

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA ENERGETICA

LABORATORIO DI TERMODINAMICA APPLICATA AI SISTEMI ENERGETICI
(UTTEI-TERM) – CENTRO RICERCHE ENEA CASACCIA (ROMA)

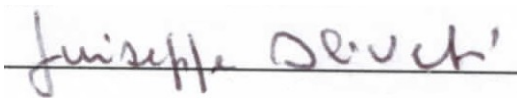


TESI DI LAUREA

**MONITORAGGIO IN FUNZIONAMENTO ESTIVO DI UNA
POMPA DI CALORE A CO₂ (R744) DI TIPO POLIVALENTE DI
MEDIA POTENZA**

Relatore:

Ch.mo Prof. *Giuseppe OLIVETI*



Correlatore:

Ing. *Nicolandrea CALABRESE*



Candidata:

Danila PROVENZANO

Matricola: **146020**

A mia sorella.

Sprono costante, sostegno sicuro,

infinito amore.

Indice

<i>Sommario</i>	9
<i>CAPITOLO I</i>	
<i>L'ANIDRIDE CARBONICA COME FLUIDO REFRIGERANTE</i>	13
<i>1.1 Introduzione</i>	13
1.1.1 Fluidi Refrigeranti tradizionali	15
1.1.2 Fluidi Refrigeranti alternativi	19
<i>1.2 Cenni storici sull'utilizzo dell'anidride carbonica</i>	21
<i>1.3 Proprietà termodinamiche della CO₂</i>	24
1.3.1 Vantaggi della scelta della CO ₂	27
1.3.2 Svantaggi della scelta della CO ₂	34
<i>1.4 Il ciclo frigorifero ad anidride carbonica tradizionale</i>	35
1.4.1 Il ciclo.....	35
1.4.2 Il ciclo transcritico ad anidride carbonica.....	35
<i>1.5 Limiti del ciclo transcritico ad anidride carbonica</i>	40
<i>1.6 La pompa di calore per il condizionamento</i>	44
<i>1.7 I metodi per l'aumento dell'efficienza energetica: schemi tipici d'impianto</i>	50
<i>1.8 Settori applicativi dell'anidride carbonica</i>	52
1.8.1 Pompe di calore per riscaldamento di ambienti e produzione di ACS.....	53
1.8.2 Condizionamento di autoveicoli.....	65
1.8.3 Unità di condizionamento per usi militari.....	70
1.8.4 Impianti frigoriferi per la refrigerazione commerciale.....	71
1.8.5 Essiccatori d'aria.....	75
1.8.6 Distributori automatici di bevande	75
1.8.7 Sistemi avanzati di pompe di calore acqua-acqua a CO ₂	77
<i>Bibliografia</i>	82

CAPITOLO II

<i>SCELTA E DIMENSIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE A CO₂</i>	85
2.1 <i>Introduzione</i>	85
2.2 <i>Scelta del circuito frigorifero della pompa di calore a CO₂</i>	87
2.3 <i>Scelta della taglia della pompa di calore a CO₂</i>	94
<i>Bibliografia</i>	98

CAPITOLO III

<i>REALIZZAZIONE DELL'IMPIANTO AI.CO.WA</i>	99
3.1 <i>Introduzione</i>	99
3.2 <i>Componenti principali dell'impianto</i>	103
3.2.1 <i>Pompa di calore a R744</i>	103
3.2.2 <i>UTA (Unità di Trattamento Aria)</i>	131
3.2.3 <i>Pompe di circolazione</i>	137
3.2.4 <i>Dry Cooler</i>	140
3.2.5 <i>Serbatoi inerziali</i>	141
3.2.6 <i>Scambiatori di calore a piastre</i>	145
3.2.7 <i>Collettori solari (sola predisposizione)</i>	151
3.3 <i>Strumentazione e sistema di acquisizione dati, controllo e gestione impianto</i>	153
3.3.1 <i>Strumentazione di misura lato acqua</i>	156
3.3.2 <i>Strumentazione di misura lato CO₂</i>	171
3.3.2 <i>Strumentazione di misura lato CO₂</i>	171
3.3.3 <i>Regolazione e gestione dell'impianto: BX EINSTEIN</i>	172
3.3.4 <i>Sistema di monitoraggio della pompa di calore: TelevisNet 4.0</i>	181
<i>Bibliografia</i>	184

CAPITOLO IV

<i>RILIEVO ED ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI DEL MONITORAGGIO ESTIVO</i>	185
4.1 <i>Introduzione</i>	185
4.2 <i>Riepilogo dei risultati del monitoraggio invernale</i>	190

<i>4.3 Rilievo dei dati sperimentali nel periodo estivo</i>	194
4.3.1 Scelta dei parametri di prova (Caso Estivo)	195
<i>4.4 Analisi e rielaborazione dei dati sperimentali estivi</i>	217
4.4.1 Tracciamento del ciclo termodinamico a EER massimo (Caso Estivo)	227

CAPITOLO V

<i>LOGICA DI REGOLAZIONE IN FUNZIONAMENTO ESTIVO E CONDIZIONI OFF-DESIGN</i> ..	229
<i>5.1 Introduzione</i>	229
<i>5.2 Logica di regolazione in funzionamento estivo</i>	233
<i>5.3 Rilievo e analisi dei dati sperimentali in condizioni OFF - DESIGN</i>	235
5.3.1 Rilievo ed analisi dei dati sperimentali: funzionamento in transitorio	244
5.3.2 Rilievo ed analisi dei dati sperimentali: funzionamento a regime	247
 <i>Conclusioni</i>	 251

Sommario

Il seguente lavoro di tesi è il prosieguo dell'attività di ricerca "Impianto sperimentale per la valutazione delle prestazioni di una pompa di calore ad R744 (CO₂). Primi Risultati relativi alla climatizzazione invernale", svolta presso l'area Capanna del Centro Ricerche ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) di Casaccia-Roma (unità UTTEI-TERM).

