

48° congresso nazionale ATI

taormina 28 settembre - 1 ottobre 1993



atti del congresso

estratto

vol. I

**associazione
termotecnica
italiana**

SGE DITORIALI
PADOVA

INFLUENZA DEL RAPPORTO MOLARE FRA I SALI SULLE PRESTAZIONI DELLE MISCELE TERNARIE ALCOOL METILICO - SALI

F. Asdrubali¹ - C. Buratti¹ - G. Moncada Lo Giudice²

¹ Istituto di Energetica - Università degli Studi di Perugia - Perugia

² Dipartimento di Fisica Tecnica - Università di Roma "La Sapienza" - Roma

Sommario

La miscela ternaria Alcool Metilico - Bromuro di Litio - Cloruro di Zinco è stata recentemente proposta (1991) da Iyoki, Takigawa e Uemura per impiego in macchine ad assorbimento, in virtù delle sue buone proprietà termodinamiche e dei valori non elevati della viscosità. Nel caso delle miscele ternarie è possibile ottimizzare le prestazioni della miscela variando il rapporto in massa o in moli tra i sali. Così, nel presente lavoro, si sono determinate le proprietà termofisiche e le tensioni di vapore di un certo numero di miscele ternarie, considerando i rapporti molari fra i sali eguali a 1:1, 1:2 e 2:1. Si sono quindi determinate le prestazioni teoriche di diverse macchine ad assorbimento (frigorifera, pompa e trasformatore di calore) per le diverse miscele, utilizzando un programma di calcolo all'uopo predisposto. Infine si sono costruiti dei diagrammi di "sensibilità" delle prestazioni al variare del rapporto molare fra i sali, avendosi così la possibilità di selezionare il rapporto più conveniente.

1. Introduzione

Le soluzioni di Alcool Metilico e Sali sono state proposte in Letteratura quali fluidi di lavoro in macchine frigorifere ad assorbimento fin dagli anni '40 [1], [2], [3], [4], [5]; in virtù delle loro caratteristiche favorevoli in vista dell'impiego menzionato, esse rivestono ancor oggi un ruolo importante nella ricerca sperimentale [6], [7]. L'interesse dei ricercatori si è ormai spostato dalle miscele binarie alle miscele ternarie di Alcool Metilico e Sali; si è riscontrato, infatti, che l'aggiunta di un secondo sale, opportunamente scelto, contribuisce a ridurre sensibilmente il valore della viscosità della miscela. Nel proporre una nuova miscela ternaria è pertanto necessario individuare il più favorevole rapporto (in massa o in moli) tra i sali impiegati; diversi possono essere i criteri di scelta, quali ad esempio la viscosità minima, la tensione di vapore minima, ad una data concentrazione e temperatura, la solubilità massima, e così via.

Nel presente lavoro viene esaminata la miscela ternaria Alcool Metilico - Bromuro di Litio - Cloruro di Zinco, per la quale si sono reperiti in un recente lavoro [6] i dati relativi al solo rapporto in massa 1:1 tra i due sali.

Al fine di poter confrontare la miscela considerata con le miscele ternarie di Alcool Metilico e Sali proposte in passato in Letteratura [5], [7], [8], si è fatto riferimento al rapporto molare tra i due sali; si sono eseguite misure per tre diversi rapporti molari tra Bromuro di Litio e Cloruro di Zinco, e cioè 1:1, 1:2 e 2:1. Per ciascun rapporto si sono determinate sperimentalmente: tensione di vapore, calore specifico, densità, viscosità cinematica e si sono individuati i rapporti molari caratterizzati, rispettivamente, dal valore minimo della viscosità e dal valore più favorevole della tensione di vapore, in vista dell'applicazione in esame. I dati sperimentali sono stati quindi impiegati per valutare le prestazioni teoriche di diverse macchine ad assorbimento (frigorifere,

pompa e trasformatore di calore), al variare del rapporto molare.

Le misure sono state eseguite nel Laboratorio di Termodinamica dell'Istituto di Energetica dell'Università di Perugia.

2. Sostanze impiegate

Il Metanolo impiegato per la preparazione delle soluzioni e' di produzione Carlo Erba S.p.a., di purezza minima pari al 99.9%; l'impurita' principale e' rappresentata da acqua, presente in percentuale inferiore allo 0.08%.

Il Bromuro di Litio e' di produzione Merck, di purezza superiore al 99%; le impurita' presenti sono: Cloro (<0.1%) e Iodio (<0.02%); il Cloruro di Zinco, infine, di produzione Carlo Erba S.p.a., ha una purezza superiore al 98%.

Le soluzioni sono state preparate per mezzo di una bilancia elettronica Sartorius (f.s. 4000 gr, precisione +/-0.002 g su tutta la scala), pesando il refrigerante (Metanolo) e l'assorbente (Bromuro di Litio e Cloruro di Zinco, nei rapporti molari scelti), nelle concentrazioni 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90% in massa di Metanolo ed in quantita' sufficiente per l'esecuzione di tutte le misure (circa 500 g).

3. Misure di tensione di vapore

I diagrammi P-T-X delle miscele in esame sono costruiti misurando pressione e temperatura, a concentrazione costante.

L'apparato sperimentale è stato utilizzato e descritto in altri lavori [9], [10]; una veduta d'insieme dell'apparecchiatura è comunque riportata in fig.1. La sezione di prova, contenente la soluzione, viene collocata all'interno di una camera climatica, che consente di controllare la temperatura nel campo -40 / + 150°C. Effettuato il degasaggio della soluzione ed il vuoto nel circuito di prova, si imposta un valore della temperatura della camera climatica; raggiunto l'equilibrio termico, si effettua la lettura contemporanea dei valori di temperatura, con una termoresistenza al Platino immersa nella soluzione, e di tensione di vapore, con un trasduttore di pressione. Una descrizione più dettagliata delle operazioni di misura è riportata in [10].

Si sono determinati, per ciascun campione, almeno sei valori sperimentali; questi sono stati interpolati con un polinomio di primo grado, che lega il logaritmo della pressione P all'inverso della temperatura assoluta T, secondo la nota relazione di Antoine:

$$\text{Log } P = A - \frac{B}{T} \quad (1)$$

I valori delle costanti A e B sono riportati in tabella 1, per i tre rapporti molari considerati e per ciascuna concentrazione in esame. I corrispondenti diagrammi P-T-X sono disegnati nelle figure 2, 3 e 4, per i rapporti molari 1:1, 1:2 e 2:1 tra Bromuro di Litio e Cloruro di Zinco.

La tabella 2 riporta infine i risultati delle misure di tensione di vapore per i tre rapporti molari considerati. Le misure per la determinazione della curva di cristallizzazione sono state effettuate secondo il metodo descritto in [11]: la soluzione, di concentrazione prefissata, viene introdotta nella camera climatica e sottoposta a graduale raffreddamento, in continua agitazione, fino alla comparsa dei primi cristalli; a questo punto si effettua la misura della temperatura, quindi la soluzione viene di nuovo riscaldata lentamente, senza interrompere l'agitazione, fino alla scomparsa completa del solido.

Il processo descritto è ripetuto più volte, per limitare gli errori provocati da possibili sottoraffreddamenti o surriscaldamenti, fino ad ottenere la convergenza delle temperature di inizio formazione dei cristalli e di completa dissoluzione di essi.

