

GIORGIO NEBBIA

ISTITUTO DI MERCEOLOGIA DELLA UNIVERSITÀ DI BARI

**IL PROBLEMA DELL'ACQUA NELLE ZONE ARIDE:
L'ESTRAZIONE DELL'ACQUA DALL'ATMOSFERA**

Estratto dagli ANNALI
della Facoltà di Economia e Commercio
Nuova Serie - Volume XVII

Il problema della produzione di acqua dolce per le zone aride è talmente importante che, specialmente in questi anni, sono stati e vengono condotti numerosi studi; la maggioranza di questi studi riguarda la trasformazione delle acque salmastre (mare, acque del sottosuolo e superficiali), spesso disponibili anche nelle zone aride, in acqua dolce con vari sistemi.

I principali sistemi di demineralizzazione rientrano in alcune grandi classi (1):

a) Distillazione. Il consumo di energia varia da 650 a circa 50 kcal/kg. di acqua a seconda del sistema di distillazione (a semplice o multiplo effetto, a termocompressione, ecc.); per la distillazione si può utilizzare l'energia solare (generalmente in impianti a semplice effetto, utilizzando per la distillazione al massimo il 50 per cento dell'energia disponibile) oppure si utilizzano combustibili convenzionali o nucleari. Gli impianti più efficienti diventano tali quando la quantità di acqua distillata supera il metro cubo al giorno; i distillatori solari forniscono acqua dolce per ora in quantità non superiore al metro cubo al giorno.

b) Congelamento. Il consumo di energia per ricavare 1 kg di ghiaccio povero di sali da acqua salmastra è circa 80 kfrigorie; poichè è possibile ottenere circa 5 kfrigorie, nelle migliori condizioni meccaniche, da 1 kcal. di energia elettrica o meccanica, il consumo

(1) « Symposium on saline water », National Academy of Science-National Research Council Publication No. 568, 1958. G. NEBBIA, « *La trasformazione delle acque salmastre in acqua dolce* », Boll. Sci. Fac. Chim. Ind. Bologna, 16, 47-66 (1958). Per un'analisi comparata dei diversi sistemi di demineralizzazione, in relazione ai consumi di energia, cfr.: K. C. D. HICKMAN, « *The water conversion problem* », Ind. Eng. Chem., 48, 7 A, Aprile 1958. Più recenti notizie sullo sviluppo dei sistemi di demineralizzazione delle acque salmastre si trovano in: « Saline water conversion report for 1960 », U. S. Department of the Interior, Office of Saline Water, Washington, D. C., Gennaio 1961.

di energia potrebbe scendere intorno alle 16 kcal/kg. di acqua parzialmente demineralizzata e sarebbe molto attraente. Non si hanno però finora dei sistemi semplici ed efficienti per separare il ghiaccio dall'acqua salmastra concentrata circostante ed il processo non si può ancora considerare applicabile su larga scala.

c) Elettrodialisi. Il consumo di energia dipende dalla quantità di sali disciolti e dal contenuto in sali desiderato nell'acqua finale, dalle caratteristiche dell'impianto e delle membrane e dalla produzione giornaliera. I dati ottenuti con gli impianti esistenti indicano un consumo di circa 5 kcal. di energia elettrica per kg. di acqua per una demineralizzazione da 5 gr/kg. a 0,5 gr/kg. e per una produzione da 10 a 60 mc/giorno di acqua parzialmente demineralizzata.

I sistemi elencati differiscono sia per la quantità di energia consumata per unità di peso di acqua dolce ottenuta sia per la forma di energia impiegata nel sistema di separazione.

Negli impianti di distillazione si impiega energia termica; nel caso della refrigerazione si impiega energia meccanica o energia termica; nel caso dell'elettrodialisi energia termica per azionare dei turbogeneratori di energia elettrica.

In tutti i casi occorre disporre di acqua salmastra da demineralizzare e si presentano gravi problemi di incrostazioni.

Nella presente nota viene portato un contributo al problema dell'ottenimento di acqua dolce da una fonte praticamente illimitata di acqua, cioè l'atmosfera, nella quale l'acqua si trova allo stato di vapore in quantità più o meno grandi e variabili che si aggirano, alla saturazione, per temperature fra 15° e 40°, fra 10 e 50 gr. per kg. di aria secca, cioè circa fra 11 e 55 gr. per mc. di aria.

L'acqua che sovrasta un mq di superficie terrestre può raggiungere il valore di centinaia di kg. ed è molte volte superiore all'acqua che raggiunge in un anno la stessa superficie sotto forma di pioggia.

Una manifestazione tangibile della presenza dell'acqua nell'atmosfera è data dalla rugiada che si osserva in seguito ad un abbassamento della temperatura con conseguente diminuzione della solubilità del vapor d'acqua nell'aria; questo fenomeno della rugiada si verifica anche in molte zone aride e recentemente Masson (2) ha esaminato

(2) H. MASSON, « *La rosée et les possibilités de son utilization* », Institute Haute Etudes, Ecole Sup. Dakar, 1, 45-88 (1954).

alcuni aspetti della formazione della rugiada nei paesi in cui si hanno forti escursioni di temperatura dal giorno alla notte ed ha ricordato le « fontane » che, nella leggenda o nella realtà, avrebbero permesso di ricavare acqua dolce dall'aria nelle città scomparse ai margini dei deserti.

Il ricupero dell'acqua dall'atmosfera può essere fatto seguendo due strade distinte:

a) per refrigerazione dell'aria in modo da abbassarne la temperatura sotto il punto di rugiada;

b) per adsorbimento dell'acqua su una sostanza adsorbente solida o da parte di soluzioni igroscopiche e riscaldamento di queste sostanze per far evaporare l'acqua.

L'acqua che si separa dall'atmosfera è praticamente priva di sali e nella separazione non si hanno quei fenomeni di incrostazioni e di corrosione che si hanno nella demineralizzazione delle acque salmastre.

Il problema dell'ottenimento dell'acqua dall'aria è stato esaminato, soprattutto nei suoi aspetti storici, da Lejeune e Savornin nel 1953 (3) e nel 1951 è stato concesso in Italia un brevetto (4) per l'ottenimento di acqua dall'atmosfera ma tale brevetto indica soltanto che questo è possibile ed elenca, senza nessun dettaglio, alcuni sistemi con cui è possibile raffreddare l'aria portandone la temperatura sotto il punto di rugiada. Pare che sia stato anche costruito un prototipo ma non sono riuscito ad avere altre notizie nè sono disponibili dati su rendimenti e consumi di energia.

Questa mancanza di dati sperimentali sul consumo di energia del processo di estrazione dell'acqua dall'atmosfera e sulla quantità di acqua ottenibile in relazione alle condizioni fisiche dell'aria da trattare mi ha indotto ad intraprendere nel 1959 una serie di ricerche su questo problema e ne vengono ora riferiti i primi risultati.

