile 306

CAPITOLO 9 - LE PROBLEMATICHE IDRONICHE DEGLI IMPIANTI SOLARI TERMICI 309

9.1 INTRODUZIONE 309

9.2 COLLETTORI SOLARI 309

9.2.1 Generalità 309

9.2.2 Rendimento di un collettore solare 309

9.2.3 Collettori solari piani vetrati 311

9.2.3.1 Modificatore dell'angolo di incidenza 313

9.2.4 Collettori solari sottovuoto 315

9.2.5 Collettori CPC (Compound Parabolic Concentrator) 317

9.3 TIPOLOGIE D'IMPIANTI SOLARI 321

9.3.1 Generalità 321

9.3.2 Impianti a circolazione forzata 321

9.3.3 Impianti a circolazione naturale 322

9.3.4 Impianti solari a circolazione naturale e impianti solari a circolazione forzata – Schemi 323

9.4 SISTEMI DI ACCUMULO 323

9.4.1 Accumulo termico 323

9.4.2 Sistemi di accumulo pressurizzati 326

9.4.2.1 Materiali impiegati nei serbatoi di accumulo 329

9.4.2.2 Serbatoi di accumulo per l'acqua calda sanitaria 329

9.4.2.3 Caratteristiche costruttive di un serbatoio solare 330

9.4.2.4 Alcune soluzioni specifiche 332

9.5 SISTEMI DI CONTROLLO 335
9.5.1 Generalità 335
9.5.2 Controllo della temperatura differenziale 335
9.6 FASI DI STAGNAZIONE IMPIANTI SOLARI TERMICI 339
9.6.1 Generalità 339
9.6.2 Fase di stagnazione dei collettori 339
9.6.3 Fasi critiche 340
9.6.4 Dinamica di svuotamento dei collettori 341
9.6.5 Sistemi a svotamento o Drainback del circuito primario 344
9.7 REQUISITI IGIENICI PER L'ACQUA CALDA SANITARIA 348
9.7.1 Generalità 348
9.7.2 Legionella 348
9.7.2.1 Aspetti generali 348
9.7.2.2 Sintomi dell'infezione 348
9.7.2.3 Impianti idronici a rischio 349
9.7.2.4 Controllo della Legionella 349
9.7.2.5 Controllo della Legionella negli impianti solari 351
9.8 PROGETTAZIONE IMPIANTI SOLARI 351
9.8.1 Generalità 351
9.8.2 Configurazione campo solare 352
9.8.2.1 Serie e parallelo 352
9.8.2.1.1 Collettori in serie a 2 attacchi 352
9.8.2.1.2 Collettori in serie a 4 attacchi 353
9.8.2.1.3 Collettori orizzontali in serie a 2 attacchi 354
9.8.2.2 Influenza della disposizione in schiera dei collettori 355
9.8.3 Componenti d'impianto 356
9.8.3.1 Vaso di espansione chiuso 359
9.8.3.1.1 Calcolo secondo la raccomandazione ISPESL 359
9.8.3.1.2 Dimensionamento del vaso di espansione 359
9.8.3.1.3 Metodo empirico per il dimensionamento del vaso di espansione 361
9.8.3.1.4 Dimensionamento delle valvole di sicurezza 361
9.8.3.1.5 Dimensionamento delle tubazioni dell'impianto solare termico 362