In accordo con quanto riportato in [6], per il rapporto in massa 1:1, non si verifica alcuna precipitazione dei sali per le concentrazioni considerate e nel campo di temperature tra -15 e 130°C (v. fig. 2-3-4); i diagrammi P-T-X non sono pertanto limitati inferiormente dalla curva di

cristallizzazione.

Al fine di evidenziare la dipendenza della tensione di vapore dal rapporto molare tra i sali, sono state effettuate misure di tale grandezza per soluzioni di concentrazione fissata ($X = 50\%$), a temperatura costante e al variare di detto rapporto; le misure sono state ripetute per diversi valori della temperatura ($T = 30, 50, 70, 90^\circ\text{C}$). In aggiunta alle miscele ternarie esaminate (1:1, 1:2, 2:1), sono state effettuate misure anche per le miscele $\text{CH}_3\text{OH-LiBr}$ (1:0) e $\text{CH}_3\text{OH-ZnCl}_2$ (0:1); si sono così determinati, per ciascuna temperatura, cinque punti sperimentali; i risultati sono riportati in fig. 5. Si noti come, a parità di temperatura, i valori più bassi della tensione di vapore siano assunti dalla miscela $\text{CH}_3\text{OH-LiBr}$, la quale pertanto presenta le migliori caratteristiche in vista dell'applicazione in esame; a tale comportamento, infatti, corrisponde, a pressione costante e per modeste differenze di concentrazione, una differenza di temperatura elevata.

4. Misure di calore specifico

Il calore specifico γ_p è stato misurato per mezzo di un calorimetro a flusso termico differenziale (calorimetro Calvet, mod. C80, di costruzione Setaram). Lo strumento consente di misurare il calore specifico di liquidi in un campo di temperature compreso tra la temperatura ambiente e circa 100°C ; per ulteriori dettagli sulle caratteristiche dello strumento e sulle procedure di misura si rimanda a precedenti lavori [9], [10].

I dati sperimentali sono stati interpolati mediante polinomi di primo grado; i risultati, relativi alle concentrazioni sperimentate (40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 e 100% in massa di Metanolo) ed ai tre rapporti molari tra i due sali (1:1, 1:2 e 2:1) sono riportati in fig. 6.

5. Misure di densità

La densità della soluzione Metanolo - Bromuro di Litio - Cloruro di Zinco è stata misurata utilizzando un matraccio del volume complessivo di 220 cm^3 , munito di collo graduato, che consente di apprezzare variazioni di volume fino a circa 20 cm^3 , con una accuratezza di $\pm 0.1\text{ cm}^3$. Prima di ciascuna misura il matraccio viene accuratamente lavato ed asciugato, riempito con la soluzione della voluta concentrazione e sigillato mediante un tappo. Il matraccio così riempito viene collocato all'interno della camera climatica; un agitatore magnetico consente di evitare la stratificazione della soluzione. Raggiunto l'equilibrio termico si effettua la lettura del volume della soluzione. La soluzione ed il matraccio vengono pesati per mezzo della bilancia elettronica già menzionata.

Si sono rilevati almeno sei punti sperimentali per ciascuna delle concentrazioni in esame (50, 60, 70, 80, 90, 100%); i valori di ρ sono riportati in tabella 3. I dati sperimentali sono stati interpolati mediante un legame di tipo lineare: in fig. 7 sono riportati gli andamenti di $\rho = \rho(T)$ a concentrazione costante.

6. Misure di viscosità cinematica

Per le misure di viscosità cinematica si è impiegato un viscosimetro a gravità di tipo Ubbelohde: in esso il valore della viscosità cinematica risulta direttamente proporzionale all'intervallo di tempo Δt che una certa quantità di fluido impiega per transitare attraverso due linee di fede segnate sullo strumento, secondo la relazione:

$$\nu = K \Delta t \quad (2)$$

nella quale K è una costante caratteristica del viscosimetro, determinata mediante periodica taratura dello strumento per mezzo di fluidi di viscosità cinematica nota. Il viscosimetro viene collocato all'interno della camera climatica, al fine di controllare la temperatura durante l'effettuazione delle prove. Il campo di misura è limitato all'intervallo $0-60^\circ\text{C}$, poichè, per temperature più elevate, la misura è affetta da un errore rilevante, dovuto all'evaporazione del

Metanolo, la cui temperatura di ebollizione normale è uguale a 64.7°C.

Per ciascuna concentrazione (50, 60, 70, 80, 90, 100%) si sono rilevati almeno sei punti sperimentali, a differenti temperature; i valori di ν sono riportati in tabella 3. Interpolando i risultati sperimentali con un polinomio di secondo grado si ottengono gli andamenti $\nu = \nu(T)$ a concentrazione costante, come mostrato in fig. 8.

E' stato inoltre valutato l'andamento della viscosità cinematica al variare del rapporto molare tra i sali, così come visto nel paragrafo 3 per la tensione di vapore.

La fig. 9 riporta, per diversi valori della temperatura, il valore della viscosità cinematica di soluzioni di concentrazione prefissata ($X = 50\%$), al variare di detto rapporto tra i due sali; a tal fine si sono effettuate misure di viscosità cinematica anche per le due miscele binarie $\text{CH}_3\text{OH-LiBr}$ (1:0) e $\text{CH}_3\text{OH-ZnCl}_2$ (0:1). Si noti come la viscosità diminuisca al crescere del contenuto in moli di ZnCl_2 , fino ad un valore minimo posto circa in corrispondenza dell'intervallo compreso tra i rapporti molari 1:1 e 2:1, dopo di che essa torna a crescere per valori superiori del contenuto in moli di ZnCl_2 .

7. Errori di misura

La natura e l'entità degli errori commessi nelle misure di tensione di vapore, calore specifico, viscosità e densità sono state già discusse ampiamente in precedenti lavori [10], [14], [15]. In tabella 4 è tuttavia riportata una descrizione sintetica del tipo di errori di misura ed una valutazione della loro entità, sulla base alle caratteristiche delle apparecchiature utilizzate.

8. Confronto con i dati reperiti in Letteratura

I risultati sperimentali relativi alla soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$, ottenuti nell'ambito del presente lavoro, non sono direttamente confrontabili con quelli in [6], per i motivi già evidenziati nel paragrafo 1. Tuttavia, in virtù delle misure descritte nel par. 5 e volte ad evidenziare la dipendenza della tensione di vapore dal rapporto molare tra i sali (si veda fig.5), è possibile risalire ai valori della tensione di vapore della soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$, con rapporto in massa 1:1 tra i due sali (rapporto molare 1,6 : 1), relativamente alla sola concentrazione $X = 50\%$ e alle temperature $T = 30, 50, 70$ e 90°C . In tabella 5 si sono pertanto confrontati tali dati con quelli riportati in [6]; si è inoltre effettuato un confronto tra i valori della tensione di vapore del Metanolo puro determinati nell'ambito del presente lavoro e quelli reperiti in Letteratura.

La tabella 6 riporta infine detto confronto, relativamente ai valori della densità e del calore specifico del Metanolo puro.

9. Prestazioni delle miscele sperimentate in cicli termodinamici ad assorbimento

I dati sperimentali ottenuti per le tre diverse miscele ternarie sono stati introdotti in appositi programmi di calcolo, al fine di determinare le prestazioni teoriche di diverse macchine ad assorbimento, operanti con le soluzioni in esame.

