

MANUALE D'AUSILIO ALLA PROGETTAZIONE TERMOTECNICA

IDRONICA



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:

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: XXXXXXXX

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'amiamoci 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 caparbia 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: Circuiti regolati con valvole a due o tre vie (D. Elardo). Vengono qui considerati i circuiti idronici dotati di valvole di 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 FREDDIE.....	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 K_{vs} E IL METODO DI SELEZIONE DELLA VALVOLA	210
6.2.1 Definizione e misura del K_{vs}	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 (im- pianti 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 IGENICI 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 secon- dari 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 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEI COLLETTORI DI CENTRALE.....	 547
APPENDICE B COEFFICIENTI ξ DELLE PERDITE DI CARICO CONCENTRATE.....	554
APPENDICE C RIQUADRI PERDITE DI CARICO DISTRIBUITE E TABELLA TUBAZIONI.....	602
APPENDICE D PROPRIETA' TERMOFISICHE DELL'ACQUA.....	623