

UN IMPIANTO SPERIMENTALE PER LA MISURA DELLE PRESTAZIONI DI UN GRUPPO FRIGORIFERO AD ASSORBIMENTO

*Andrea de Lieto Vollaro**, *Giorgio Galli**, *Stefano Grignaffini**,
*Francesco Asdrubali***, *Giorgio Baldinelli***, *Cinzia Buratti***

*Dipartimento di Fisica Tecnica – Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

**Dipartimento di Ingegneria Industriale – Università degli Studi di Perugia

SOMMARIO

Nel lavoro è presentato un impianto sperimentale per la simulazione e la verifica delle prestazioni di una macchina frigorifera ad assorbimento funzionante ad H₂O-LiBr. La macchina, della potenza frigorifera di 17,4 kW, è alimentata ad acqua calda e dotata di strumentazioni per la misura dei principali parametri di funzionamento (temperature, pressioni e portate). Nel lavoro sono presentate le caratteristiche dell'impianto, i risultati delle prime misure sperimentali e il programma di ricerca futuro. L'impianto, realizzato presso il Laboratorio di Termotecnica della Facoltà di Ingegneria di Perugia, è frutto della collaborazione tra le Università di Perugia (Dipartimento di Ingegneria Industriale) e di Roma "La Sapienza" (Dipartimento di Fisica Tecnica).

1. INTRODUZIONE

Il riscaldamento globale dell'atmosfera terrestre a causa dell'accumulo di gas serra sembra mettere a repentaglio i complessi equilibri meteorologici del pianeta. Per limitare le emissioni di CO₂ e di CFC, ritenuti fra i principali responsabili dell'effetto serra e della diminuzione dello strato di ozono che circonda l'atmosfera, negli anni scorsi sono stati firmati 2 documenti di fondamentale importanza: il Protocollo di Montreal e il Protocollo di Kyoto. In tali accordi si è definito un programma di riduzione delle emissioni da parte delle Nazioni Unite, da attuare gradatamente fino al 2010. Una via efficace per il contenimento della produzione di CO₂ è costituita dall'impiego di energia degradata, altrimenti destinata alla dispersione nell'ambiente, come ad esempio calore a bassa temperatura. I cicli frigoriferi alimentati con cascami di calore rappresentano un'applicazione promettente per la soluzione di problematiche energetico-ambientali; fra le possibili soluzioni tecniche risulta particolarmente interessante il ciclo ad assorbimento con acqua e bromuro di litio, dato che tale coppia refrigerante-assorbente è caratterizzata da numerosi vantaggi quali l'elevato calore di trasformazione e la non tossicità e pericolosità [1]. Presso i Dipartimenti di Fisica Tecnica dell'Università di Roma “La Sapienza” e di Ingegneria Industriale dell'Università di Perugia sono da anni attivi gruppi di ricerca che si occupano di tecnologie frigorifere alternative, ed in particolare dei sistemi ad assorbimento; gli aspetti affrontati hanno riguardato la misura delle proprietà termofisiche di nuovi fluidi [2], [3], [4], [5], [6], la valutazione delle prestazioni di nuovi cicli e macchine [7], [8], [9], la realizzazione di nuovi prototipi [10], [11]. L'impianto sperimentale descritto nella presente memoria nasce dalla collaborazione tra i due Dipartimenti menzionati ed assume una duplice valenza: scientifica, al fine di verificare le prestazioni della macchina al variare delle condizioni operative e di validare quindi i modelli termodinamici sviluppati, e didattica.