Si sono considerate le seguenti condizioni operative:

- macchina frigorifera ($m = 10$):

$$T_e = -5^\circ\text{C};$$

$$T_a = T_c = +30^\circ\text{C};$$

- trasformatore di calore ($m = 10$):

$$T_c = 10^\circ\text{C};$$

$$T_a = 70^\circ\text{C};$$

- pompa di calore ($m = 10$):

$$T_e = 10^\circ\text{C};$$

$$T_a = T_c = 70^\circ\text{C}.$$

Queste temperature sono tipiche di applicazioni nel campo della refrigerazione industriale, per

la macchina frigorifera, e del riscaldamento residenziale, per la pompa ed il trasformatore di calore. Si sono anche determinati i coefficienti di prestazione delle macchine, al variare del rapporto molare tra i sali, e si è completata la definizione delle temperature dei processi. E' noto infatti che le temperature operative dei sistemi ad assorbimento non sono fra loro indipendenti [3]. Nel caso della macchina frigorifera e della pompa di calore, sono assegnati T_e , T_a e T_c in base alle condizioni di progetto; scelto il fluido, risultano univocamente determinate sia la temperatura T_g , sia la concentrazione di lavoro.

I risultati relativi alla macchina frigorifera sono riportati nelle fig. 10 a e b. I fluidi ternari qui considerati presentano favorevoli valori della temperatura al generatore, la quale non supera i 100°C ; ciò significa che si può proporre l'alimentazione ad acqua calda anche per macchine destinate alla refrigerazione industriale (con esclusione della surgelazione), senza quindi dover far ricorso ai molto più costosi sistemi di alimentazione a vapore o ad acqua surriscaldata. Questo risultato, al momento relativo al solo funzionamento teorico, incoraggia la prosecuzione delle indagini al fine di avere dei riscontri sperimentali diretti, ad esempio ottenibili attraverso la costruzione di un prototipo.

Scoraggianti invece i risultati relativi alla pompa di calore, dato che, per la particolare configurazione del ciclo di funzionamento, si raggiungono all'assorbitore e al generatore concentrazioni di sale troppo elevate.

Nel caso del trasformatore di calore sono assegnate, in base alle condizioni di progetto, le temperature estreme T_c e T_a . A seguito della interdipendenza fra le temperature, scelto il fluido, sono univocamente determinate anche T_g e T_e , le quali sono le temperature intermedie. Queste, di solito, non si discostano molto dalla media aritmetica delle temperature estreme. Anche nel caso dei fluidi in esame, si ottengono per T_g e T_e valori nell'intorno dei 40°C (vedi fig. 11 a). Per quanto riguarda il C.O.P., si ricorda che il C.O.P. teorico di un trasformatore di calore è uguale a 0.5. Per i fluidi considerati si ottengono gli andamenti riportati nella fig. 11 b.

10. Conclusioni

Si sono determinati sperimentalmente i valori di alcune proprietà termofisiche delle miscele ternarie $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$, per diversi rapporti molari tra i due sali (1:1, 1:2, 2:1), in vista di un loro possibile impiego in macchine ad assorbimento. I risultati mostrano che le soluzioni sperimentate sono caratterizzate da buone proprietà termodinamiche: rispetto alle miscele ternarie di Alcool Metilico e sali tradizionalmente proposte in Letteratura, ossia le miscele $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnBr}_2$, i diagrammi P-T-X delle soluzioni con Cloruro di Zinco presentano infatti, a pressione costante ed in tutto il campo di temperature indagato, differenze di temperatura più elevate, a parità di differenze di concentrazione. L'entità di tali differenze è riportata in tab. 7. Tale comportamento fa sì che, per tutti i sistemi ad assorbimento precedentemente esaminati, si ottengano temperature di alimentazione più basse.

Si sono determinate le prestazioni teoriche delle diverse macchine ad assorbimento, operanti con le miscele in esame, ottenendosi risultati incoraggianti, sia per l'impiego frigorifero che per il trasformatore di calore. Impossibile invece il funzionamento come pompa di calore, a causa del raggiungimento di concentrazioni in sale troppo elevate nell'assorbitore e nel generatore.

Al variare del rapporto molare tra i due sali, si hanno variazioni significative delle prestazioni delle macchine, ed in particolare:

- macchina frigorifera: a fronte di un incremento della temperatura di alimentazione di 10°C , all'aumentare del rapporto molare tra i sali, si ha un aumento dell'effetto utile di circa il 5%;
- trasformatore di calore: a fronte di un aumento della temperatura di alimentazione di circa 5°C , all'aumentare del rapporto molare tra i sali, si ha un incremento del coefficiente di prestazione di circa l'8%.

E' da osservare inoltre che, oltre all'incremento delle prestazioni delle macchine esaminate,

l'aumentare il rapporto molare produce una significativa riduzione della viscosità cinematica.

Il rapporto molare più conveniente, pertanto, può essere individuato come soluzione di compromesso tra i valori ottimali delle prestazioni della macchina e i valori minimi della viscosità cinematica; nel caso in esame esso è pari al rapporto 1:1.

11. Lista dei simboli

A = costante nell'equazione di Antoine;

B = costante nell'equazione di Antoine (K);

K = costante caratteristica del viscosimetro (mm^2/s^2);

m = portata di soluzione per unità di massa di fluido refrigerante in circolo;

MR = (moli di ZnCl_2) / (moli di LiBr + moli di ZnCl_2);

P = pressione (KPa);

t = tempo (s);

T = temperatura (K, °C);

X = concentrazione in massa di refrigerante (%).

Lettere Greche

γ' = calore specifico (KJ/Kg K);

ρ = densità (Kg/m^3);

ν = viscosità cinematica (mm^2/s).

Pedici

a = assorbitore;

c = condensatore;

e = evaporatore;

g = generatore;

o = ambiente;

p = a pressione costante.

12. Riferimenti.

[1] R.M. Buffington: *Qualitative Requirements for Absorbent- Refrigerant Combinations*, Refrigerating Engineering, aprile 1949, p. 343-345, 384-388.

[2] T. Uemura, S. Hasaba: *Studies on the Methanol-Lithium Bromide-Zinc Bromide Absorption Refrigerating Machine*, Refrigeration, vol. 44, agosto 1969.

[3] M. Felli: *Proprietà termodinamiche di sistemi bifase a due componenti utilizzabili in macchine frigorifere ad assorbimento*, Il Freddo, anno 33, 1979, p. 17-33, 93-100.

[4] E. Grosman, N.K. Suslova, D.M. Chalayev: *Methanol as a Working Medium in Sorption Type Thermal Converters*, XVI International Congress of Refrigeration, Parigi, 1983.

[5] P.D. Iedema: *The absorption Heat Pump with Lithium Bromide-Zinc Bromide-Methanol*, Delft University of Technology, 1984.

[6] S. Iyoki, T. Takigawa, T. Uemura: *Thermal and Physical Properties of the Methanol-Lithium Bromide-Zinc Chloride System*, International Journal of Refrigeration, vol.14, marzo 1991.

[7] M. Felli, F. Cotana, C. Buratti: *Fluids for Absorption Machines: Experimental Data and Working Performances*, XVIII International Congress of Refrigeration, Montreal, agosto 1991.

[8] T. Uemura: *Studies on the Methanol - Lithium Iodide - Zinc Bromide Absorption Refrigerating Machine*, Reito (1975), 50, 95-101.