Il sistema di estrazione dell'acqua per adsorbimento su corpi solidi o in soluzioni igroscopiche presenta senza dubbio grande interesse

(3) G. LEJEUNE e J. SAVORNIN, « *Recovering water vapor from the atmosphere* », Trans. Conf. Use of Solar Energy, University of Arizona, Vol. III, Parte II, pag. 138 (1955).

(4) A. BOCCHI BIANCHI e A. PETRONI, « *Procedimento e dispositivo per la estrazione dell'acqua dall'aria atmosferica* », Brevetto Italiano n. 462.809, Depos. 13 Luglio 1949.

e buone prospettive (5). Esso consiste nel portare l'aria umida a contatto con corpi solidi (come gel di silice) o con soluzioni igroscopiche (come soluzioni di glicoli, soluzioni acquose di bromuro o cloruro di litio, ecc.) che assorbono l'umidità.

L'adsorbente, saturo di acqua, viene rigenerato scaldandolo e facendo trascinare via il vapore di acqua da una corrente d'aria che viene scaricata all'esterno dello spazio da deumidificare. E' evidente che l'unico consumo di energia, al limite, è il calore necessario per far evaporare l'acqua dall'adsorbente — e questo calore si può considerare praticamente uguale al calore latente di evaporazione — ed il processo è perciò simile a quello di distillazione. Come fonte di energia potrebbe essere impiegata l'energia solare.

Gli impianti ad adsorbenti solidi sono più efficienti quando la quantità di vapore nell'aria è inferiore a 10 gr/kg. di aria secca mentre quelli con soluzioni igroscopiche sono da preferire nelle condizioni di elevate temperature dell'aria ed elevati contenuti di vapor d'acqua (6).

Le sostanze igroscopiche adatte per impianti di separazione dell'acqua dall'atmosfera devono avere le seguenti caratteristiche generali:

- a) devono avere bassa tensione di vapore alle temperature in cui si opera e devono cristallizzare a temperatura almeno 10 gradi inferiore a quella di funzionamento;
- b) non devono essere corrosive;
- c) devono essere inodori, non tossiche e non infiammabili;
- d) devono essere stabili e i composti chimici disciolti non si devono decomporre nè devono vaporizzare;
- e) devono avere bassa viscosità e buone caratteristiche di scambio termico;
- f) devono poter essere rigenerate alla temperatura ottenibile con vapore a 0,1 atmosfera;
- g) devono essere fabbricabili facilmente e devono avere basso prezzo.

(5) W. L. Ross, « *Dehumidification by solid adsorbents* », Symposium Session on Dehumidification, Am. Soc. Heating Air-Conditioning Engrs., New York, 1957, 10-13.

(6) E. W. GIFFORD, « *Dehumidification by liquid sorbents* », Symposium Session on Dehumidification, Am. Soc. Heating Air-Conditioning Engrs., New York, 1957, 13-16.

Benchè non esistano composti che assommano tutte queste caratteristiche tuttavia sono stati costruiti impianti con soluzioni igroscopiche e altri con adsorbenti solidi che realizzano una estrazione dell'acqua dall'atmosfera non al fine di ricuperare l'acqua ma al fine di diminuire negli ambienti e nei magazzini l'eccessiva umidità dell'aria che è nociva alla conservazione delle derrate e al benessere umano.

Con opportune modificazioni questi impianti possono essere utilizzati anche per ricuperare acqua dolce dall'atmosfera, se si fa condensare l'acqua, durante la rigenerazione dell'adsorbente, in modo da ottenerla in forma liquida.

Benchè questo sistema, come si è accennato, abbia senza dubbio interessanti prospettive soprattutto se associato ad impianti ad energia solare, esso è tuttavia meccanicamente complicato e le ricerche qui descritte sono state condotte usando l'altro sistema di estrazione dell'acqua dall'atmosfera, cioè quello per refrigerazione.

L'impostazione degli esperimenti risultava notevolmente semplice anche perchè, dopo il 1950, sono apparsi sul mercato negli Stati Uniti vari apparecchi commerciali chiamati « deumidificatori meccanici » (7) (8) che hanno come scopo l'abbassamento dell'umidità atmosferica e non l'ottenimento di acqua; in alcuni di questi deumidificatori l'acqua condensata viene raccolta in vaschette ma non rappresenta comunque il prodotto cercato. Questi deumidificatori con qualche adattamento si prestano bene per le ricerche progettate e contengono gli elementi essenziali necessari anche per eventuali impianti per l'ottenimento di acqua dolce su larga scala.

Esaminiamo quindi lo schema di tale sistema che può essere rappresentato, nei suoi elementi essenziali, nella Figura 1.

L'impianto è costituito essenzialmente da un frigorifero del quale in 1 è indicato l'evaporatore e in 2 il condensatore. L'aria aspirata dal ventilatore incontra l'evaporatore 1; la sua temperatura si abbassa e, se diventa inferiore al punto di rugiada, una parte dell'acqua che l'aria contiene si condensa sulla superficie dell'evaporatore. L'aria

(7) F. G. PECK, « *Mechanical dehumidifiers come of age* », Refrigerat. Engineering, 60, 956 (1952).

(8) W. E. ELLIS, « *Dehumidification by mechanical refrigeration* », Symposium Session on Dehumidification, Am. Soc. Heating Air-Conditioning Engrs., New York, 1957, 5-9.

fredda adesso incontra il condensatore il quale cede calore all'aria. L'aria esce così in *D* circa alla stessa temperatura con cui era entrata ma con un diminuito contenuto di umidità.