2. DESCRIZIONE DELLA MACCHINA AD ASSORBIMENTO

La macchina ad assorbimento dell'impianto sperimentale, di fabbricazione giapponese, è del tipo a singolo stadio ed impiega quale fluido di lavoro acqua-bromuro di litio. E' costituita dai quattro elementi essenziali di ogni gruppo ad assorbimento ossia generatore, evaporatore, condensatore ed assorbitore, secondo lo schema di principio di fig. 1 [12]; i principali parametri di funzionamento sono riassunti in tab. 1. La macchina sviluppa una potenza frigorifera nominale pari a 17 kW, sfruttando una portata di $1,157 \times 10^{-3}$ m³/s d'acqua calda alla temperatura di 88°C. L'acqua refrigerata può scendere fino ad una temperatura minima di 8°C; in condizioni nominali essa è prodotta a 9°C, con un salto all'evaporatore di 6°C. La portata nominale di acqua refrigerata prodotta è pari a $0,83 \times 10^{-3}$ m³/s; le pressioni massime di lavoro al generatore e all'evaporatore sono pari rispettivamente a 98 kPa e 295 Pa. Per il raffreddamento di assorbitore e condensatore è necessaria una portata di $2,22 \times 10^{-3}$ m³/s di

acqua, che si riscalda da 29,5°C a 34,5°C; la pressione massima del circuito di raffreddamento è pari a 295 kPa. La macchina è dotata di un ricircolo tra le soluzioni concentrata e diluita di generatore ed assorbitore, con un dispositivo di recupero del calore, e di un riscaldatore a cella di palladio, per l'estrazione dell'idrogeno che può formarsi all'interno del gruppo ad assorbimento.