[9] M. Felli, F. Cotana: *La nuova stazione di misura di proprietà termofisiche dell'Istituto di Energetica dell'Università di Perugia*, Rapp. n.1, C.N.R., P.F. Edilizia, Perugia, 1991.

[10] F. Asdrubali, C. Buratti, F. Cotana, M. Felli: *Alcune proprietà termofisiche di soluzioni di Acqua e Xilitolo*, Rapp. n.2, C.N.R., P.F. Edilizia, Perugia, 1991.

[11] M.A. Biancifiori: *Contributo allo studio delle soluzioni acquose di bromuro di litio per*

macchine frigorifere ad assorbimento, Congresso Nazionale ATI, Napoli, ottobre 1960.

[12] H.D. Eichholz: *Korrelation Experimental Bestimmer Zustandgrossen Elektrolytischer Methanollosungen Als Arbeitsmittelgemische fur Absorptionswarmepumpen mit einer Fundamentalgleichung*, Dortmund Universitat, 1982.

[13] R.H. Perry, D. Green: *Perry's Chemical Engineers Handbook, Sixth Edition*, Mc Graw Hill, 1984.

[14] 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.

[15] M. Felli, F. Cotana, F. Rossi: *Experimental Determination of Thermophysical Properties of Water-Xylitol Solution*, Experimental Thermal and Fluid Science International Journal, Elsevier, 1993

Abstract.

The ternary mixture Methyl Alcohol-Lithium Bromide-Zinc Bromide has been recently proposed (1991) by Iyoki, Takigawa and Uemura as a working fluid in absorption machines. Ternary mixtures performances in absorption machines can be optimized by varying the molar or mass ratio between the two salts. In the present paper the thermophysical properties and the vapour pressures of various ternary mixtures have been measured, considering the following molar ratios between the salts: 1:1, 1:2, 2:1. The theoretical performances of different absorption machines (chiller, heat pump and heat transformer) operating with the mentioned mixtures, have been determined; the most convenient molar ratio has been finally sorted out.



Fig. 1 - Veduta d'insieme dell'apparecchiatura per le misure di tensione di vapore.

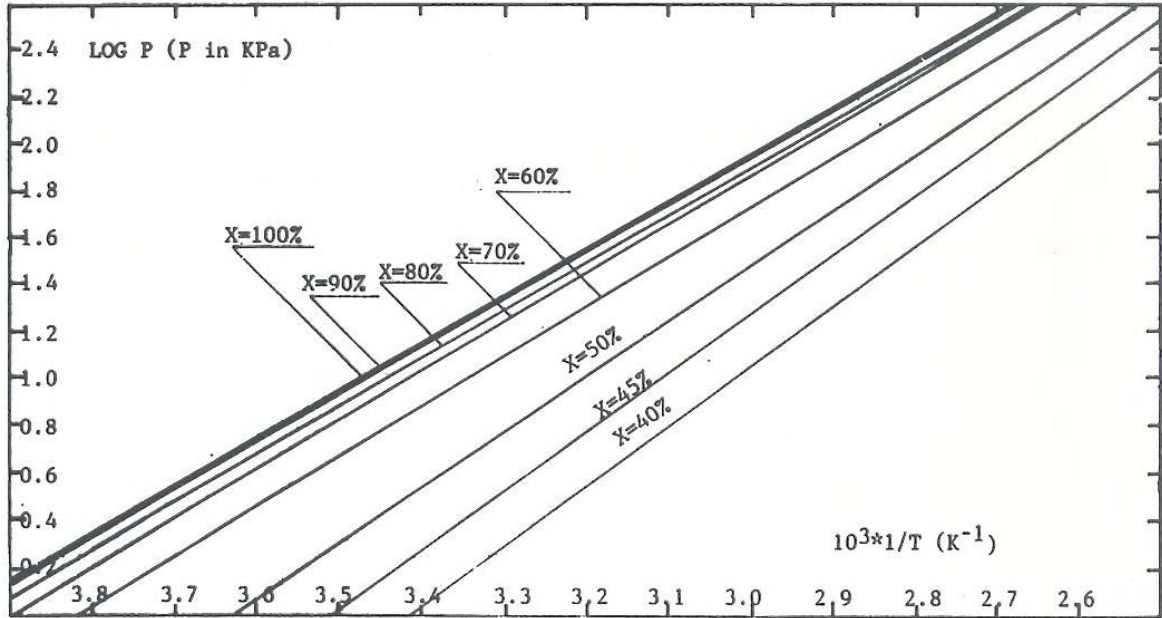


Fig. 2 - Diagramma P-T-X della soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$ (1:1).

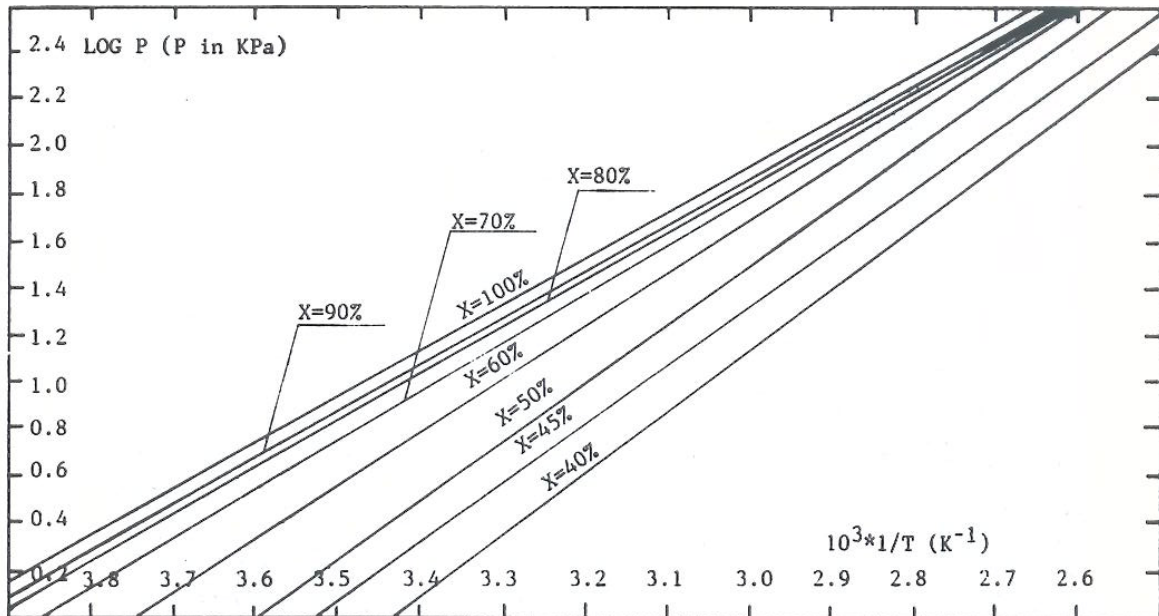
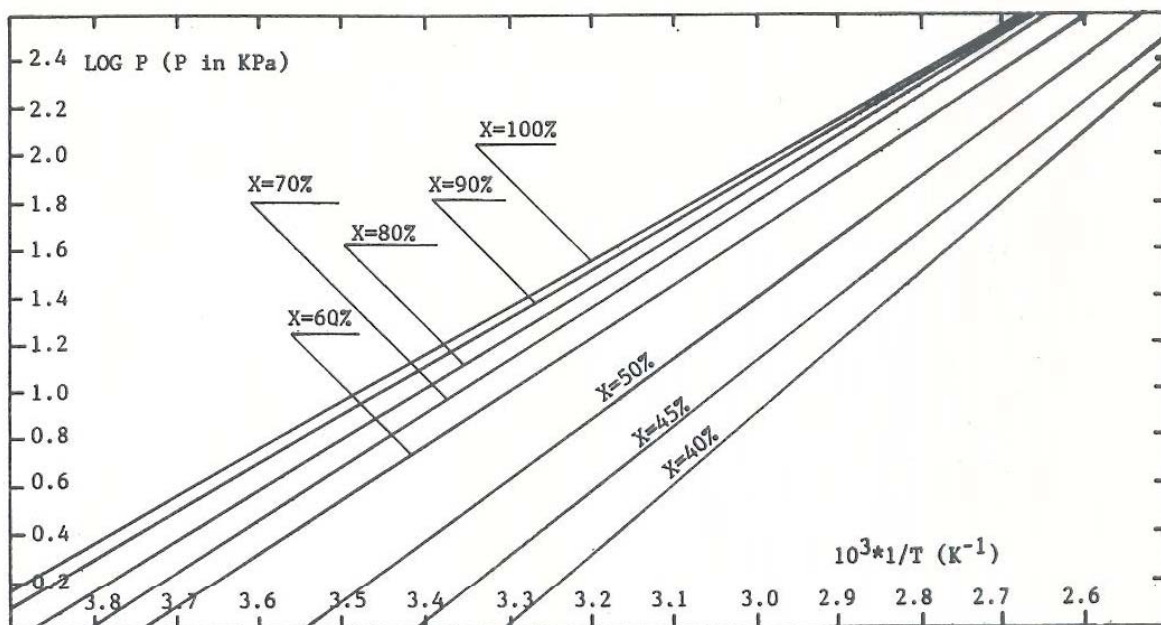