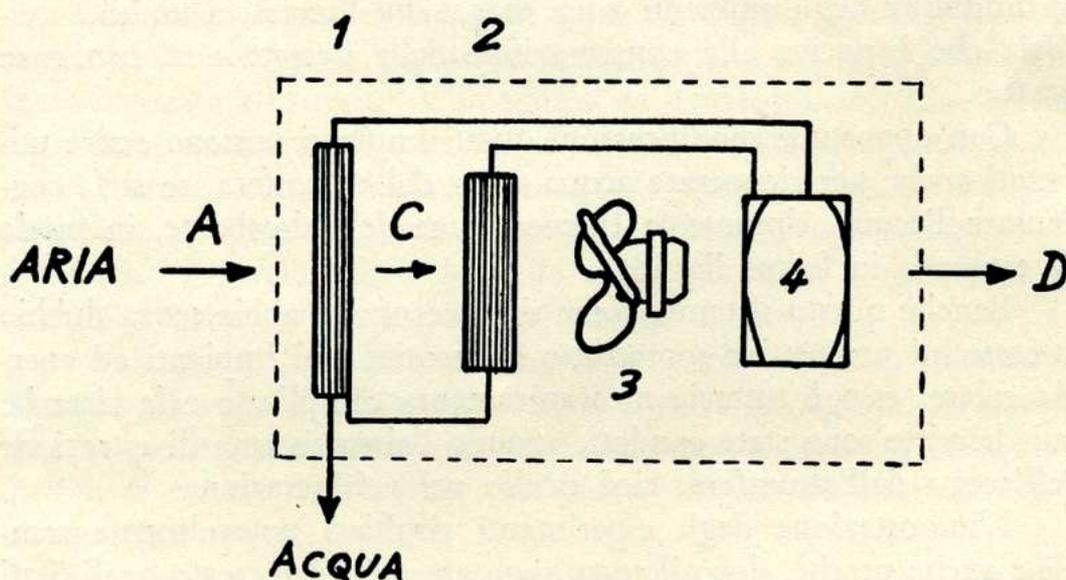


Fig. 1

Un esame più accurato del processo può essere fatto seguendo la variazione delle condizioni fisiche dell'aria nei diversi stadi del processo su una carta psicrometrica (Figura 2). Le carte psicrometriche, come è noto, forniscono le condizioni fisiche dell'aria in funzione della temperatura.

Immaginiamo che le condizioni dell'aria entrante siano quelle descritte dal punto *A* della carta psicrometrica. Dopo essere passata attraverso l'evaporatore 1 immaginiamo che l'aria presenti idealmente le condizioni descritte dal punto *C* della stessa carta; l'aria cioè è stata raffreddata (con sottrazione di calore sensibile) nel tratto *AB* finché non ha raggiunto il punto di rugiada *B*, quindi è stata raffreddata e deumidificata (con sottrazione di calore sensibile e calore latente) nel tratto *BC*.

L'aria adesso incontra il condensatore 2 del sistema frigorifero dal quale condensatore può idealmente riassorbire il calore sensibile corrispondente alla trasformazione *CD*; all'uscita l'aria si trova pertanto nelle condizioni descritte dal punto *D*, alla stessa temperatura (bulbo secco) alla quale è entrata, privata però della quantità di acqua

corrispondente al tratto *A-D* sulla scala delle quantità di acqua della carta psicrometrica. Il consumo di energia nella trasformazione è data, al limite, dalla differenza di entalpia dell'aria nei due stati *A* e *D*.

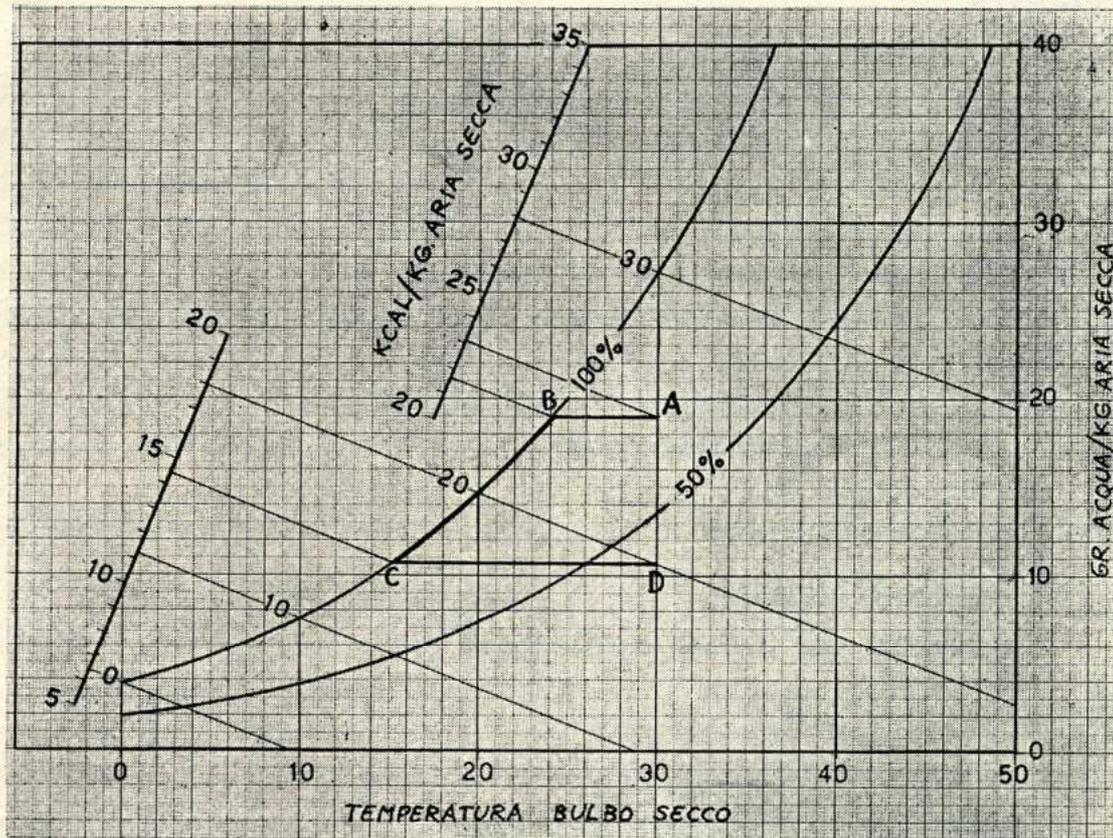


Fig. 2

Consideriamo ora qualche dato numerico relativo alla precedente trasformazione ideale. Immaginiamo per esempio di studiare l'ottenimento di acqua da aria alla temperatura di 30° (bulbo secco) col 70% di umidità relativa. Il contenuto in acqua è 19,0 gr/kg. di aria secca e l'entalpia è 23,0 kcal/kg. di aria secca. Per raggiungere il punto di rugiada a contenuto di acqua costante, cioè il punto *B*, alla temperatura di 24° (bulbo umido e bulbo secco), all'aria vanno sottratte $(23,0 - 21,6) = 1,4$ kcal/kg., che corrispondono al calore sensibile della trasformazione. E' noto infatti che il calore specifico dell'aria è circa 0,24 kcal/kg. e il prodotto $(30^\circ - 24^\circ) \times 0,24$ corrisponde appunto alla differenza di entalpia osservata di 1,4 kcal/kg. di aria secca.

Immaginiamo ora che a contatto con l'evaporatore del frigorifero l'aria venga ulteriormente raffreddata e subisca anche la trasformazione BC raggiungendo un punto C in cui è ancora satura con temperatura (bulbo umido e bulbo secco) di 15° . Il suo contenuto di acqua è adesso $10,7$ gr/kg. e la sua entalpia di $14,4$ kcal/kg. di aria secca.