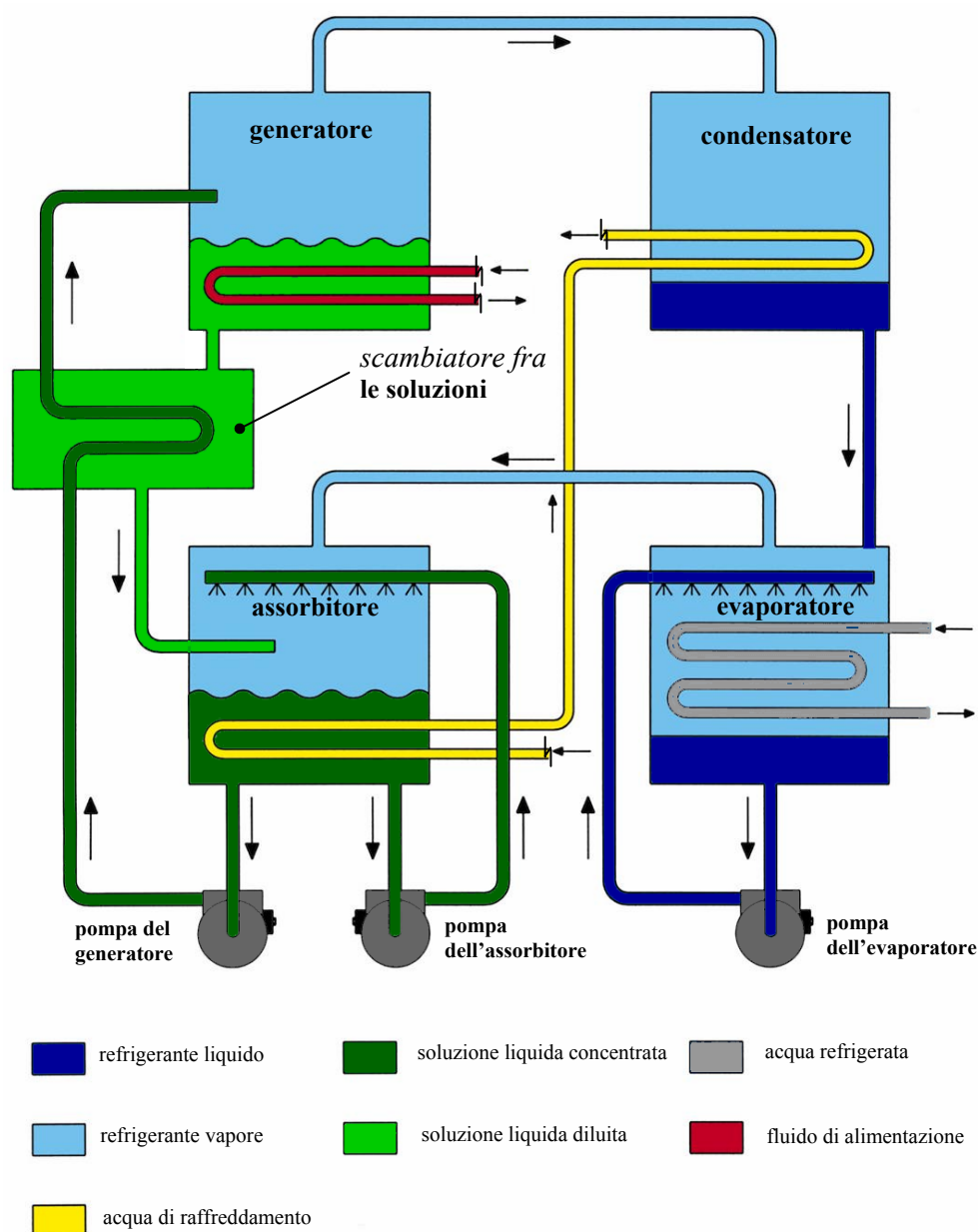


Fig. 1: schema di principio di una macchina frigorifera ad assorbimento ad $H_2O-LiBr$ [10].

Tab. 1: principali parametri di funzionamento della macchina da assorbimento

	Acqua refrigerata	Acqua calda	Acqua di raffreddamento
Potenza (kW)	17,4	29,1	46,5
Temperatura di uscita (°C)	9	82	34,5
Temperatura di entrata (°C)	14	88	29,5
Portata (m^3/s)	$0,83 \cdot 10^{-3}$	$1,157 \cdot 10^{-3}$	$2,22 \cdot 10^{-3}$

3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO SPERIMENTALE

Lo schema dell'apparato sperimentale realizzato presso il Laboratorio di Termotecnica dell'Università degli Studi di Perugia è riportato in figura 2.