Fig. 3 - Diagramma P-T-X della soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$ (1:2).

Fig. 4 - Diagramma P-T-X della soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$ (2:1).Tab. 1: Soluzioni $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$ (1:1, 1:2, 2:1): valori di A e B nell'equazione di Antoine

X (%)	1:1		1:2		2:1	
	A	B	A	B	A	B
100	7.853	1.973	7.835	1.973	7.853	1.973
90	7.934	2.000	7.769	1.968	7.973	2.019
80	8.008	2.036	7.833	1.996	8.324	2.149
70	8.120	2.078	8.264	2.142	8.491	2.228
60	8.118	2.128	8.695	2.325	8.496	2.265
50	8.551	2.365	8.964	2.489	8.984	2.530
45	8.854	2.526	8.783	2.486	9.395	2.756
40	8.747	2.564	8.943	2.601	9.855	2.980

Tab.2: Soluzioni CH₃OH-LiBr-ZnCl₂ (1:1, 1:2, 2:1): tensione di vapore in funzione della temperatura, per diverse concentrazioni.

X (%)	T (K)	P (KPa)			X (%)	T (K)	P (KPa)		
		1:1	1:2	2:1			1:1	1:2	2:1
100	283.16	7.74	7.74	7.74	60	293.16	6.87	--	5.88
	293.16	13.34	13.34	13.34		303.16	13.33	10.75	10.83
	303.16	21.99	21.99	21.99		313.16	21.88	18.27	18.71
	313.16	36.25	36.25	36.25		323.16	35.14	32.38	30.98
	343.16	129.32	129.32	129.32		333.16	54.80	54.95	50.00
	373.16	367.63	367.63	367.63		343.16	80.50	83.16	80.41
	393.16	694.38	694.38	694.38		363.16	--	--	185.03
90	293.16	13.10	11.38	12.16	50	293.16	3.23	--	2.15
	303.16	20.62	18.65	20.16		303.16	6.05	--	4.39
	313.16	35.67	30.88	35.20		313.16	10.75	9.81	8.23
	323.16	57.30	48.42	54.48		323.16	18.74	19.21	14.53
	333.16	93.03	72.15	84.56		333.16	31.48	33.32	25.12
	343.16	127.35	108.22	121.71		343.16	49.30	54.95	40.37
	363.16	--	311.07	--		363.16	--	123.59	106.08
373.16	364.77	--	--	373.16	169.66	--	--		
80	293.16	11.69	10.27	9.81	45	293.16	1.68	--	--
	303.16	19.22	17.91	17.33		303.16	3.38	3.70	--
	313.16	32.38	29.00	30.50		313.16	6.27	7.20	4.12
	323.16	52.13	46.09	46.95		323.16	11.23	12.92	7.48
	333.16	80.80	68.28	72.80		333.16	18.15	21.04	13.59
	343.16	119.83	105.78	121.70		343.16	31.92	35.01	22.89
	363.16	--	222.02	--		353.16	--	--	34.40
373.16	355.37	--	--	363.16	81.22	87.79	64.73		
70	293.16	10.75	--	8.01	40	293.16	--	1.23	--
	303.16	18.27	15.45	13.88		303.16	1.97	2.18	1.04
	313.16	30.50	26.74	23.69		313.16	3.67	4.41	2.12
	323.16	51.18	45.54	41.02		323.16	6.51	8.21	4.51
	333.16	77.51	71.87	64.12		333.16	11.12	13.88	8.79
	343.16	118.88	102.90	100.11		343.16	18.85	23.85	15.89
	363.16	--	--	229.67		363.16	47.69	62.73	43.56
373.16	351.14	--	--	--	--	--	--		

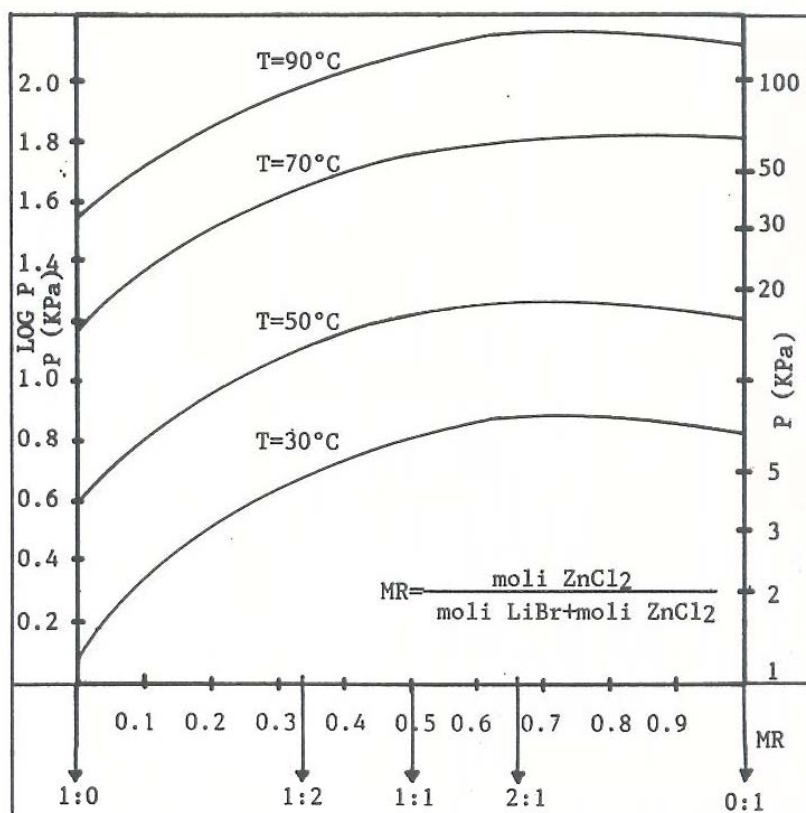


Fig. 5 - Andamento della tensione di vapore di soluzioni di concentrazione prefissata ($X = 50\%$), al variare di MR, per diversi valori della temperatura.