Si è ottenuta così una separazione di $(19,0 - 10,7) = 8,3$ gr. di acqua per kg. di aria secca e una diminuzione di entalpia di $(21,6 - 14,4) = 7,2$ kcal/kg. Di questa diminuzione di entalpia $(24^\circ - 15^\circ) \times 0,24 = 2,2$ kcal/kg. sono dovute al calore sensibile della trasformazione BC e $(7,2 - 2,2) = 5,0$ kcal/kg. sono dovute al calore latente di condensazione degli $8,3$ gr. di acqua e questo valore corrisponde appunto a 600 kcal/kg. di acqua che è il calore latente di condensazione dell'acqua.

Il calore totale sottratto all'aria risulta quindi $(1,4 + 7,2) = 8,6$ kcal/kg. per la trasformazione ABC ; può essere interessante notare che il calore latente rappresenta il $\frac{5,0}{8,6} = 58\%$ del calore totale in gioco mentre il calore sensibile rappresenta il rimanente 42% .

Prendendo, per il caso considerato, un volume specifico medio di $0,875$ mc/kg., avremo che occorre sottoporre a raffreddamento circa $0,875$ mc. di aria per ottenere $8,3$ gr. di acqua, cioè, in cifra tonda, 105 mc. di aria per ottenere 1 kg. di acqua.

Esaminiamo ora l'ordine di grandezza dei consumi di energia relativi alla deumidificazione di aria satura.

Se si fosse partiti da aria satura alla temperatura di 24° (bulbo umido e bulbo secco), cioè dal punto B della carta psicrometrica della Fig. 2, per arrivare al punto C il calore latente sottratto avrebbe rappresentato il $\frac{5,0}{7,2} = 70\%$ del calore totale sottratto all'aria.

Se si fosse condotto il processo di estrazione dell'acqua abbassando la temperatura dell'aria B a 10° , anzichè a 15° (temperature bulbo umido e bulbo secco) si sarebbero ottenuti $(19,0 - 7,6) = 11,4$ gr. di acqua per kg. di aria secca con un consumo di $3,4$ kcal/kg. di calore sensibile e di $6,9$ kcal/kg. di calore latente. Il calore latente pertanto, portando l'aria a temperatura più bassa, rappresenterebbe ancora il 69% del calore totale della trasformazione per cui il rapporto fra calore sensibile e calore latente non appare influenzato notevolmente dalla temperatura alla quale si raffredda l'aria.

Raffreddando l'aria a temperatura più bassa si ottiene una maggiore quantità di acqua, ovviamente, per unità di volume di aria trattata.

Comunque il rapporto fra calore sensibile e calore latente è un importante elemento di giudizio nel processo di estrazione dell'acqua dall'aria.

Un recupero del calore sensibile si può realizzare portando l'aria *C*, del primo dei nostri esempi, all'uscita dell'evaporatore, a contatto col condensatore del sistema frigorifero; il condensatore può essere raffreddato restituendo, al limite, tutto il calore sensibile.

In questo caso l'aria raggiunge lo stato *D* con la stessa temperatura (bulbo secco) di 30° che aveva prima del trattamento e con un'entalpia di 18,0 kcal/kg. di aria secca. Il consumo di energia della trasformazione ABCD risulterebbe pertanto $(23,0 - 18,0) = 5,0$ kcal/kg. di aria secca, cioè all'aria sarebbe stato necessario, nel complesso, sottrarre, al limite, soltanto il calore latente di condensazione degli 8,3 gr. di acqua separata per kg. di aria (calore corrispondente appunto a 600 kcal/kg. di acqua separata).

Utilizzando impianti capaci di fornire 5 kfrigorie per ogni kcal di energia meccanica, il consumo di energia relativo all'impianto frigorifero sarà di $\frac{600}{5} = 120$ kcal/kg. di acqua separata.

In altre parole un motore della potenza di 1 HP potrebbe permettere di ottenere 5,3 litri di acqua all'ora, sottoponendo a raffreddamento circa 550 mc. di aria, con un consumo (supponendo un rendimento del motore elettrico del 100%) di 0,75 kwh per circa 5 litri di acqua. Calcolando il prezzo dell'energia elettrica a 20 Lire/kwh il costo dell'acqua separata si aggirerebbe sulle 3 Lire al litro.

Se si immagina che il compressore del frigorifero venga azionato da un motore che brucia nafta con un potere calorifico di 10.500 kcal/kg. e con un rendimento del 33%, il motore da 1 HP consumerebbe circa $\frac{641}{0,33 \times 10.500} = 0,180$ kg. di combustibile all'ora per ottenere 5,3 kg. di acqua. Supponendo per la nafta un prezzo di 15 Lire/kg. il costo dell'acqua sarebbe di poco più di 50 centesimi al litro.

In altri termini con 1 kg. di combustibile si potrebbero ottenere circa 30 litri di acqua mentre con un distillatore a semplice effetto,

anche immaginando un ricupero di calore perfetto, si otterrebbero $\frac{10.500}{600} = 17,5$ litri circa di acqua (disponendo naturalmente di acqua da distillare).

Ovviamente la cifra di 50 centesimi al litro come costo dell'acqua ricavata dall'atmosfera è un valore limite perchè un impianto praticamente potrebbe fornire risultati ben diversi. Hickman (lavoro citato nella nota 1) nel discutere questa prospettiva considerava la estrazione dell'acqua dall'atmosfera come valida solo in condizioni di emergenza.

Peraltro il valore di 0,50 Lire/litro sembra attraente e si è ritenuto interessante esaminare quanto ci si può avvicinare a questo valore. Le ricerche sperimentali qui descritte si proponevano proprio di studiare le condizioni in cui si ha praticamente separazione di acqua dall'atmosfera e ciò al fine di determinare la quantità di acqua separata dall'aria quando questa presenta diverse condizioni di temperatura e di umidità ed il consumo di energia che accompagna queste trasformazioni.

PARTE SPERIMENTALE

Esistono in commercio diversi apparecchi deumidificatori che si propongono di abbassare l'umidità dell'aria al fine di una migliore conservazione delle derrate, di un maggior benessere nei locali di abitazione, ecc.

Per le presenti ricerche si è utilizzato uno di questi deumidificatori, prodotto dalla Frigidaire Division della General Motors Inc. e contrassegnato con la sigla *BO-1*.

Il deumidificatore è costituito da un impianto frigorifero della potenza di 1/8 HP (circa 95 watt), disposto secondo lo schema della Fig. 1; l'evaporatore ed il condensatore del frigorifero sono costituiti da serpentine alettate disposte parallelamente a circa 5 cm. di distanza, in senso perpendicolare alla direzione del moto dell'aria. La sezione del condotto in cui si muove l'aria è di 24 cm. x 20 cm.

L'aria, aspirata da un ventilatore, incontra gli elementi del frigorifero; l'acqua condensata a contatto con l'evaporatore viene avviata in un tubo e da qui ad un recipiente di raccolta o, nel nostro caso, ad un recipiente graduato per la misura della quantità separata.