L'impianto sperimentale, servito dalla pompa di calore, è individuato dall'acronimo AI.CO.WA (Air Conditioning with HP CO₂ WATER-water) ed è un impianto di climatizzazione ad aria primaria e fan coil.

Tale lavoro ha lo scopo di caratterizzare il funzionamento della macchina e di determinarne le prestazioni durante il periodo estivo. È stato quindi effettuato il monitoraggio della pompa di calore in condizioni di funzionamento reali, con specifica attenzione al funzionamento della macchina in condizioni di off-design.

L'impianto ben si colloca nello scenario legislativo attuale: dal 31/05/2012 sono entrati in vigore gli obblighi del Decreto Legge 3.3.2011 n. 28 che promuove l'uso delle energie rinnovabili negli edifici. Il nuovo decreto recepisce la direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo sull'impiego delle fonti rinnovabili, stabilendo le percentuali minime del loro uso in relazione al fabbisogno termico totale degli edifici, cioè al fabbisogno richiesto per la climatizzazione, invernale ed estiva, e per la produzione di ACS (acqua calda sanitaria). Gli unici generatori in grado di rispettare i dettami del decreto sono le pompe di calore elettriche a compressione, le pompe di calore alimentate a gas, sia a compressione che ad assorbimento, e le caldaie a biomassa.

In attuazione al regime di sostegno introdotto dal decreto legislativo sopracitato, il 2 Gennaio 2013 è stato pubblicato il Decreto Ministeriale del 28 Dicembre 2012, il cosiddetto "Conto termico" che promuove interventi incentivabili sia d'incremento dell'efficienza energetica, realizzati in edifici esistenti dotati di impianti di climatizzazione, e sia interventi di piccole dimensioni per la produzione di energia termica da fonti rinnovabili e di sistemi ad alta efficienza mediante sostituzione d'impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale dotati di pompe di calore elettriche o a gas, o generatori di calore a biomassa; e sostituzione di scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore.

Inoltre le soluzioni impiantistiche con pompa di calore permettono di raggiungere gli obiettivi previsti dalla Direttiva 2009/29/CE (Direttiva 20-20-20): riduzione delle emissioni di gas serra del 20 %, aumento al 20 % della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e riduzione del 20 % dei consumi finali di energia entro il 2020.

La tesi svolta rientra nel progetto “Studi e valutazioni sull’uso razionale dell’energia: Utilizzo dell’energia elettrica e solare per la climatizzazione estiva”, svolto dall’ ENEA nell’ambito del programma di Ricerca di Sistema Elettrico. Tale programma, svolto in collaborazione con il Ministero dello Sviluppo Economico, ha come principale obiettivo definire e sviluppare un sistema di produzione integrato che sia robusto, competitivo e di riferimento per il “sistema Italia”, in grado di assolvere l’intero compito della climatizzazione estiva e invernale.

Da un punto di vista più strettamente ambientale, il sistema in esame utilizzato per la climatizzazione, oltre ad essere servito da una pompa di calore, realizza anche la sostituzione dei tipici refrigeranti con un fluido naturale (CO₂) che non dà luogo agli effetti negativi sullo strato di ozono in caso di dispersione del fluido frigorifero nell’atmosfera. Attualmente è crescente la tendenza ad utilizzare la CO₂ (R744) come fluido refrigerante unitamente all’uso di pompe di calore, le quali sono in grado di provvedere al condizionamento degli ambienti con la produzione di acqua ad alta temperatura e di acqua refrigerata.

Nella prima parte dell’elaborato è stato analizzato il problema ambientale nel settore della refrigerazione illustrando le motivazioni che hanno portato alla scelta dell’anidride carbonica come fluido refrigerante, citandone la storia, le caratteristiche e i cicli termodinamici utilizzati. La seconda parte della tesi è stata dedicata all’impianto AI.CO.WA per quanto concerne la progettazione, la realizzazione ed il dimensionamento della pompa di calore. Terza ed ultima parte dell’elaborato riguarda l’acquisizione dei dati sperimentali e la successiva elaborazione al fine di determinarne le prestazioni nel funzionamento estivo analizzando in particolare il funzionamento della macchina nelle condizioni di off design. La rielaborazione dei dati è sintetizzata attraverso i valori medi-orari dell’EER (Energy Efficiency Ratio) della pompa di calore.

È stata studiata l’influenza dei diversi parametri che caratterizzano il ciclo termodinamico ed il comportamento della macchina nei range di funzionamento

previsti dalla casa costruttrice. A tal proposito è stata considerata la possibilità di ampliare tali range con lo scopo di aumentare l'energia utile prodotta dalla macchina.