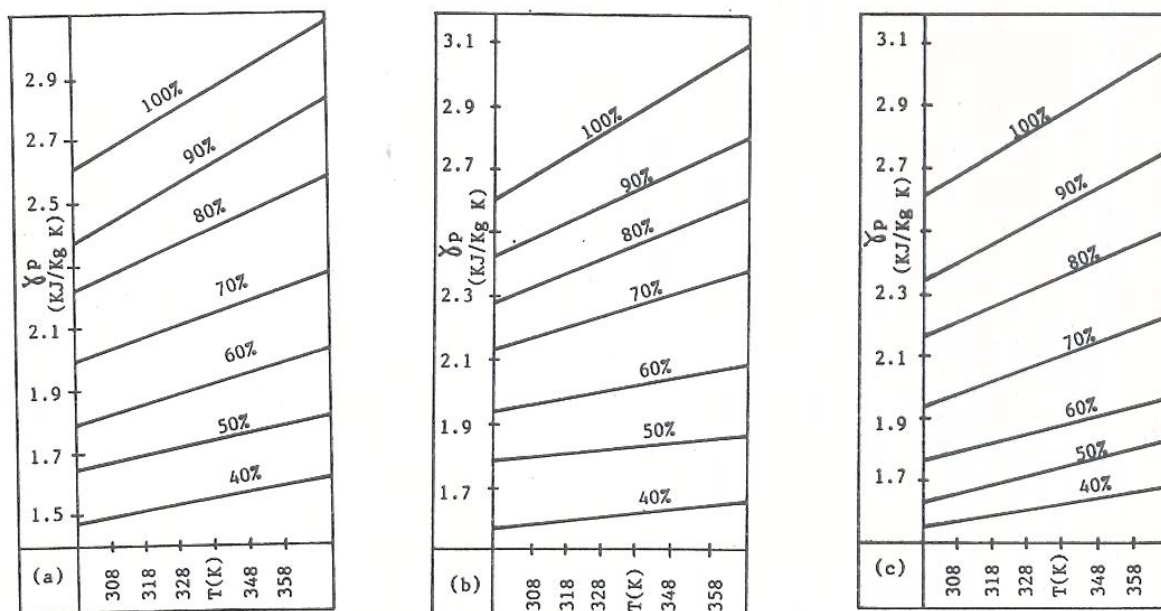


Fig. 6 - Soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$: andamento del calore specifico in funzione della temperatura, per diverse concentrazioni.
 (a) rapporto molare 1:1; (b) rapporto molare 1:2; (c) rapporto molare 2:1.

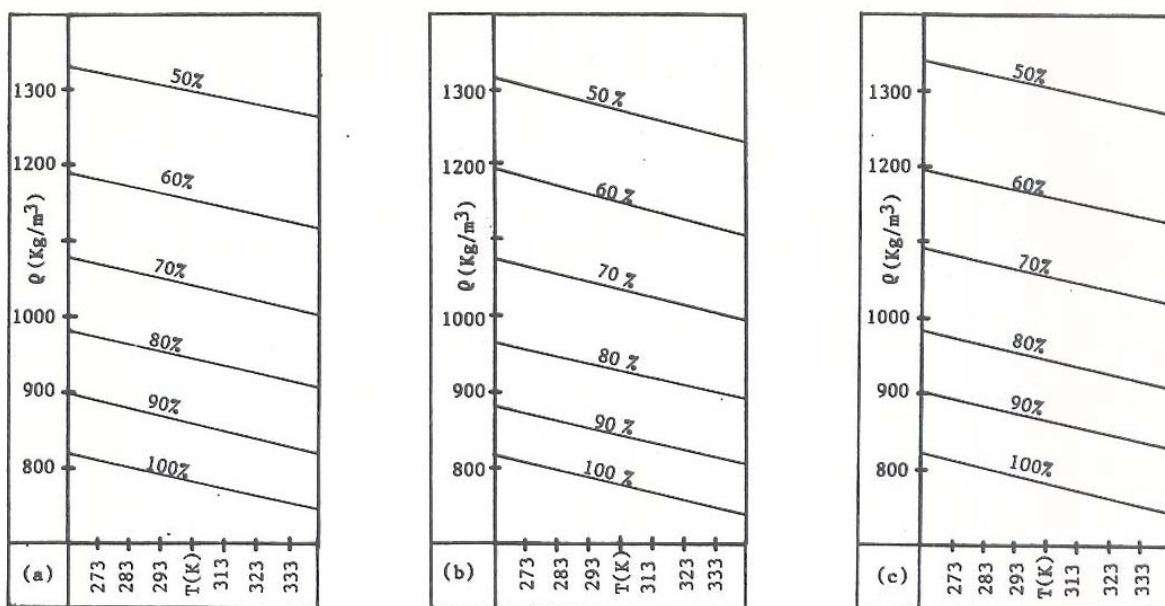


Fig. 7 - Soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$: andamento della densità in funzione della temperatura, per diverse concentrazioni.

(a) rapporto molare 1:1; (b) rapporto molare 1:2; (c) rapporto molare 2:1.

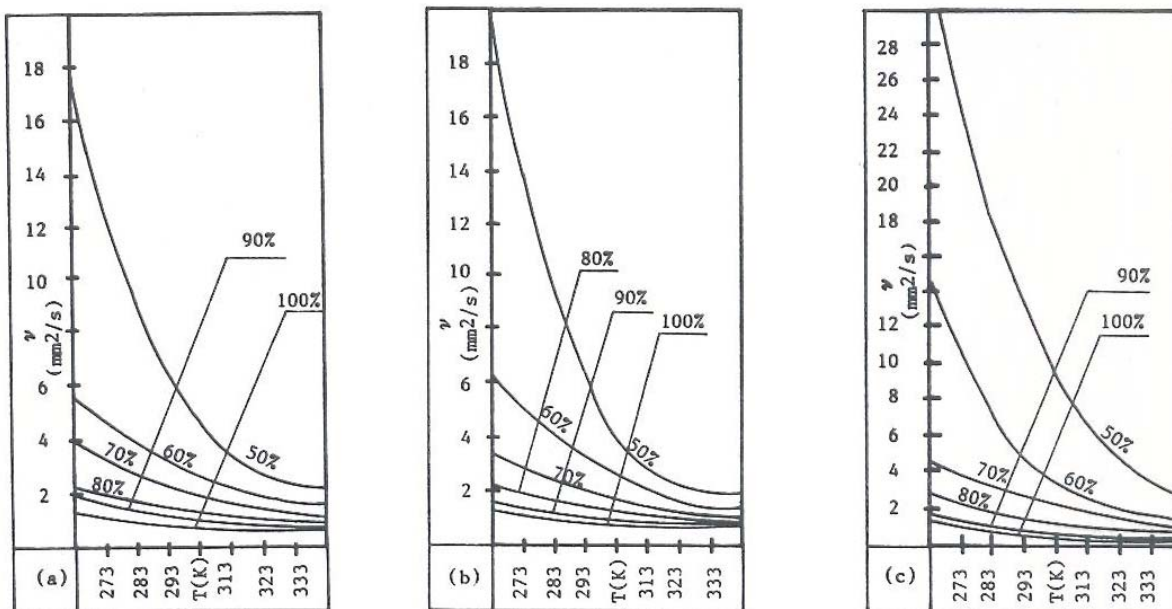


Fig. 8 - Soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$: andamento della viscosità cinematica in funzione della temperatura, per diverse concentrazioni.