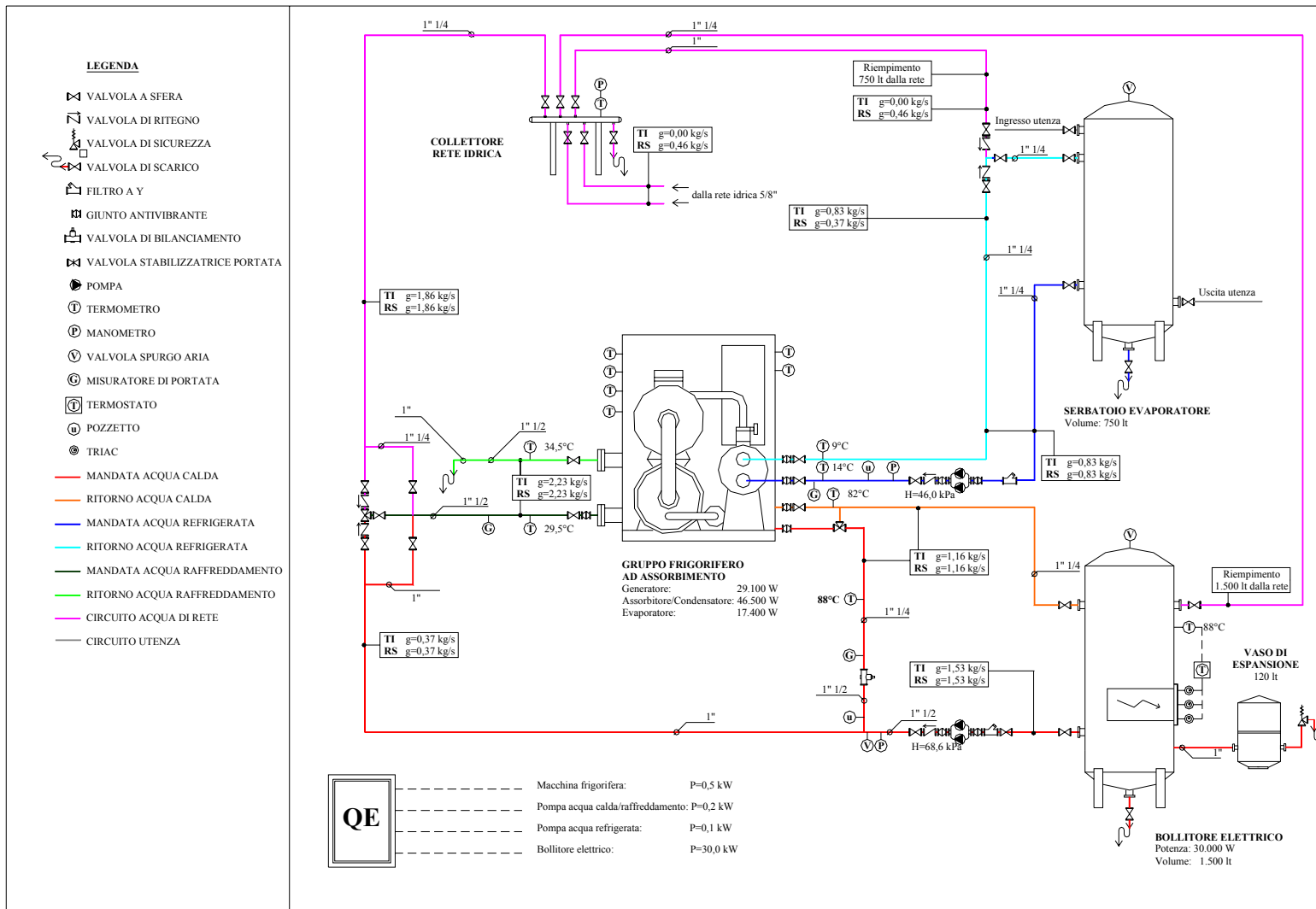


Fig. 2: Schema dell'apparato sperimentale.

La parte centrale dell'impianto è costituita dalla macchina ad assorbimento; i circuiti esterni hanno il compito di garantire la continuità dei flussi in ingresso ed in uscita dalla macchina.

Il generatore è alimentato tramite acqua calda prodotta in un bollitore elettrico, avente 3 resistenze scaldanti da 10 kW ciascuna e dotato di un termostato con teleruttore, che agisce sulle resistenze una volta che l'acqua ha raggiunto la temperatura di esercizio; il circuito caldo è collegato ad un vaso di espansione che assorbe le dilatazioni termiche del fluido. L'acqua refrigerata prodotta viene accumulata in un serbatoio appositamente costruito, che può essere collegato ad eventuali utenze.

I flussi di acqua calda e fredda sono garantiti da due coppie di pompe gemellari: ciascuna pompa del circuito caldo può elaborare una portata di $3,3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ a 2850 giri/min, con una prevalenza pari a 68,6 kPa; ciascuna pompa del circuito freddo può elaborare una portata di $3,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ a 2890 giri/min, con una prevalenza di 46,0 kPa.

La strumentazione di misura dei parametri di funzionamento esterni della macchina è costituita da:

- termometri ad immersione nei serbatoi caldo e freddo;
- termometri a pozzetto in ciascuno dei circuiti esterni della macchina (uno in ingresso ed uno in uscita);
- manometri su tutti i circuiti;
- tronchetti misuratori di portata collegati a trasduttori di pressione differenziale su ciascun circuito esterno della macchina.

Anche all'interno della macchina sono presenti dei sensori per il controllo delle condizioni di funzionamento: la temperatura all'evaporatore e al condensatore è misurata attraverso due termoresistenze Pt 100 racchiuse in ceramica ed immerse in un bagno d'olio in appositi pozzetti; attraverso termocoppie di tipo J a fascetta, è possibile inoltre misurare la temperatura delle soluzioni che circolano tra i vari componenti del gruppo frigorifero ed in particolare: le temperature della soluzione concentrata in uscita e della soluzione diluita in ingresso al generatore, della soluzione in ingresso e in uscita all'assorbitore.