Il consumo di energia è stato misurato con un contatore che permette la lettura approssimata a 0,01 kwh.; le condizioni dell'aria entrante nel deumidificatore sono state misurate in un primo tempo con una coppia di termometri a bulbo umido e bulbo secco e, successivamente, con un termoigrometro registratore.

Le misure sono state effettuate a Bari su una terrazza ad un centinaio di metri dal mare e il rilevamento dei dati avveniva da tre a sei volte al giorno.

Sono state anche rilevate le condizioni dell'aria all'uscita del deumidificatore ma questi dati non sono significativi perchè fra il condensatore del frigorifero e lo strumento di misura nell'apparecchiatura impiegata si trovava il motore elettrico che scaldava l'aria deumidificata.

Per oltre 18 mesi sono stati rilevati i dati relativi alle condizioni dell'aria sottoposta a deumidificazione, alla quantità di acqua separata e all'energia consumata.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Esaminiamo dapprima l'ordine di grandezza della quantità di acqua ottenibile e dei consumi di energia nei vari mesi dell'anno. Questi dati sono contenuti nella Tabella I e mostrano che è stata osservata una produzione di acqua settimanale fra 6 e 20 litri, con consumi di energia praticamente costanti fra 15 e 20 kwh. per settimana.

Il consumo di energia per unità di peso di acqua, nelle singole settimane, varia fra 1000 e 1500 kcal/kg., con punte a 3000 e oltre kcal/kg. in settimane con condizioni dell'aria particolarmente sfavorevoli (bassa umidità relativa) (Il minimo termodinamico come è noto è di 600 kcal/kg.).

Nel corso di 18 mesi, correlando il consumo di energia con la quantità di acqua effettivamente condensata fra un rilevamento e l'altro, si sono osservati consumi di energia fino a 0,9 — 1,0 kwh/kg. (780 - 860 kcal/kg.), nelle migliori condizioni di umidità relativa (superiore al 70%), in generale durante la notte.

Un esempio della relazione fra dati termoigrometrici dell'aria sottoposta a deumidificazione, quantità di acqua separata e consumo di energia è dato nelle Figure 3, 4, 5, 6, relative ai mesi di giugno-luglio 1961.

TABELLA I

Produzione di acqua e consumo di energia nelle varie settimane di osservazione del funzionamento del deumidificatore.

Settimana *		Consumo di energia kwh	Acqua separata kg.	Consumo specifico di energia	
dal	al			kwh/kg.	kcal/kg.
22-2-60	29-2-60	17,86	6,60	2,69	2300
29-2	7-3	16,89	4,27	3,95	3400
7-3	14-3	16,22	10,99	1,47	1270
14-3	21-3	17,89	8,01	2,23	1920
21-3	28-3	17,17	10,47	1,65	1420
28-3	4-4	15,72	6,31	2,50	2150
4-4	11-4	19,09	5,27	3,61	3120
2-5	9-5	16,27	13,28	1,22	1050
9-5	16-5	20,21	4,35	4,63	4000
16-5	23-5	18,53	5,74	3,23	2800
23-5	30-5	19,93	1,93	10,3	8800
30-5	6-6	20,07	5,28	3,82	3300
6-6	13-6	19,68	14,01	1,40	1200
13-6	20-6	20,06	13,05	1,54	1330
20-6	27-6	19,43	9,63	2,00	1720
27-6	4-7	20,52	15,08	1,36	1170
4-7	11-7	20,23	9,49	2,13	1830
11-7	18-7	20,32	12,26	1,65	1420
18-7	25-7	20,85	5,38	3,89	3320
25-7	1-8	20,16	9,51	2,12	1830
1-8	8-8	21,36	9,57	2,23	1920
22-8	29-8	20,78	7,52	2,76	2360
29-8	5-9	21,16	15,12	1,39	1200
5-9	12-9	19,42	12,68	1,52	1310
12-9	19-9	20,70	16,11	1,28	1100
19-9	26-9	19,26	16,96	1,21	1050
26-9	3-10	19,76	17,35	1,14	980
3-10	10-10	19,60	22,31	0,88	760
10-10	17-10	18,29	14,39	1,27	1090
17-10	24-10	17,99	14,49	1,24	1060
24-10	31-10	19,35	19,62	0,98	840
31-10	7-11	18,45	16,34	1,12	960
7-11	14-11	17,40	15,45	1,13	970
14-11	21-11	16,55	11,55	1,43	1230
21-11	28-11	16,63	14,64	1,14	980
17-4-61	24-4-61	13,02	11,91	1,10	945
(solo sei giorni)					
24-4	1-5	28,75	25,56	1,12	960
1-5	8-5				
8-5	15-5	14,33	10,45	1,36	1170
15-5	22-5	14,68	9,08	1,61	1390
22-5	29-5	15,38	13,63	1,11	950
29-5	5-6	17,07	11,20	1,50	1290
5-6	12-6	15,04	17,98	0,84	720
12-6	19-6	16,79	18,14	0,92	790
19-6	26-6	17,62	21,12	0,84	720
3-7	10-7	17,72	17,08	1,03	890
10-7	17-7	18,30	11,83	1,34	1150
17-7	24-7	17,67	17,12	1,03	890

(*) I periodi settimanali vanno dalle 8 di un lunedì alle 8 del lunedì successivo.