(a) rapporto molare 1:1; (b) rapporto molare 1:2; (c) rapporto molare 2:1.

Tab. 3: Soluzioni $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$ (1:1, 1:2, 2:1): densità e viscosità cinematica in funzione della temperatura, per diverse concentrazioni.

X (%)	T (K)	ρ (Kg/m ³)			ν (mm ² /s)		
		1:1	1:2	2:1	1:1	1:2	2:1
100	273.16	809.9	809.9	809.9	1.210	1.210	1.210
	283.16	--	--	--	1.120	1.120	1.120
	293.16	791.1	791.1	791.1	0.999	0.999	0.999
	303.16	--	--	--	0.947	0.947	0.947
	313.16	722.1	722.1	722.1	0.913	0.913	0.913
	323.16	--	--	--	0.867	0.867	0.867
	333.16	754.0	754.0	754.0	--	--	--
90	273.16	883.8	883.0	892.9	1.56	1.49	1.64
	293.16	865.6	864.4	874.9	1.37	1.27	1.29
	303.16	856.1	854.7	866.0	1.11	1.09	1.17
	313.16	846.9	845.3	856.5	1.03	1.00	1.07
	323.16	837.6	836.0	847.2	0.96	0.93	0.99
	333.16	828.6	826.7	838.2	0.91	0.88	0.92
80	273.16	965.0	962.2	968.9	2.05	2.24	2.44
	293.16	947.5	947.7	951.4	1.55	1.75	1.78
	303.16	938.7	938.0	942.6	1.37	1.95	1.56
	313.16	928.8	928.1	933.5	1.23	1.25	1.38
	323.16	919.5	919.3	924.6	1.12	1.12	1.27
	333.16	910.8	909.7	915.8	1.05	1.04	1.18
70	273.16	1062.6	1065.0	1078.7	3.26	2.96	3.99
	293.16	1044.9	1046.0	1061.8	2.27	2.17	3.35
	303.16	1035.8	1035.3	1053.5	2.04	1.67	2.51
	313.16	1026.8	1025.3	1044.9	1.70	1.48	1.89
	323.16	1017.9	1016.4	1035.9	1.51	1.30	1.67
	333.16	1008.9	1007.2	1027.1	1.35	1.18	1.48
60	273.16	1179.2	1184.0	1185.1	4.70	5.06	10.72
	293.16	1162.3	1158.6	1168.9	3.07	3.34	4.37
	303.16	1153.2	1148.8	1160.3	2.62	2.43	3.63
	313.16	1144.3	1138.6	1152.2	2.39	2.15	3.06
	323.16	1135.4	1129.2	1144.2	2.13	1.77	2.75
	333.16	1126.8	1119.9	1135.8	2.03	1.56	2.30
50	273.16	1321.9	1303.04	1327.3	13.38	14.35	24.07
	293.16	1305.7	1280.9	1311.4	5.76	5.29	13.33
	303.16	1297.4	1270.2	1303.2	4.56	4.06	11.13
	313.16	1288.6	1259.7	1294.4	3.76	3.25	5.72
	323.16	1280.5	1250.0	1286.9	3.17	2.69	4.68
	333.16	1272.6	1240.5	1278.9	2.70	2.29	3.95

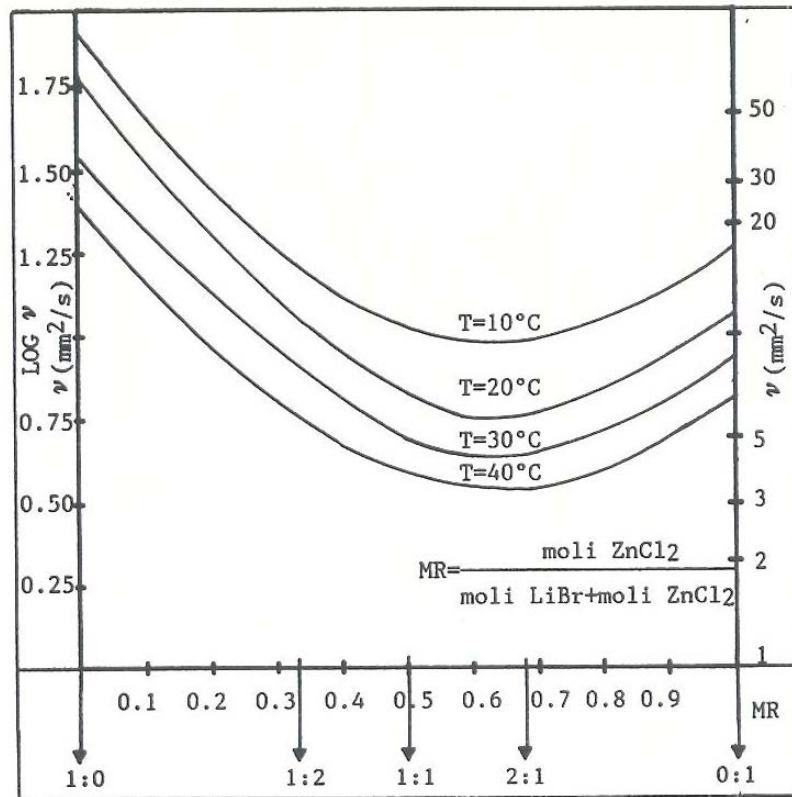


Fig. 9 - Andamento della viscosità cinematica di soluzioni di concentrazione prefissata ($X=50\%$), al variare di MR, per diversi valori della temperatura.

Tab. 4: Natura ed entità degli errori di misura [10], [15].

MISURA		ERRORE ASSOLUTO MASSIMO
PTX	pressione	$\pm 3 \times 10^2$ Pa
	concentrazione	$\pm 0.04 \times 10^{-3}$ Kg
	temperatura	± 0.05 K
CALORE SPECIFICO		± 0.0361 KJ/KgK
DENSITA'		± 0.63 Kg/m ³
VISCOSITA' CINEMATICA		$\pm 0.02 \times 10^{-6}$ m ² /s

Tab. 5: Soluzione $\text{CH}_3\text{OH-LiBr-ZnCl}_2$ (rapporto in massa tra i due sali 1:1): confronto tra i valori di tensione di vapore determinati nell'ambito del presente lavoro e quelli reperiti in Letteratura.