9.8.3.1.6 Dimensionamento del vaso di drainback 363

9.8.3.1.7 Dimensionamento specifico delle tubazioni 365

9.8.3.1.8 La portata del circuito primario 366

9.8.4 Caricamento impianto e messa in funzione 367

CAPITOLO 10 - LE PROBLEMATICHE IDRONICHE DI REFRIGERATORI D'ACQUA E POMPE DI CALORE 368

10.1 PARAMETRI CHE INFLUENZANO L'EFFICIENZA ENERGETICA DEI GRUPPI FRIGORIFERI 368

10.1.1 Temperatura della sorgente fredda e del ricettore caldo 368

10.1.2 Parzializzazione dei circuiti frigoriferi 369

10.1.3 Contenuto d'acqua dell'impianto 369

10.2 LA REGOLAZIONE DELLE MACCHINE FRIGORIFERE 370

10.2.1 Il bilancio energetico dell'impianto 370

10.2.2 Stadi della regolazione 370

10.2.3 La regolazione dell'ambiente 371

10.2.4 Logiche di regolazione dei gruppi frigoriferi/pompe di calore 371

10.2.4.1 Regolazione della temperatura dell'acqua refrigerata sulla mandata e/o sul ritorno 371

10.2.4.2 La precisione del controllo della temperatura dell'acqua refrigerata prodotta dal gruppo frigorifero 372

10.3 CRITICITÀ DELLE MACCHINE FRIGORIFERE A COMPRESSIONE 374

10.3.1 Variazione di portata d'acqua negli scambiatori 375

10.4 CRITICITÀ DELLE MACCHINE FRIGORIFERE AD ASSORBIMENTO 375

10.5 COME GARANTIRE I TEMPI DI FUNZIONAMENTO DEL COMPRESSORE: INERZIA TERMICA DELL'IMPIANTO 375

10.5.1 Il contenuto d'acqua dell'impianto 376

10.5.2 Esigenze particolari delle pompe di calore ad inversione di ciclo 377

10.5.3 Il contenuto d'acqua dei circuiti di recupero parziale 377

10.5.4 Il contenuto d'acqua dei circuiti di recupero totale 378

10.5.5 Il contenuto d'acqua dei circuiti di condensazione dei gruppi frigoriferi acqua-acqua 378

10.5.6 Il contenuto d'acqua del circuito lato sorgente delle pompe di calore acqua – acqua 378

10.5.7 Il concetto di volume efficace 378

10.5.8 Calcolo del volume del serbatoio di accumulo inerziale 379

10.5.9 Influenza del tempo di risposta della regolazione 379

10.5.10 Strategie di dimensionamento del contenuto d'acqua dell'impianto 380

10.5.10.1 Considerazioni sull'importanza dell'inerzia termica dei circuiti idraulici 380

10.5.10.2 Contenuto d'acqua e regolazione dei terminali d'impianto 380

10.5.10.3 Contenuto d'acqua e regolazione dei gruppi frigoriferi 381

10.5.10.4 Quali obiettivi porsi e come raggiungerli 381

10.6 COME ASSICURARE LA COSTANZA DI PORTATA D'ACQUA 382

10.6.1 Unico circuito idraulico (senza disaccoppiamento) 382

10.6.2 Circuito primario disaccoppiato dal circuito secondario 382

10.6.2.1 La formazione di miscela tra circuito primario e circuito secondario 383

10.6.2.2 Cosa si può fare per controllare il fenomeno della miscela 384

10.6.2.3 Cosa non si deve assolutamente fare per controllare il fenomeno della miscela 384

10.6.2.4 Entità del fenomeno della miscela 384

10.6.3 Impianti con circuito secondario a portata variabile 385

10.6.3.1 Circuito di utenza a portata variabile interconnesso a un circuito primario a portata costante: utilizzo di un'unica Pompa 385

10.6.3.2 Vantaggi dei circuiti secondari a portata variabile 385

10.6.4 Variazioni di portata sui gruppi frigoriferi a causa di transitori di regolazione 387

10.6.4.1 Inserimento di una valvola di non ritorno sul disconnettore idraulico (ramo di sfioro) 387

10.6.4.2 Gruppi frigoriferi in parallelo con pompa dedicata 388

10.6.4.3 Gruppi frigoriferi in parallelo con pompe comuni e valvole d'intercettazione 389

10.6.4.4 Gruppi frigoriferi in parallelo inseriti in un circuito primario con pompe a portata costante interconnesso a circuiti secondari a portata variabile (con o senza pompe) 389