La lettura di tutte le grandezze menzionate può essere fatta sia manualmente sia tramite un sistema di acquisizione computerizzato.

Nelle figure 3a e 3b sono riportate le fotografie delle parti principali dell'impianto descritto.

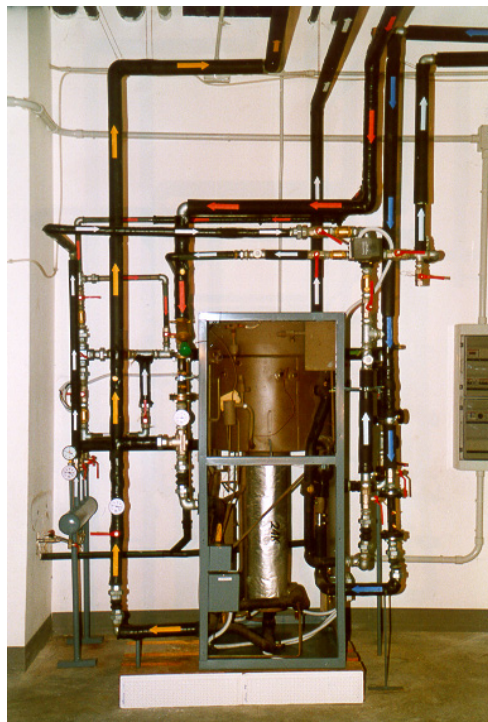


Fig. 3a: foto del gruppo ad assorbimento, lato macchina.



Fig. 3b: foto del gruppo ad assorbimento, lato serbatoi.

4. PROGRAMMA DI RICERCA

L'impianto descritto è stato finanziato con fondi del Progetto di ricerca di interesse nazionale ex-40% "Cicli termodinamici inversi per refrigerazione e pompe di calore: sviluppo di soluzioni a basso impatto ambientale - Sistemi di raffreddamento non convenzionali".

L'impianto si propone di verificare le prestazioni della macchina al variare delle condizioni operative rispetto a quelle nominali; in particolare saranno verificate le prestazioni ottenute simulando diverse alimentazioni di tipo alternativo, quali fluidi riscaldati con pannelli solari o calore prodotto da sistemi di cogenerazione [13], [14], [15].

Inoltre, la facilità di ispezione e di visualizzazione di ogni singolo componente dà al sistema una valenza didattica, offrendo la possibilità di osservare il funzionamento di un sistema di refrigerazione di tipo alternativo.

5. PRIMI RISULTATI SPERIMENTALI

Nel periodo gennaio-aprile 2001, si sono effettuate le prime accensioni dell'impianto sperimentale, volte alle verifiche di funzionalità della macchina, dei circuiti e della strumentazione di misura; si è cercato innanzitutto di riprodurre le condizioni nominali indicate dal costruttore.

La fig. 4 riporta i punti di funzionamento sperimentali ottenuti sul diagramma P-T-X della soluzione H₂O-LiBr; in particolare si sono misurati i seguenti valori delle temperature dei quattro componenti della macchina:

- $T_C \cong T_A = 45^\circ\text{C}$
- $T_E = 9^\circ\text{C}$
- $T_{Gmin} = 80^\circ\text{C}$ (temperatura della soluzione calda concentrata in uscita dal generatore)