T (K)	TENSIONE DI VAPORE (KPa)			
	X = 100%		X = 50%	
	P(1)	P(2)	P(1)	P(3)
283.16	7.8	7.9	--	--
293.16	13.4	13.9	--	--
303.16	22.0	21.4	4.89	5.01
313.16	36.2	36.3	--	--
323.16	--	--	14.68	14.79
343.16	129.0	128.8	50.12	48.90
363.16	--	--	105.25	99.13
373.16	365.9	363.1	--	--
393.16	690.3	671.1	--	--

(1) G. Moncada Lo Giudice, F. Asdrubali, C. Buratti

(2) H.D. Eicholtz [12]

(3) S. Iyoki, T. Takigawa, T. Uemura

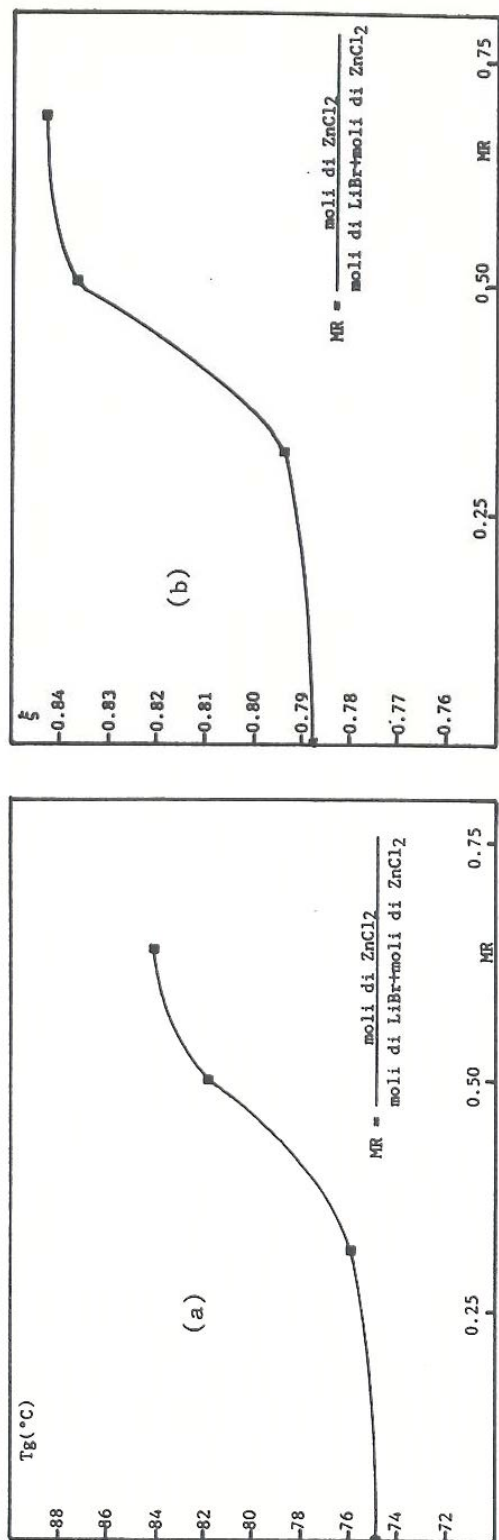


Fig. 10 - Prestazioni di una macchina frigorifera ad assorbimento operante con le miscele esaminate: andamento della temperatura del generatore Tg (a) e dell'effetto utile ξ (b), in funzione del rapporto MR.

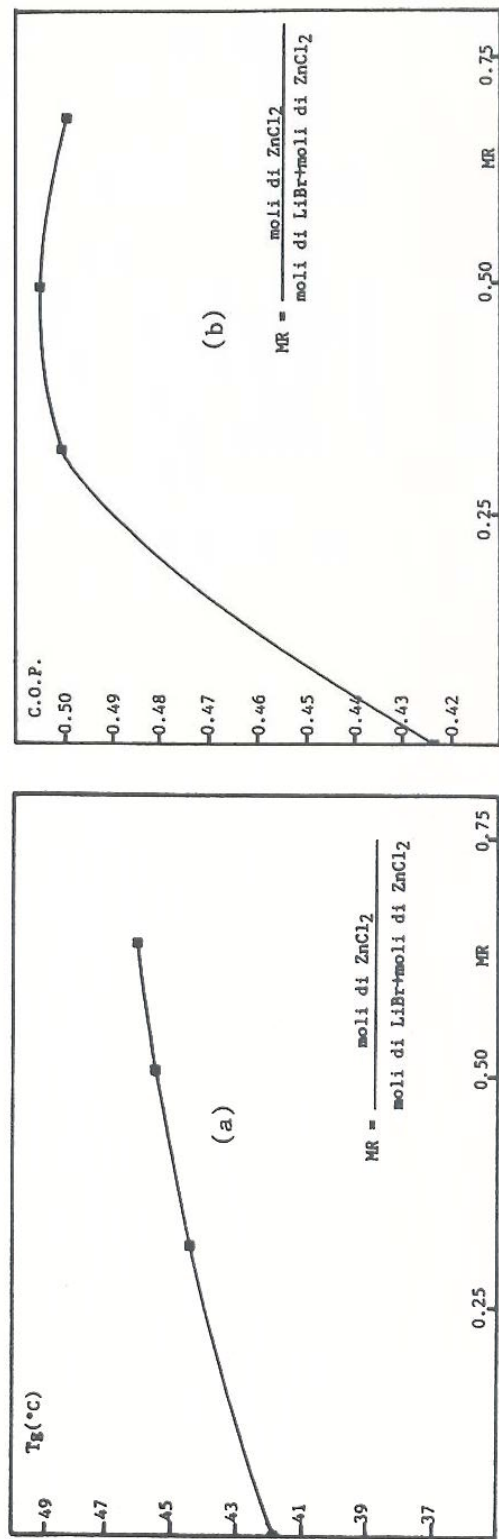


Fig. 11 - Prestazioni di un trasformatore di calore ad assorbimento operante con le miscele esaminate: andamento della temperatura del generatore Tg (a) e del coefficiente di prestazione C.O.P. (b), in funzione del rapporto MR.

Tab. 6: Confronto tra i valori della densità e del calore specifico del Metanolo puro determinati nell'ambito del presente lavoro e quelli reperiti in Letteratura.

T (K)	DENSITA'		CALORE SPECIFICO	
	$\rho(1)$ (Kg/m ³)		$\gamma_p(1)$ (KJ/KgK)	
283.16	800.49	800.81	2.418	2.432
293.16	791.19	791.47	2.495	2.489
303.16	781.88	782.13	2.572	2.545
313.16	772.58	772.79	2.650	2.602
343.16	744.67	744.76	2.881	2.771
373.16	--	--	3.113	2.941

(1) G. Moncada Lo Giudice, F. Asdrubali, C. Buratti
(2) R.H. Perry, D. Green [13]

Tab.7: Soluzioni CH₃OH-LiBr-ZnBr₂ e CH₃OH-LiBr-ZnCl₂ (1:2, 2:1): confronto tra i valori della differenza di temperatura che si ottiene a pressione costante e per differenze di concentrazione assegnate.

ΔX (%)	ΔT (°C) (P = 15.85KPa)			
	1 : 2		2 : 1	
	CH ₃ OH- LiBr-ZnBr ₂	CH ₃ OH- LiBr-ZnCl ₂	CH ₃ OH- LiBr-ZnBr ₂	CH ₃ OH- LiBr-ZnCl ₂
100-90	3.39	2.21	2.63	2.20
90-80	2.16	2.70	3.63	3.15
80-70	2.63	2.75	2.95	4.15
70-60	2.68	6.13	4.69	5.72
60-50	4.58	10.45	7.31	13.15
50-45	2.81	7.36	8.72	12.03
45-40	2.87	7.70	8.66	8.72