10.7 IL POSIZIONAMENTO DEI SERBATOI DI ACCUMULO 390

10.7.1 Serbatoi inerziali 390

10.7.1.1 Posizionamento sulla tubazione di ritorno 390

10.7.1.2 Posizionamento sulla tubazione di mandata 391

10.7.1.3 Posizionamento sulla linea del disconnettore idraulico (ramo di sfioro) 392

10.7.1.4 Posizionamento come disconnettore idraulico (ramo di sfioro) 392

10.7.2 Serbatoi di stoccaggio dell'energia 392

10.7.2.1 Gruppo frigorifero in serie con accumulo di stoccaggio 393

10.7.2.2 Gruppo frigorifero in parallelo con l'accumulo di stoccaggio 396

10.7.2.3 Circuiti idraulici modificabili 397

10.7.2.4 Segnale di fine carica 398

10.7.2.5 Più gruppi frigoriferi a servizio di accumuli di stoccaggio 398

10.7.2.6 Ulteriori considerazioni 399

10.8 LA RIDUZIONE DELL'ENERGIA DI POMPAGGIO SUL CIRCUITO PRIMARIO 400
10.8.1 Circuiti primari a portata d'acqua variabile 400
10.8.1.1 Unica pompa per circuito primario e secondario 400
10.8.1.2 Pompe su circuito primario e secondario, entrambe a portata variabile 401
10.8.1.3 Ulteriori criticità: contenuto d'acqua efficace 402
10.8.1.4 Considerazioni energetiche 402
10.8.2 Circuiti primari a salto termico aumentato 402
10.8.2.1 Macchine frigorifere con scambiatori posti idraulicamente in serie 403
10.8.3 Circuiti idronici e macchine frigorifere combinati a doppio livello termico 403
10.9 LOGICHE DI CHIAMATA IN SEQUENZA DI PIU' GRUPPI FRIGORIFERI 404
10.9.1 Logiche di regolazione tradizionali 404
10.9.2 Logiche di sequenza proprietarie 406
10.9.3 La variazione del set-point 406
10.9.4 Strumenti in campo utili alla chiamata in sequenza dei gruppi frigoriferi 407
10.9.4.1 Impianti con primario a portata costante 407
10.9.4.2 Impianti con primario a portata variabile 408
10.9.5 Massimo numero di parzializzazioni possibili 408
10.10 CIRCUITI IDRAULICI PER IL RECUPERO DI CALORE 410
10.10.1 Il recupero di calore parziale 410
10.10.1.1 Circuiti idraulici per il recupero parziale 411
10.10.2 Il recupero di calore totale 411
10.10.2.1 Gruppi frigoriferi polivalenti a recupero totale 412
10.10.2.2 Circuiti idraulici per il recupero totale 415
10.11 CIRCUITI IDRAULICI DEI CONDENSATORI AD ACQUA 416
10.11.1 Circuiti per torri evaporative a circuito chiuso e dry-cooler 416
10.11.2 Circuiti per torri evaporative a circuito aperto 418
10.11.3 Circuiti per sorgenti termiche alternative (acquedotto, falda, mare, lago, fiume) 420

CAPITOLO 11 - LE PROBLEMATICHE IDRONICHE DEGLI IMPIANTI AD ANELLO D'ACQUA (WLHP) 422
11.1 IL PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DEL SISTEMA 422
11.2 L'ANELLO D'ACQUA COME SORGENTE TERMICA ESTERNA 423
11.3 LE POMPE DI CALORE ACQUA-ARIA 423

11.3.1 Funzionamento in riscaldamento 424
11.3.2 Funzionamento in raffreddamento 425
11.3.3 Il funzionamento di un insieme di unità 426
11.3.3.1 In riscaldamento 426
11.3.3.2 In raffreddamento 426
11.3.3.3 Il funzionamento contrapposto 427
11.3.3.4 La temperatura dell'acqua dell'anello 429
11.3.4 La temperatura dell'acqua e l'affidabilità di funzionamento delle pompe di calore 429
11.3.4.1 La temperatura dell'acqua e l'efficienza delle pompe di calore 430
11.3.4.2 La temperatura dell'acqua e il sistema edificio/impianto 431
11.3.5 La portata dell'acqua 432
11.3.5.1 La portata d'acqua complessiva dell'impianto 433
11.3.5.2 La portata dell'acqua e l'affidabilità di funzionamento delle pompe di calore 433
11.3.5.3 La portata dell'acqua e l'efficienza delle pompe di calore e dell'impianto 433
11.3.6 Allacciamento idraulico delle pompe di calore 434
11.4 IL CIRCUITO IDRAULICO PRINCIPALE (ANELLO) 435
11.5 IL SISTEMA DI CIRCOLAZIONE 435
11.6 SISTEMI DI DISSIPAZIONE TERMICA 436
11.7 SISTEMI DI INTEGRAZIONE TERMICA 436

CAPITOLO 12 - SCHEMI IDRONICI DI PRINCIPIO CENTRALI DI PRODUZIONE ENERGETICA 438

APPENDICE A PROPRIETA' TERMOFISICHE DELL'ACQUA 547
APPENDICE B TABELLA TUBAZIONI 552
APPENDICE C PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE 561
APPENDICE D COEFFICIENTI ξ DELLE PERDITE DI CARICO CONCENTRATE 574
APPENDICE E CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEI COLLETTORI DI CENTRALE 623