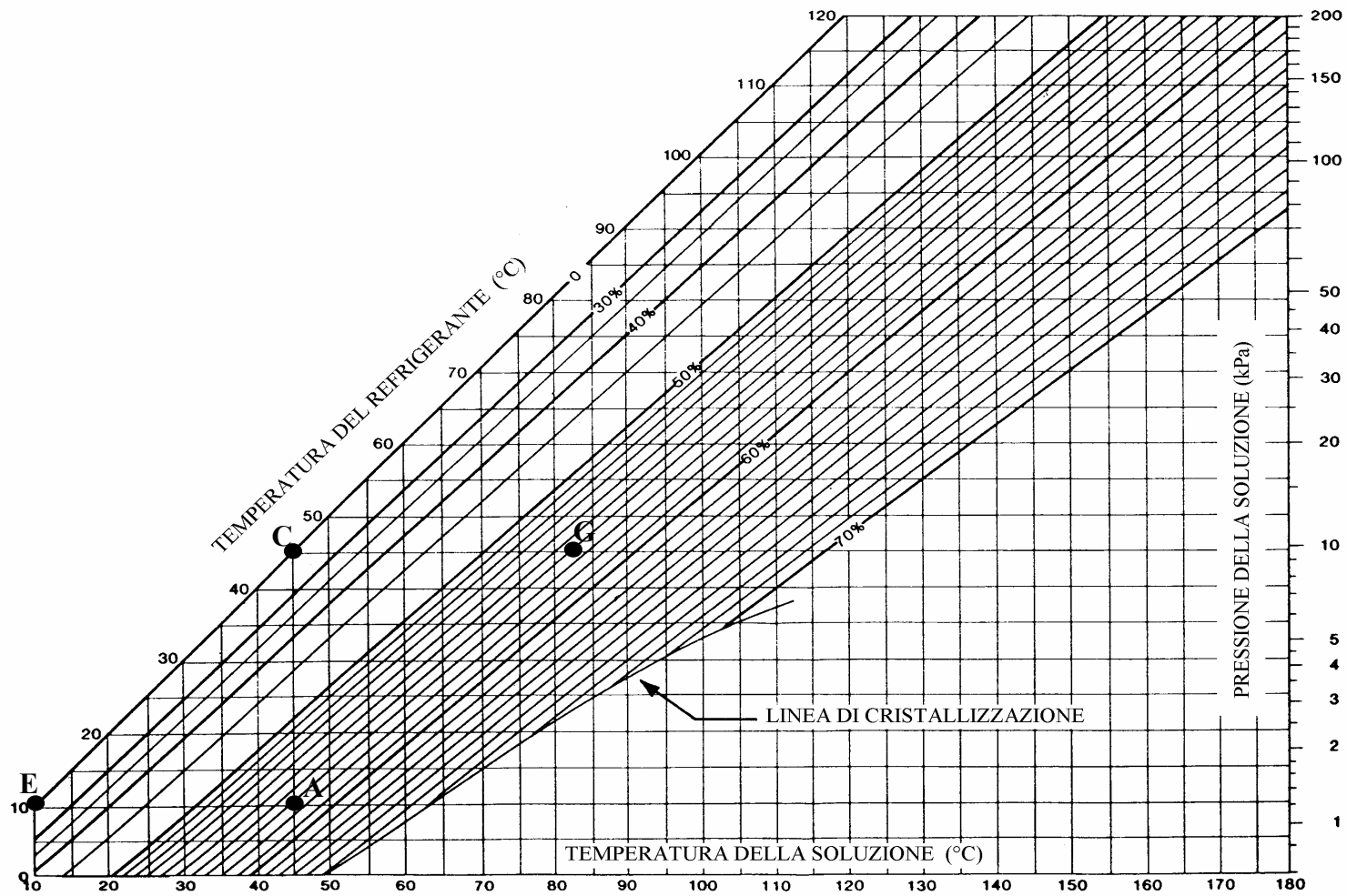


Fig. 4: punti di funzionamento della macchina sul diagramma P-T-X della soluzione Acqua-Bromuro di Litio.