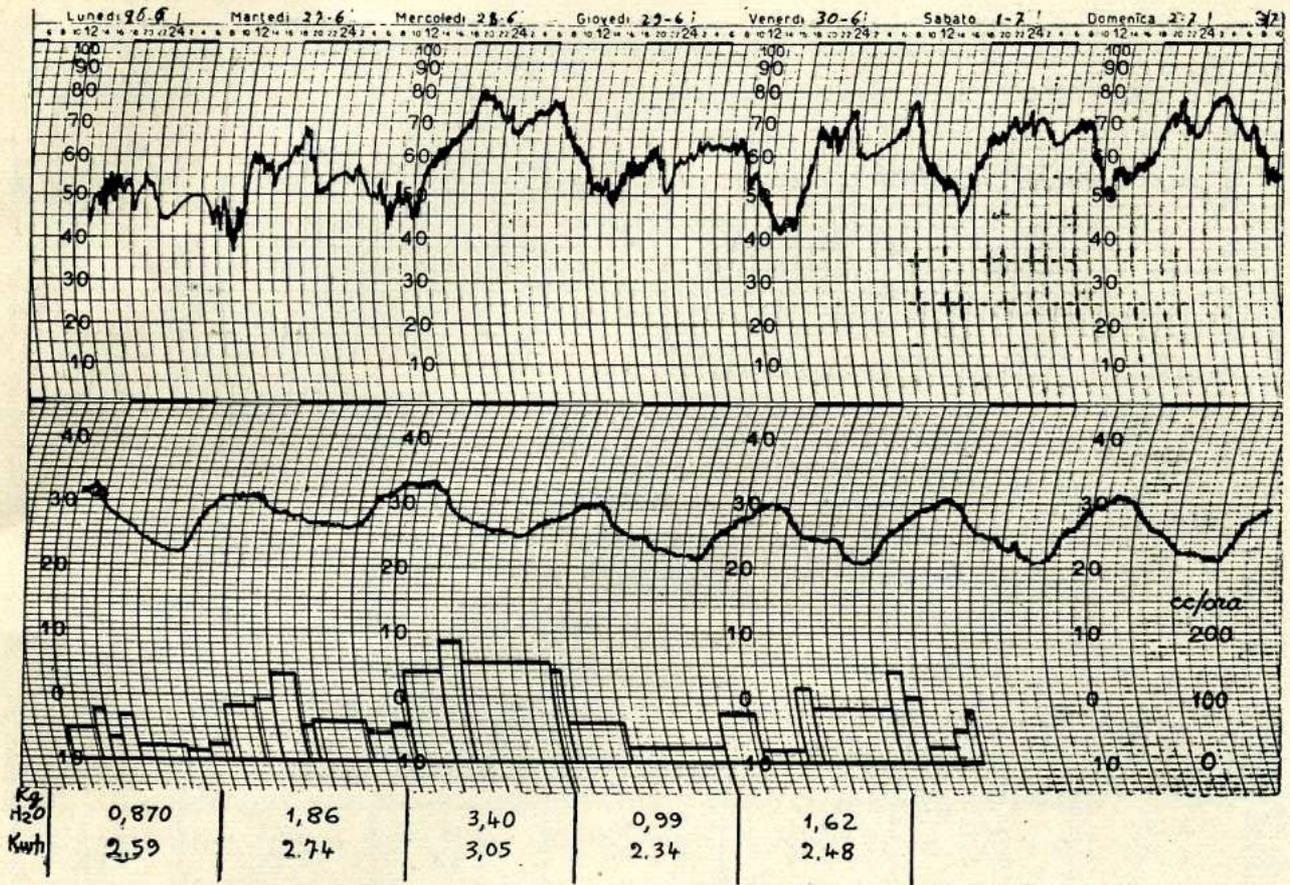


Fig. 3

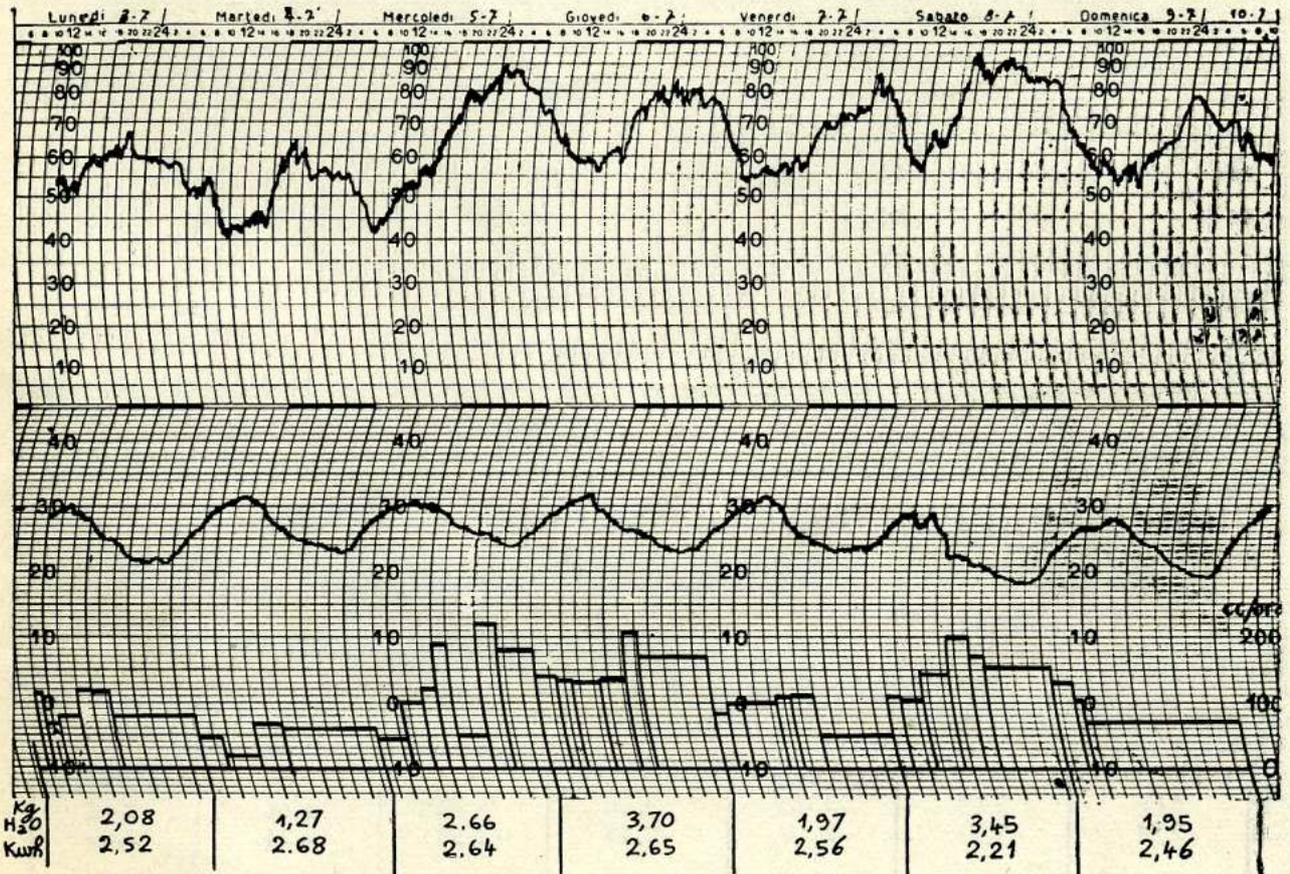


Fig. 4

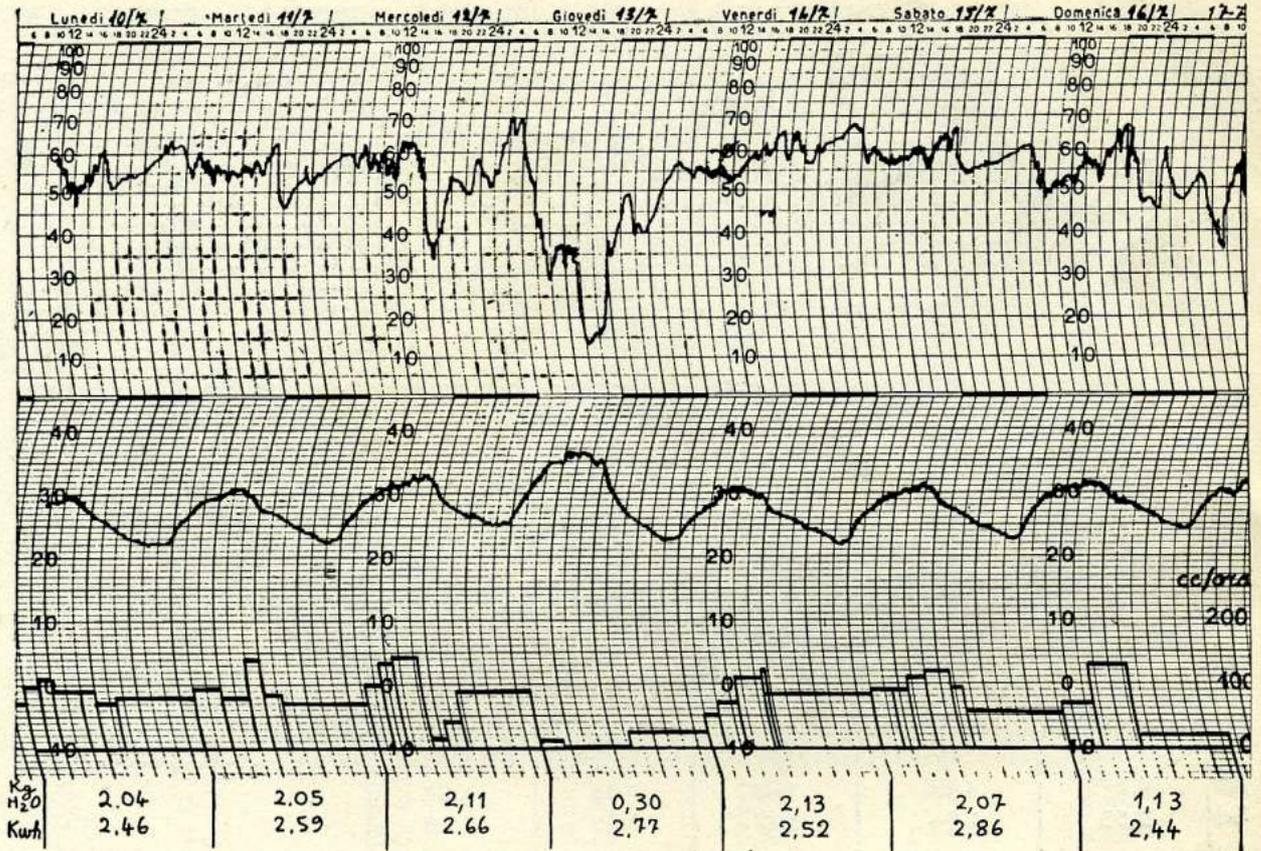


Fig. 5

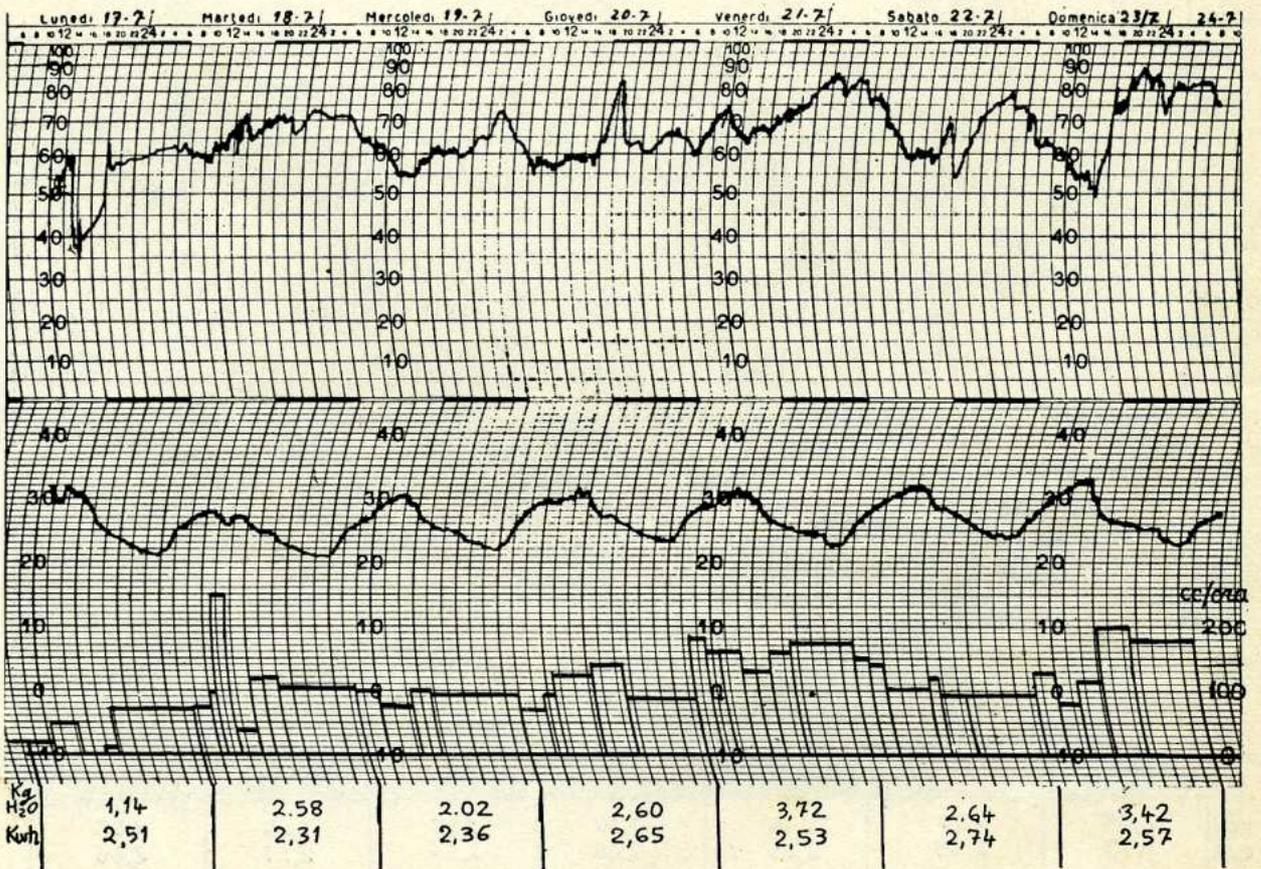


Fig. 6

In tali grafici è riportata, nell'ordine, dall'alto al basso, la umidità relativa dell'aria sottoposta a deumidificazione, la sua temperatura (bulbo secco) e la produzione oraria di acqua. E' riportata anche la quantità di acqua condensata nelle 24 ore e l'energia consumata.