GENERIAMO IDEE PER UN'ENERGIA SOSTENIBILE

AiCARR, Associazione italiana Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento e Refrigerazione, crea e promuove cultura e tecnica per il benessere sostenibile, contribuendo al progresso delle tecnologie impiantistiche e alla definizione delle normative relative alla produzione, alla distribuzione e all'utilizzo dell'energia termica. Nata nel 1960 come costola italiana della prestigiosa associazione statunitense ASHRAE, AiCARR riunisce oggi circa 2000 associati di varia estrazione: progettisti, docenti, installatori e manutentori, aziende produttrici, funzionari di Enti e Agenzie governative, istituzioni territoriali, nazionali e internazionali, studenti e ricercatori. La presenza nelle sedi accademiche e istituzionali dove si progetta il futuro energetico del nostro Paese fa di AiCARR un punto di riferimento essenziale per la definizione delle strategie e delle politiche energetiche e un interlocutore insostituibile per chiunque si occupi di efficienza energetica, qualità ambientale, fonti rinnovabili e uso consapevole dell'energia.

LE COMPETENZE CONDIVISE SONO ALLA BASE DI OGNI PROGRESSO

Accrescere la cultura tecnica del settore e la professionalità dei Soci, condividere know-how, redigere e diffondere linee guida di supporto nella pratica professionale, dare un appoggio concreto al mondo imprenditoriale che si occupa di temi energetici, fornire il proprio contributo in ambito normativo sono i principali impegni che AiCARR svolge attraverso:

- Convegni nazionali e internazionali, webinar, seminari, workshop, tavole rotonde
- Incontri tecnici e visite a impianti e realizzazioni d'avanguardia
- Commissioni di studio e coordinamento di attività tecniche, culturali e normative
- Comitati Tecnici attivi su tematiche specifiche
- Attività congiunte con Associazioni, Università ed Enti italiani ed europei, pubblici e privati
- Gruppi di lavoro creati per dare un supporto operativo alle Istituzioni
- Partecipazione alla definizione di regolamenti, leggi, linee guida e collaborazione alla redazione di normativa tecnica con UNI, CEN e CTI, grazie alla Commissione Tecnica e Normativa.

AGGIORNAMENTO E FORMAZIONE: UN MUST

L'aggiornamento tecnologico e normativo è oggi imprescindibile per professionisti e aziende: in quest'ottica AiCARR offre formazione di alto standard teorico e applicativo attraverso AiCARR Formazione, business unit di AiCARR Educational srl, società certificata ISO 9001:2015.

AiCARR Formazione è provider di CNI e CNPI per i crediti formativi professionali e i suoi corsi, condotti da accademici e professionisti selezionati fra i migliori esperti del settore HVAC&R, sono rivolti a progettisti, tecnici, manutentori, personale tecnico e commerciale di Enti e industrie, studenti e ricercatori.

SE LE IDEE CIRCOLANO, ACQUISTANO PIÙ FORZA

AiCARR pubblica gli atti dei convegni, cura l'edizione delle collane dei volumi tecnici, delle guide e dei vademecum, invia la newsletter quindicinale con le notizie sulle novità associative, editoriali, normative, legislative e di formazione; è distributore esclusivo per l'Italia delle pubblicazioni e norme ASHRAE e applica ai Soci condizioni favorevoli per l'acquisto delle norme CEI e sconti sulle pubblicazioni di importanti editori tecnici.
La biblioteca propone un'ampia selezione di titoli tecnico-scientifici in libera consultazione.

Sul sito www.aicarr.org e attraverso la App, scaricabile da Google Play, è anche possibile consultare articoli tecnici e la rassegna news. Inoltre, i Soci ricevono gratuitamente il periodico AiCARR Journal, organo ufficiale dell'Associazione.

AiCARR Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente
60 anni di cultura
AiCARR - Via Melchiorre Gioia 168 - 20125 Milano - Italia
Tel. 02 67479270 - Fax 02 37928719 - info@aicarr.org - www.aicarr.org

AiCARR
Cultura e Tecnica per Energia Uomo e Ambiente

60 anni di cultura

Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione

Via M. Gioia,168 - 20125 Milano - tel. 02 67479270 - www.aicarr.org

ISBN 978-88-95620-66-4

9 788895 620664

€ 90,00