Si sono inoltre misurate le portate dei circuiti esterni e si è quindi calcolato l'effetto utile della macchina:

$$q_G = g_G \gamma (T_{gi} - T_{gu}) = 27,13 \text{ kW}$$

$$q_E = g_E \gamma (T_{ie} - T_{eu}) = 16,32 \text{ kW}$$

$$\xi = q_E / q_G = 0,601$$

I dati misurati confermano sostanzialmente i dati di targa indicati dal costruttore e l'affidabilità dell'impianto realizzato e della relativa strumentazione impiegata al fine di valutare le prestazioni del sistema di assorbimento.

6. LISTA DEI SIMBOLI

T = temperatura (K, °C)
q = potenza termica (kW)
 γ = calore specifico (kJ/kg K)
G = portata (kg/s)
 ξ = effetto utile

Pedici:
A = assorbitore
G = generatore
E = evaporatore
C = condensatore
i = ingresso
u = uscita

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Grignaffini, F. Asdrubali: " *I fluidi per macchine ad assorbimento: requisiti e bibliografia recente* "; VII European Conference on Technological Innovations in Refrigeration, in Air Conditioning and in the food industry into the third millenium, Politecnico di Milano, 18-19 giugno 1999.
- [2] G. Moncada Lo Giudice, F. Asdrubali, C. Buratti: " *Misura di alcune proprietà fisiche della soluzione Alcool Metilico-Cloruro di Calcio* "; 46° Congresso Nazionale ATI, Gaeta, settembre 1991.
- [3] G. Moncada Lo Giudice, F. Asdrubali, C. Buratti: " *Influenza del rapporto molare fra i sali sulle prestazioni delle miscele ternarie Alcool Metilico- Sali* "; 48° Congresso Nazionale ATI, Taormina, settembre 1993.
- [4] F. Asdrubali, C. Buratti, L. Santarpia: " *Proprietà termofisiche di soluzioni acquose di idrossidi* "; 48° Congresso Nazionale ATI, Taormina, settembre 1993.
- [5] F. Cotana, F. Asdrubali, L. Santarpia: " *Thermophysical properties of H₂O-NaOH-KOH mixture* "; International Conference "CFC - The Day After", Padova, September 1994.
- [6] C. Buratti, F. Asdrubali, G. Chiari: " *Misura del calore di soluzione di fluidi per sistemi ad assorbimento* "; XV Congresso Nazionale sulla Trasmissione del calore - UIT, Torino, 19-20 giugno 1997.
- [7] M. Felli, F. Cotana, F. Asdrubali: " *Design and Performances of a two Stages Heat Transformer* "; XVIII International Congress of Refrigeration, Montreal, agosto 1991.
- [8] F. Asdrubali, C. Buratti, L. Santarpia: " *Prestazioni della miscela ternaria CH₃OH-LiBr-ZnCl₂ in pompe e trasformatori di calore* "; Il Freddo anno 46 n. 6, novembre-dicembre, 1992.
- [9] F. Asdrubali, C. Buratti, A. Milone: " *Ottimizzazione exergetica di una macchina frigorifera ad assorbimento* "; 51° Congresso Nazionale ATI, Udine 16 - 20 settembre 1996.
- [10] M. Coppi, A. de Lieto Vollaro: " *Progettazione e realizzazione di una macchina frigorifera a doppio stadio ad H₂O-LiBr per basse temperature* "; ed. ESA, dicembre 1990.

- [11] M. Coppi, A. de Lieto Vollaro: "*An experimental two-stage low-temperature cooled generating absorption-type machine*"; II International Congress Energy, Environment and Technological Innovation, Roma, 1992.
- [12] Mauro Felli: "*Lezioni di fisica tecnica*"; Morlacchi Editore, Perugia 1999.
- [13] M.M. Talbi, B. Agnew: "*Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluids*"; Applied thermal engineering 20 (2000).
- [14] R.E. Critoph: "*Performance limitations of adsorption cycles for solar cooling*"; Solar energy, Vol. 41, No 1, 1988;
- [15] Shenyi Wu, Ian W. Eames: "*Innovations in vapour-adsorption cycles*"; Applied Energy 66 (2000).