Dall'esame di tali grafici appare che la produzione oraria di acqua segue l'andamento della curva della umidità relativa.

I risultati raccolti in questa prima serie di esperimenti mostrano quanto segue:

a) Col particolare dispositivo sperimentale impiegato il consumo di energia è risultato, come c'era da aspettarsi, costante intorno a 110 ± 10 wattore per ora, indipendentemente dalla quantità di acqua separata.

b) La quantità di acqua separata dipende dalle condizioni dell'aria sottoposta a deumidificazione.

c) Col particolare dispositivo sperimentale impiegato si è osservata condensazione di acqua quando l'umidità relativa era superiore al 50%, indipendentemente dalla temperatura dell'aria.

d) I consumi di energia per unità di peso di acqua separata nei singoli rilevamenti sono stati, nelle migliori condizioni, alquanto superiori ai minimi termodinamici e quelli delle medie settimanali sono stati molte volte superiori a tali minimi; ciò probabilmente è dovuto all'imperfetto scambio termico fra l'aria raffreddata e il condensatore del sistema frigorifero. Va infatti tenuto presente che nei deumidificatori commerciali di bassa potenza (fra 1/8 e 1 HP come quello usato nelle presenti ricerche) il flusso dell'aria è dell'ordine di grandezza di 200-400 mc/ora e a questa relativamente alta velocità lo scambio termico può essere modesto.

e) Nei presenti esperimenti si sono osservati, nel periodo di molti mesi, dei consumi medi settimanali di energia, nelle condizioni migliori, di 1 — 1,5 kwh/kg. di acqua separata per cui, supponendo per l'energia elettrica un costo di 20 Lire/kwh., si avrebbero dei costi dell'acqua fra 20 e 30 Lire/litro, cioè circa 7-10 volte superiori ai minimi teorici calcolati nella prima parte del lavoro.

f) Quando la temperatura (bulbo secco) dell'aria entrante è inferiore a 10° si ha formazione di ghiaccio sulla superficie dell'evaporatore.

I precedenti dati nel complesso mostrano innanzitutto che è possibile ottenere quantità abbastanza rilevanti di acqua dall'atmosfera e che la quantità di acqua ricavata è in relazione alle caratteristiche meccaniche dell'apparecchio e alle condizioni dell'aria.

Un impianto di deumidificazione dovrebbe funzionare pertanto soltanto quando le condizioni igrometriche dell'aria assicurano la condensazione. Un impianto per la produzione di acqua dolce dovrebbe essere progettato inoltre con criteri diversi da quelli di un deumidificatore e dovrebbe, rispetto a questo, essere migliorato lo scambio termico fra l'aria e le superfici dell'evaporatore e del condensatore del frigorifero pur mantenendo bassi gli attriti nel cammino dell'aria.

Il ricupero dell'acqua dall'atmosfera può presentare favorevoli prospettive come fonte di acqua dolce per le zone aride perchè richiede energia meccanica e questa energia può essere ottenuta sotto forma di energia eolica, con piccoli o grossi motori a combustione, dal motore di un autoveicolo che potrebbe portare a bordo un apparecchio per l'ottenimento di acqua dall'aria, ecc., tanto più che gli apparecchi stessi possono presentare modesto ingombro.

Per limitate potenze la quantità di acqua ottenibile è naturalmente modesta e il sistema può essere considerato per ora adatto in condizioni di emergenza; questi primi risultati peraltro suggeriscono l'opportunità di approfondire lo studio delle rese di acqua dall'aria con perfezionamenti del dispositivo sperimentale qui descritto.

* * *

Desidero ringraziare tutto il personale dell'Istituto di Merceologia che ha collaborato con costanza per molti mesi alla raccolta dei dati dell'apparecchio sperimentale e il Dott. Benito Leoci che, per la preparazione della sua tesi sperimentale, ha elaborato una nuova carta psicrometrica in unità metriche e ha collaborato alla elaborazione dei dati.

RIASSUNTO

Vengono riferiti i risultati di ricerche sperimentali sulla estrazione di acqua dall'atmosfera. Un deumidificatore meccanico commerciale da 1/8 di HP è stato utilizzato per abbassare la temperatura dell'aria sotto il suo punto di rugiada. E' stata misurata la temperatura dell'aria sottoposta a deumidificazione la sua umidità relativa, l'energia consumata nel processo e la quantità di acqua separata.

L'elaborazione dei dati raccolti in un anno e mezzo ha mostrato che normalmente si è ottenuta acqua in quantità di 10-20 litri alla settimana con consumi di energia elettrica che sono oscillati per lo più fra 1000 e 1500 Kcal/Kg. di acqua estratta dall'atmosfera.

Questi valori sono 1,5-2,5 volte maggiori del calore latente di condensazione dell'acqua e ciò può essere dovuto ad uno scadente scambio termico fra l'aria fredda e il condensatore del sistema frigorifero.

La produzione oraria di acqua segue l'andamento dell'umidità relativa; quando questa scendeva sotto il 50% non si osserva condensazione con l'apparecchiatura usata nelle presenti ricerche.

I risultati raccolti permettono di progettare più efficienti apparecchi per l'estrazione dell'acqua dall'atmosfera; questo metodo per l'ottenimento di acqua dolce nelle zone aride per ora sembra limitato a condizioni di emergenza. Esso tuttavia appare promettente per fornire acqua dolce dove si hanno valori elevati di umidità relativa, almeno in alcune ore del giorno, e dove è disponibile energia meccanica a basso prezzo, per esempio energia del vento.

SUMMARY

In the plan of studies for obtaining fresh water for the arid zones a research has been carried on the recover of the water contained in the atmosphere. For the experimental work one 1/8 HP mechanical dehumidifier has been used; the temperature and relative humidity of the air to be dehumidified, the consumption of electrical energy for operating the dehumidifier and the amount of condensed water have been measured during one and one-half year.

The examination of the collected data has shown that usually the amount of water recovered from the air was about 10-20 liters per week, the specific energy consumption being in most weeks about 1000-1500 Kcal/liter of condensed water.

These values correspond to 1.5-2.5 times the latent heat of condensation of

water and this greater energy consumption is probably due to a poor heat exchange between the cooled air and the condenser of the freezing unit.

The hourly water production paralleled the values of the relative humidity: no condensation was observed with this experimental arrangement when the relative humidity was below 50%.

The obtained results permit the design of more efficient devices for recovering water from the atmosphere; this method for obtaining fresh water for the arid zones, although at the present seems confined to emergency cases, may present interest as a source of fresh water where the relative humidity is high at least in few hours of the day and where cheap mechanical energy, e. g. wind energy, is available.